

6. Остапенко Н. С. До питанья зниження екологічного навантаження на територію при розробці уранових родовищ / Н. С. Остапенко, О. К. Тяпкін, В. А. Кириченко, Л. В. Бондаренко, С. О. Кравець // Екологія і природокористування. – 2010. – Вип. 13. – С. 118-131.

7. Истомин В. П. Определение режимов подземного выщелачивания при разработке уранового месторождения Тохумбет / В. П. Истомин, С. В. Скрипко // Горный журнал. – 2009. – № 4. – С. 62-64.

8. Ценджав Л. Технология разработки урановых месторождений Монголии методом скважинного подземного выщелачивания / О. Е. Хоменко, Л. Ценджав // Зб. наук. праць НГУ. – Д.: РИК НГУ. – 2013. – № 42. – С. 74-80.

9. Четверик М. С. Разработка Удоканского месторождения при открыто-подземных горно-обогачительных работах / М. С. Четверик, В. В. Кармазин // Цветная металлургия. – 1988. – № 11.

10. Шматков Г. Г., Кошик Ю. И., Коровин Ю. Ф., Шекутин Н. С., Рябошапка С. И., Семенец Г. А., Коровин В. Ю., Меркулов В. А. Радиоактивное загрязнение территории в результате переработки урановых руд. // III Всеукр. науч.-метод. конф. «Экология и инженерия. Состояние, последствия, пути создания экологически чистых технологий» Днепродз. 23-26 окт. 2000 г. Сб. техн. докл. ДзГТУ. – С. 191-193.

Поступила 20.04.2015



УДК 622.235.5

Производство

Ищенко К. С. /к. т. н./, Кратковский И. Л. /к. т. н./  
ИГТМ НАН Украины

Коновал С. В.

Черкасский государственный  
технологический университет

Мазур А. Н., Нашеда В. К.  
ПрАО «Укргровзрывпром»

## Эффективность взрывной отбойки сложноструктурных горных пород комбинированными зарядами на нерудных карьерах

*Приведены результаты промышленных испытаний по обоснованию рациональных параметров буровзрывных работ с использованием новых способов отбойки сложноструктурных горных пород. Предложены методы учета и оценки структуры горного массива для корректировки параметров взрывания, а также новые конструкции комбинированных скважинных зарядов различной формы поперечного сечения. Проведена оценка эффективности предложенных способов взрывной отбойки пород на нерудных карьерах и даны рекомендации по их применению. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.*

**Ключевые слова:** скважина, взрыв, комбинированный скважинный заряд, поверхность уступа, трещиноватость

*Results of industrial tests to substantiate the rational parameters of blasting with new ways of breaking of rocks with complex structure. The methods of accounting and valuation of the rock mass structure to adjust the parameters of explosion, as well as new designs combined hole charges of different cross-sectional shapes. Assessed the effectiveness of the proposed methods for blasting rocks and aggregates quarries recommendations for their use.*

**Keywords:** blast hole, explosion, combined down hole charge, a shoulder surface, fracturing

Проблема повышения интенсивности дробления горных пород с использованием энергии взрыва взрывчатых веществ является весьма актуальной для специалистов, занимающихся вопросами разрушения скальных горных пород. Решение этой проблемы неразрывно связа-

но с увеличением доли энергии взрыва, трансформируемой в разрушаемую часть массива.

Как известно, значительная часть энергии взрыва затрачивается в зоне, непосредственно примыкающей к зарядной полости (обычно 2-3 радиуса заряда), где происходит переиз-

мельчение среды, ведущее к потерям полезного ископаемого на карьерах нерудных строительных материалов.

Снижение выхода мелкодисперсных фракций может быть достигнуто как за счет уменьшения площади контакта скважинного заряда взрывчатых веществ с разрушаемой породой, так и создания условий, обеспечивающих снижение динамического воздействия взрыва на поверхность зарядной полости [1].

При этом полезное действие взрыва при разрушении горных пород возможно повысить различными путями, и в частности, посредством регулирования величины удельной энергии ВВ за счет использования конструкций скважинных зарядов различной конфигурации.

Следует отметить, что при управлении действием взрыва необходимо учитывать, что предел прочности горных пород на растяжение примерно на порядок меньше предела прочности горных пород на сжатие. А поскольку энергоемкость разрушения твердых сред пропорциональна квадрату их предела прочности при конкретном виде нагружения, то энергоемкость разрушения твердых сред растягивающими напряжениями в 100 раз меньше энергоемкости разрушения при действии сжимающих напряжений.

При взрыве цилиндрических зарядов увеличение роли растягивающих напряжений в разрушении твердой среды может достигаться при использовании удлиненных зарядов переменного диаметра и различной формы поперечного сечения.

Существует несколько способов формирования удлиненных зарядов различной конфигурации, как по его длине, так и в поперечном сечении [2-5].

В частности, это:

- создание в пробуренных цилиндрических полостях расширенных участков диаметром большим диаметра первичной полости;
- размещение ВВ в скважинах в полиэтиленовых оболочках переменного сечения;
- размещение внутри зарядной полости сплошной колонки ВВ в форме конуса или заряда со ступенчато уменьшающимся диаметром к устью скважины;
- расположение внутри зарядных полостей полых фигур из инертных материалов;
- создание зарядов переменного диаметра с различной конфигурацией поперечного сечения.

Выше перечисленные конструкции удлиненных скважинных зарядов позволяют создавать в массиве разнонаправленное и разноградиентное поле напряжений и одновременно снижать,

за счет уменьшения площади непосредственного контакта ВВ с породой, динамическое воздействие взрыва на поверхность зарядной полости

#### Цель работы

Оценка эффективности отбойки сложноструктурного массива горных пород на нерудных карьерах с использованием новых конструкций скважинных зарядов.

Для обоснования рациональных параметров взрывного разрушения сложноструктурных пород, какими являются граниты, разрабатываемые на карьерах ПрАТ «Укragровзрывпром», были проведены промышленные испытания новых способов отбойки [6-7], основанных на изменении конструктивных особенностей заряда.

Породы на карьере представлены серыми сильнообводненными с красными включениями мелкозернистыми гранитами крепостью  $f = 12-16$  баллов по шкале проф. М. М. Протогьяконова. Уровень проточных вод в скважинах достигает 1,0-2,0 м при средней обводненности массива 15-20 %.

На характер разрушения пород сложного строения, как известно, влияют как их микроструктура – ориентировка микротрещин и анизотропия физико-механических свойств породообразующих минералов, так и макроструктура горного массива – пространственное положение трещин различной морфологии, расчленяющих взрываеваемый блок. Поэтому, при выборе параметров буровзрывных работ (удельного расхода ВВ, геометрии расположения сетки скважин и направления отбойки) такие особенности микро- и макроструктуры должны быть учтены. Это позволит получить равномерное дробление породы при минимальном выходе мелких фракций, являющихся потерями полезного ископаемого при производстве щебня.

В этой связи наличие исчерпывающих данных о характере трещиноватости массива на разрушаемом блоке гранитного массива значительно упрощает расчет рациональных буровзрывных параметров.

Для установления основных характеристик трещинного строения гранитного массива в пределах горного отвода карьера «Звірки» Уманского карьероуправления по методике, изложенной в работе [8], была проведена стереофотосъемка обнаженных забоев на горизонтах, выбранных для промышленных испытаний разработанного способа взрывной отбойки сложноструктурных горных пород (блок 01/12, гор. + 58 м и блок 04/11, гор. + 68 м).

На экспериментальном участке вдоль линии забоя в нескольких пунктах съемки с двух точек цифровым фотоаппаратом производили раздельное фотографирование одного и того же

объекта (части уступа) для получения стереопары. Для масштабирования стереоснимков использовали маркшейдерскую рейку.

Стереопара является ориентированной, если известны угол  $\theta$  при вершине двухгранного угла, образованного направлением лучей съемки, и пространственное положение точек съемки. В этом случае на стереомодели, исследуемой при помощи стереоскопа, можно определять основные характеристики естественных макротрещин, расчленяющих массив, т. е. элементы их залегания (угол падения и его азимут), а также интенсивность (число трещин, приходящихся на 1 м длины забоя).

Обработку отдешифрированных стереопар осуществляли с использованием стандартных программ обработки изображений «Fotoshop» и «CorelDraw 11». Видимые на фотоснимке вертикальные и горизонтальные макротрещины в данном случае обычно изображают в виде линий разной толщины с последующей проекцией на маркшейдерскую рейку для определения плотности трещин.

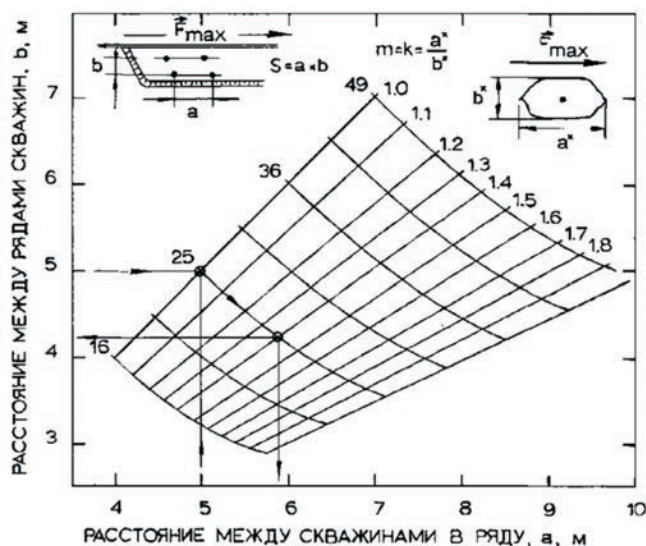
После обработки данных получены параметры распределения систем трещин на карьере «Звірки», которые сведены в табл. 1.

**Характеристика основных систем трещин на карьере «Звірки»**

Наименование трещин (номенклатура Клооса)	Коэффициент трещиноватости, трещин / м	Расстояния между стенками трещин, мм	Расстояние между отдельными трещинами, м	Ширина зоны повышенной трещиноватости, м	Расстояния между центрами зон, м
Продольные трещины сжатия – трещины <i>S</i>	3-5	0,01-0,1	0,1-2,0	40-50	45-60
Поперечные трещины отрыва – трещины <i>Q</i>	1-2	1,0-3,0	1,0-5,0	50-50	60-70
Горизонтальные трещины разгрузки – трещины <i>L</i>	3-5	0,05-0,1	0,5-1,0	зоны повышенной трещиноватости отсутствуют	-

Для определения влияния трещин на характер взрывного разрушения анизотропного массива вдоль линии забоя были пробурены и взорваны шпуры (диаметр 36-43 мм, глубина 1,0-1,5 м, ВВ – патронированный аммонит № 6 ЖВ). По размерам большой *a* и малой *b* осей воронки взрыва и ее ориентировке относительно сторон света, были установлены коэффициенты анизотропии из выражения  $K = a/b$ . С использованием разработанной номограммы (рис. 1) и данных коэффициента анизотропии, параметры сетки скважин с учетом действующего паспорта БВР на экспериментальном участке блока были скорректированы.

По замеренным параметрам воронки разрушения был определен коэффициент анизотропии горного массива, в среднем равный 1,14.



**Рис. 1. Номограмма для корректировки сетки скважин с учетом коэффициента анизотропии**

С использованием номограммы (рис. 1) и коэффициента анизотропии была скорректирована сетка скважин – 4,5×5,5 м вместо 5×5 м, длинная сторона которой совпадает с направлением максимальных значений вектора потока энергии взрыва в разрушаемом массиве  $F_{max}$ .

Таблица 1

В соответствии с измененными параметрами сетки скважин (*a* = 5,5 м – расстояние между скважинами в ряду и *b* = 4,5 м – расстояние между рядами скважин), а также с учетом выявленных на одном из экспериментальных блоков зон повышенной трещиноватости, ориентированных ортогонально линии забоя, в массиве на уступе блока высотой 10,0 м бурили скважины согласно действующему паспорту БВР, диаметром 150 мм и глубиной 10,0-11,0 м с перебуrom 0,6-1,0 м.

Схема экспериментального блока приведена на рис. 2.

После обуривания блоков производили зарядание скважин. На контрольном участке формировали комбинированные скважинные заряды, согласно утвержденному типовому па-

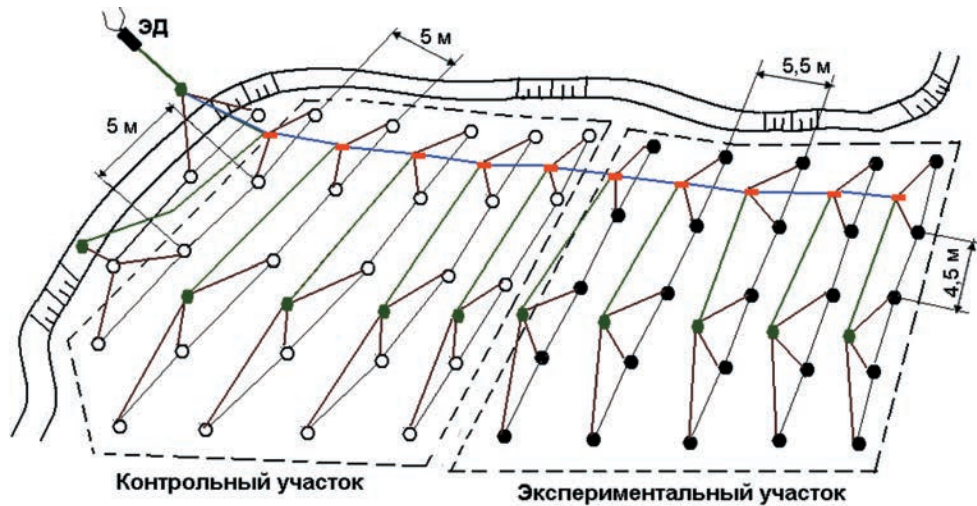


Рис. 2 Схема размещения скважин и коммутация зарядов на уступе карьера «Звірки», блок 46, гор. – 42,0 м

спорту БВР на проведение массового взрыва для данного блока. Для этого в скважине оставляли 2,0-2,4 м под забойку, а остальную часть скважины разбивали на две равные секции. В нижнюю часть скважины размещали смесевое ВВ из тротила (УГ + гранулированная аммиачная селитра в пропорции 65/35) или эмульсионное ВВ типа Анемикс, устанавливали промежуточный детонатор из двух тротильовых шашек Т-400, соединенных волноводом с капсулом-детонатором неэлектрической системой инициирования «Импульс» или «Прима-Эра». Затем верхнюю часть заполняли конверсионным ВВ (секция заряда ДКРП-4, в состав которого входит пластид) и устанавливали верхний промежуточный детонатор. Пространство между стенками скважины и секцией ДКРП-4 засыпали смесевым ВВ – тротилом УГ + АС. Устье скважины герметизировали забойкой из гранотсева (фракции 3-5 мм).

На экспериментальном участке формирование зарядов осуществляли с учетом выделенных зон повышенной трещиноватости. В первом варианте с учетом направления локальных трещин в блочном массиве, а во втором – с направлением протяженных зон повышенной трещиноватости. Для первого варианта в скважинах, пробуренных в массиве с выраженной локальной трещиноватостью, формировали комбинированные заряды переменного сечения, а на участке с протяженными зонами повышенной трещиноватости – заряды различной формы поперечного сечения.

Формирование зарядов переменного сечения в скважинах осуществляли путем размещения в нижней секции колонки ВВ, соединенных между собой в цепочку при помощи шпагата сферических полостей – шаров, диаметром  $0,8D_{скв}$ , где  $D_{скв}$  – диаметр скважины. Расстояние между сферическими полостями принимали рав-

ным активной части длины кумулятивного заряда [6]

$$H_{cp} \geq l_{к.з.} \geq 2d_{сф. пол.},$$

где  $d_{сф. пол.} = 0,5d_{зар.}$  – диаметр сферической полости;  $l_{к.з.}$  – длина кумулятивного заряда.

Заряды переменного диаметра со сферическими полостями формируют в зонах монолитных блочных пород, а заряд сплошной конструкции – в трещиноватых зонах. В нижней секции заряда засыпали смесевое ВВ из тротила УГ + гранулированная аммиачная селитра в пропорции 65/35 или эмульсионное ВВ типа Анемикс, устанавливали промежуточный детонатор из двух тротильовых шашек Т-400, а верхнюю секцию заполняли конверсионным ВВ – секцией заряда ДКРП-4, в состав которого входит пластид, и устанавливали верхний промежуточный детонатор. Пространство между стенками скважины и секцией ДКРП-4 засыпали смесевым ВВ – тротилом УГ + АС или пироксилиновым порошком.

На экспериментальном блоке комбинированные заряды в скважинах формировали в зонах повышенной трещиноватости. Конструктивно это удлиненные скважинные заряды с различной формой поперечного сечения.

На подготовленном блоке в рядах скважин, расположенных в массиве трещиноватых пород, нижнюю часть заряда формировали в виде треугольной призмы из смесового ВВ, состоящего из тротила УГ + гранулированная аммиачная селитра в пропорции 65/35 или эмульсионного ВВ типа Анемикс, а верхней части размещали секции ДКРП-4 или конверсионное ВВ (пироксилиновый порошок). Заряды ориентировали вершиной треугольника в сторону забоя. Ряды скважин, расположенные в тылу блока в более монолитном массиве, заряжали комбинированными зарядами с расположением в нижней ча-

сти колонки заряда в виде квадратной призмы. Нижнюю часть заряжали промышленным смесевым ВВ – тротилом УГ + гранулированная аммиачная селитра в пропорции 65/35 или эмульсионным ВВ типа Анемикс, верхнюю – конверсионным ВВ (секции ДКРП-4 или пироксилиновый порох). Устанавливали основной и промежуточные детонаторы, смонтированные из двух шашек Т-400, устье скважин герметизировали забойкой из гранотсева.

Коммутацию скважинных зарядов ВВ на уступе горных пород осуществляли группами, соединенными по диагональной схеме. Между группами зарядов в каждой ступени устанавливали линейные замедлители УНС-С и УНС-ПА и взрывали с использованием неэлектрической системы инициирования «Импульс», NONEL, «ПРИМА-ЭРА», начиная с зарядов, расположенных на фланге разрушаемого блока. Конструкции разработанных зарядов ВВ приведены на рис. 3.

По результатам массовых взрывов на экспериментальном и контрольном участках проводилась оценка результатов дробления отбитой горной массы. Качество дробления оценивали по диаметру среднего куска с замером грануло-

метрического состава взорванной горной массы с использованием метода косоугольной фотопланиметрии. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Анализ результатов промышленных экспериментов показал, что применение измененных параметров БВР с использованием конструкций зарядов переменного сечения (табл. 2) уменьшает примерно на 30 % диаметр среднего куска и расход промышленных ВВ на 10-40 %. Выход кондиционного куска (201-600 мм) увеличивается на 10 %.

Предложенные способы отбойки крепких, сложноструктурных локально-трещиноватых и трещиноватых горных пород позволяют улучшить качество дробления взорванной горной массы и повысить технико-экономические показатели работы горнодобывающих предприятий. Качественное дробление взорванной горной массы достигается за счет корректировки основных параметров БВР – геометрии расположения и размеров сетки скважин, применения новых конструкций комбинированных скважинных зарядов различной формы поперечного сечения, а также учета направления и интенсивности систем трещин различной морфоло-

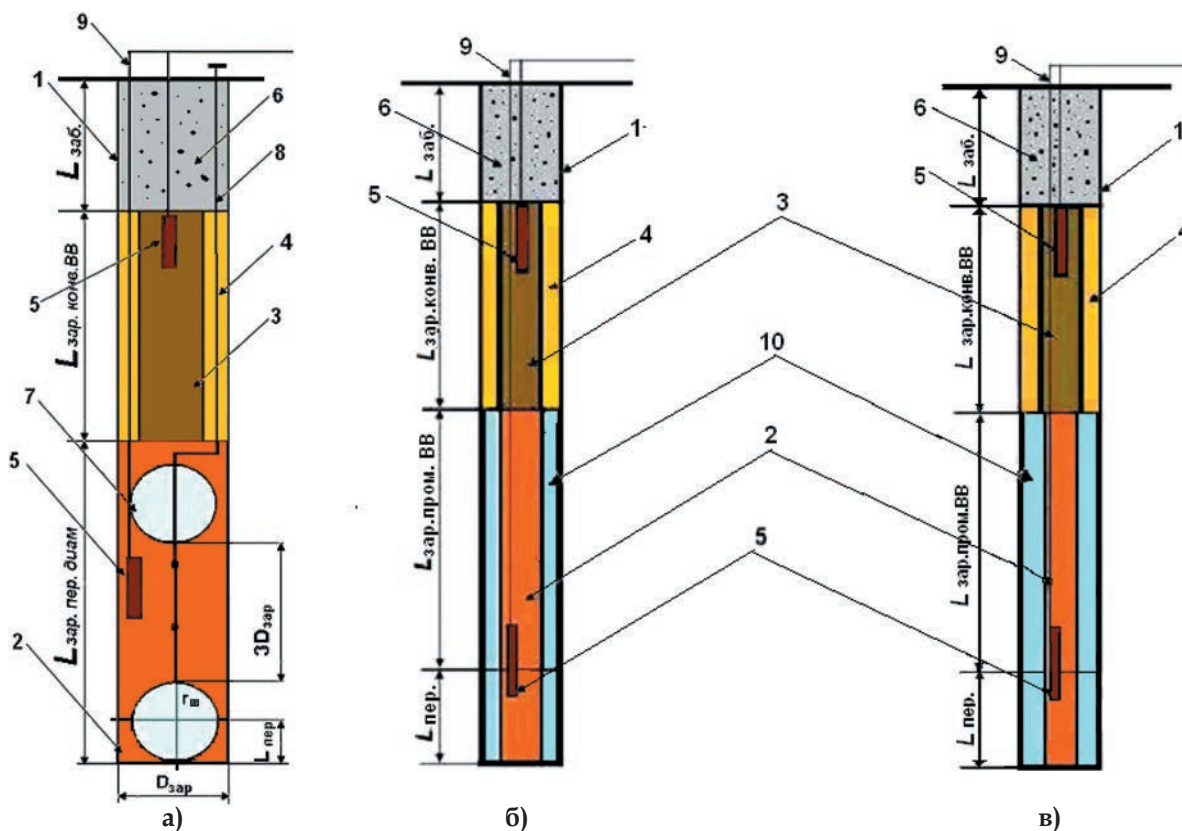


Рис. 3. Конструкции комбинированных скважинных зарядов:

а) переменного диаметра; б) заряд в сечении квадратная призма; в) заряд в сечении треугольная призма. 1 – скважина; 2 – заряд смесевое ВВ – ТНГ УГ + АС; 3 – секция конверсионного ВВ ДКРП-4; 4 – пироксилиновый порох; 5 – патрон-боевик; 6 – забойка; 7 – сферические полости; 8 – шпегат для соединения сферических полостей; 9 – неэлектрическая система инициирования «Импульс»; 10 – инертный промежуток

Расчет размеров среднего куска взорванной горной массы по экспериментальным взрывам\*

Экспериментальный участок				Контрольный участок			
Класс крупности, мм	Средний размер куска по классу, $d_i$ , мм	Выход фракций, $W_i$ , мм	$d_i \times W_i$	Класс крупности, мм	Средний размер куска по классу, $d_i$ , мм	Выход фракций, $W_i$ , мм	$d_i \times W_i$
0-200	100	41,0	4100	0-200	100	26,7	2670
201-400	300	34,0	10200	201-400	300	24,5	7350
401-600	500	17,3	8650	401-600	500	20,6	10300
>600	700	7,7	5390	> 600	700	28,2	19740
Σ			28340	Σ			40060
$d_{cp} = \Sigma d_i W_i / 100 = 283,4$ мм				$d_{cp} = \Sigma d_i W_i / 100 = 400,6$ мм			

Примечание. \* – Средние значения по экспериментальным взрывам.

гии (степени раскрытости) в разрушаемом блоке породы.

Использование предложенных конструкций комбинированных скважинных зарядов различной формы (переменного сечения, а также в виде треугольной и квадратной призмы) дает возможность при постоянной массе заряда увеличить его длину и, как следствие, более равномерно распределить ВВ по высоте уступа. При этом изменяются условия передачи энергии от взрыва заряда ВВ, когда в разрушаемом массиве формируется разноградиентное и разнонаправленное поле напряжений. В таком силовом поле возрастает роль растягивающих и сдвигающих напряжений, способствующих более равномерному дроблению пород.

В ходе промышленных испытаний в период 2012-2014 гг. на гранитных карьерах ПрАТ «Укragорвзрывпрома» по разработанным рекомендациям было отбито около 600 тыс. м<sup>3</sup> горной массы. В среднем на одной скважине экономия промышленных ВВ составила до 40 кг, при этом общая экономия по одному массовому взрыву только по статье «взрывчатые материалы» превысила более 30 тыс. грн. Сравнительный анализ показал, что при сохранении качества взрывной отбойки горных пород использование предложенной технологии позволяет снизить удельный расход ВВ и объем буровых работ в среднем до 15 % с сохранением проектной отметки подошвы уступа.

Промышленные испытания показали, что внедрение предложенной технологии ведения взрывных работ на карьерах при отбойке сложно-структурных массивов позволяет обеспечить эффективное и качественное дробление пород.

#### Библиографический список

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. Ефремов Э. И. Способы взрывной отбойки горных пород зарядами переменного сечения / Э. И. Ефремов, В. А. Никифорова, К. С. Ищенко // Сучасні ресурсоенергосберігаючі технології гірничого виробництва. – 2008 (1). – № 1. – С. 7-10.

3. Петренко В. Д. Экспериментальные исследования влияния формы поперечного сечения заряда на характер разрушения твердых сред / В. Д. Петренко, С. В. Коновал // Сучасні ресурсоенергосберігаючі технології гірничого виробництва. – 2014 (14). – № 2. – С. 31-43.

4. Пат. 37772А Україна, МКВ7 F42D 3/04 Спосіб руйнування тріщинуватих гірських порід вибуховими речовинами / Е. І. Єфремов, В. П. Мартиненко, К. В. Лотоус, С. О. Сторчак; заявник і власник патенту «Полтавський ГЗК» – № 2001 01166; замовл. 09.02.01; надр. 25.08.01. – Бюл. № 4.

5. Чебенко Ю. Н. Экспериментальные исследования способов повышения эффективности дробления пород на нерудных карьерах / Ю. Н. Чебенко, А. М. Ромашко // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников. – Кривой Рог. – 2011. – № 3. – С. 5-8.

6. Пат. 105730 Україна, МКВ7 E21C 37/00 Спосіб вибухового руйнування локально-тріщинуватих анізотропних гірських порід / К. С. Іщенко, І. Л. Кратковський, С. В. Коновал, В. М. Коновал; заявник і власник патенту Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – № а2013 07372; замовл. 11.06.13; надр. 10.06.2014, бюл. № 11.

7. Пат. 96511 Україна, МКВ7 E21C 37/00 Спосіб вибухового руйнування міцних анізотропних гірських порід складної будови на блоці / Е. І. Єфремов, С. В. Коновал, К. С. Іщенко,

І. Л. Кратковський, В. В. Круковська, В. М. Коновал; заявник і власник патенту Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – № u2014 09009; замовл. 11.08.14; надр. 10.02.15, бюл. № 3.

8. Механика взрывного разрушения пород различной структуры / Э. И. Ефремов и др. – Киев: Наук. думка, 1984. – 192 с.

Поступила 20.04.2015



УДК 622.831.322

Наука

**Минеев С. П.**  
Институт геотехнической механики  
НАН Украины

**Никифоров А. В., Богоудинов Р. М.,  
Рыжков М. Ф., Лукашев А. С.**  
Государственный Макеевский  
научно-исследовательский институт  
по безопасности работ  
в горной промышленности

### Определение акустическим методом участков горного массива бокситовых рудников, опасных по горным ударам

*Рассмотрены результаты акустических исследований в подготовительных забоях для выявления опасных участков по горным ударам и оценки эффективности профилактических мероприятий. Данные результаты могут быть использованы для прогноза при ведении горных работ в глубоких шахтах Кривого Рога. Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.*

**Ключевые слова:** акустический сигнал, бурение, горный удар

*The results of noise research in development faces for dangerous zones revealing due to mountain bumps and performance evaluation of preventive actions are considered. These results may be used for forecast during mining in deep mines of Kryvyi Rih.*

**Keywords:** acoustic signal, drilling, mountain bump

Прогноз горных ударов на протяжении последних лет разрабатывается и применяется на основе регистрации и обработки импульсов акустической эмиссии горного массива, повышение которой служит местом развития горного удара.

Для определения возможности активной акустики на ряде объектов Североуральских бокситовых рудников выполнены исследования по адаптации способов контроля состояния массива и прогноза динамических явлений, разработанных МакНИИ для угольных шахт Донбасса. Способы основаны на возбуждении упругих колебаний в массиве путем воздействия на него горных машин, механизмов, регистрацией акустического отклика в ближней от источника зоне и последующей компьютерной его обработки. Физическая сущность разработанных способов состоит в связи спектральной характе-

ристики возбуждаемого акустического сигнала с напряженно-деформированным состоянием массива. Опасная по газодинамическим явлениям (ГДЯ) ситуация фиксируется по степени изменения параметров спектра акустического сигнала [1-3].

Один из вариантов оценки состояния призабойной части массива осуществляется путем бурения контрольных шпуров, регистрации и обработки акустического сигнала, возникающего при разрушении пород буровой коронкой.

Выполненные на бокситовых рудниках исследования решали ряд задач по оценке степени опасности горных ударов и эффективности средств борьбы с ними путем акустического зондирования и регистрации акустического сигнала в процессе бурения скважин и шпуров. Обработка акустического сигнала выполнялась на персональном компьютере по программе