

УДК 622.235.62

Яковлев Алексей Викторович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58;
e-mail: lubk_igd@mail.ru

Шимкив Екатерина Сергеевна

научный сотрудник,
лаборатория открытой геотехнологии
Институт горного дела УрО РАН

Переход Татьяна Максимовна

ведущий инженер,
лаборатория открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДРОБЛЕНИЯ ТРУДНОВЗРЫВАЕМЫХ ПОРОД*

Аннотация:

Исследования особенностей динамо-кинематических характеристик упругопластических деформаций, индуцированных технологическими взрывами при многорядном короткозамедленном взрывании, позволили установить механизм дробления и нарушения законтурного массива и разработать способы управления этим механизмом для повышения степени дробления отбиваемой части массива за счет снижения энергии взрыва, передаваемой в законтурный массив. Разработана и апробирована в промышленных условиях методика расчета интервалов времени замедления между зарядами, основанная на кинетике упругопластических деформаций с учетом установленных связей с физико-механическими и структурными характеристиками горных пород и взрывчатыми характеристиками ВВ.

Ключевые слова: массив горных пород, буровзрывные работы, интервалы времени замедления, деформации, нарушение законтурного массива, методика расчета

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.03.137

Yakovlev Alexey V.

Candidate of Engineering Sciences,
the Head of the Laboratory
of Open Geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075, Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.;
e-mail: lubk_igd@mail.ru

Shimkiv Ekaterina S.

Researcher,
Laboratory of Open Geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Perekhod Tatyana M.

Leading Engineer,
Laboratory of Open Geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

THE MAIN DIRECTIONS AND RESULTS OF RESEARCH OF CRUSHING OF HARD-TO-BLAST ROCKS

Abstract:

Studies on the features of the dynamic and kinematic characteristics of elastoplastic deformations induced by technological explosions while multi-row short-deferred blasting allowed to estimate the crushing and displacement mechanism of the out-of-contour array and to develop ways to control this mechanism for the increasing the crushing degree of the blasted part of the array by reducing the blast energy transferred to the out-contouring array. The method for calculation the time intervals of deceleration between charges based on the kinetic of elastoplastic deformations with account for the established relationships with the physical and mechanical as well as structural characteristics of rocks and the explosive characteristics of explosives has been developed and approved under industrial conditions.

Keywords: rock mass, drilling and blasting operations, time intervals of deceleration, deformations, displacement of the out-contouring array, calculation method

Введение

Основными проблемами дробления трудно взрывааемых пород, связанными с технологическими требованиями обеспечения заданной степени дробления горных пород и максимальной сохранности законтурного массива, особенно вблизи конечных контуров карьеров, являются

- повышенный выход негабаритных фракций во взорванной горной массе;
- неравномерность дробления взорванной горной массы;

* Статья подготовлена при выполнении Госзадания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015.

– разрушение законтурного массива.

Эти проблемы определяют основные направления исследований:

- повышение степени дробления и снижение выхода негабарита;
- уменьшение воздействия взрыва на законтурный массив.

При многорядном короткозамедленном взрывании (МКЗВ) основным параметром действия взрыва, управляющим дробящим и нарушающим законтурный массив, является интервал времени замедления между смежными зарядами как в ряду скважин, так и между рядами. Несмотря на многочисленные теоретические и эмпирические методики его определения, единой точки зрения о физической сущности и эффекте процессов, происходящих при отбойке горных пород, не выработано, а расчетные значения интервалов времени замедления в одинаковых условиях взрывания колеблются чаще всего в пределах от 6 до 42 мс [1].

Основной причиной создавшегося положения является то, что в основу кинетики процессов разрушения заложена трансформация волн напряжений (отражения от боковых свободных поверхностей, наложения от взрыва смежных зарядов, их интерференция и др.), индуцированных энергией взрыва в разрушаемой части массива [2 – 9].

В настоящее время наиболее обоснованным и пригодным для практического применения является деформационный критерий устойчивости обнажений массивов горных пород [10]. При рассмотрении взрыва основной интерес представляет установление закономерностей деформирования массива горных пород в зависимости от интенсивности динамического воздействия [11].

Определяющим фактором процесса взрывного разрушения являются величины деформаций массива от взрывных нагрузок [12].

При взрыве заряда по мере достижения максимальной величины относительной деформации сжатия боковой свободной поверхности отбиваемая часть массива начинает «вспучиваться», и по мере додрабливания последней она теряет сцепление с законтурным массивом. Далее давление газообразных продуктов детонации падает, и в массиве начинается разгрузка, время которой определяется величиной и скоростью отхода горной массы от массива. После снятия нагрузки в законтурной части массива остаются зоны остаточных деформаций, направление максимального вектора которых обратно направлению отбойки, а их величина определяется условиями работы взрыва зарядов двух рядов скважин, примыкающих к массиву [13].

Если эти заряды инициируются через интервал времени, не обеспечивающий формирования боковой свободной поверхности, время действия взрывных газов на массив увеличивается, поэтому возрастают интенсивность и ширина зоны нарушения. Для снижения последних отбойку необходимо производить в направлении простираемого блока.

Теоретические исследования особенностей деформирования массива взрывными нагрузками позволили установить механизм разрушения массивов горных пород и разработать способ управления этим механизмом для повышения степени дробления отбиваемой части массива за счет снижения энергии взрыва, передаваемой в законтурный массив.

Практика ведения БВР в условиях дробления вязких пород карьеров АО «ЕВРАЗ КГОК» с увеличенными расходами ВВ $1,7 - 2,0 \text{ кг/м}^3$ и более показывает, что повышенный выход негабарита наблюдается из зоны первого – второго рядов скважин, где массив пород уже нарушен энергией ВВ от воздействия предыдущих взрывов.

Следовательно, проблема снижения интенсивности и ширины зоны нарушения массива актуальна не только при постановке уступов на предельный контур, но и при взрывании технологических блоков.

Экспериментальные исследования и анализ результатов

В течение ряда лет на карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» была проведена серия опытно-промышленных взрывов для экспериментальной проверки влияния интервалов времени замедления между зарядами в ряду скважин и смежными рядами и порядка инициирования зарядов в схемах МКЗВ на качество взрывной подготовки горной массы. В каждом случае взрывные блоки разделены на экспериментальный и контрольный участки, по которым производились отдельные замеры деформаций законтурного массива, параметров развала и выхода негабарита.

На рис. 1 и в табл. 1 представлены результаты замеров остаточных смещений законтурного массива при различных интервалах времени замедления в первом ряду и между рядами скважин.

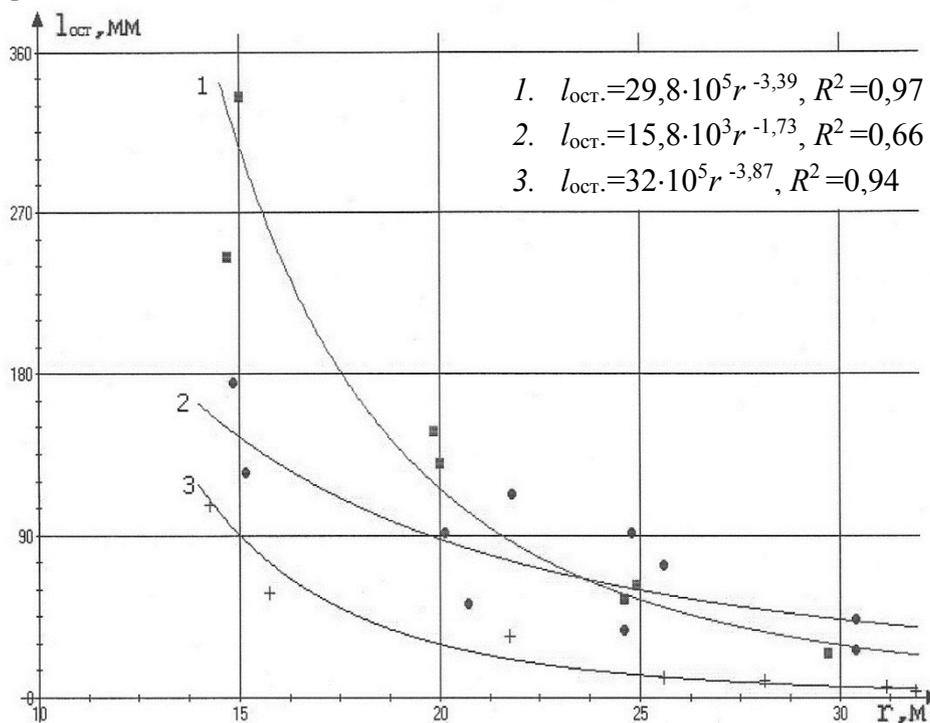


Рис. 1 – Зависимости остаточных горизонтальных смещений массива от расстояния до последнего ряда скважин при интервалах замедления (первый ряд – последующие ряды):
 1 – 42 – 42 мс; 2 – 100 – 42 мс; 3 – 100 – 67 мс

Таблица 1

Сравнительные данные результирующих остаточных горизонтальных смещений законтурного массива

Интервалы времени замедления, мс		Величина смещений реперов (мм) на расстоянии от последнего ряда скважин, м			Выход негабарита, %
в первом ряду	между рядами	14 – 17	19 – 22	24 – 27	
42	42	293	154	29	2,54
100	42	104	92	72	1,81
100	67	82	36	14	1,65

Другим способом снижения нарушения законтурного массива является оконтуривание приконтурных блоков скважинными зарядами уменьшенного диаметра. Оценка эффективности применения этого способа производилась в горнотехнических условиях

Западного карьера. Бурение оконтуривающих скважин диаметром 0,165 м производилось станком ROC L8. Параметры БВР при отбойке приконтурного целика с однорядным оконтуриванием скважинами уменьшенного диаметра приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры буровзрывных работ

№ п/п	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м	Количество рядов	Интервал замедления, мс (в ряду – между рядами)
1	250	5,0×5,0	5	42 – 42
	165	3,5×4,0	1	42 – 25 – 17
2	250	5,0×5,0	5	100 – 67
	165	3,5×4,0	1	100 – 58 – 42

Интервалы времени замедления между оконтуривающими скважинами изменялись от 42 – 25 – 17 мс при времени замедления между технологическими отбойными скважинами диаметром 0,250 м в ряду 42 мс до 100 – 58 – 42 мс.

Применение рациональных повышенных интервалов времени замедления между зарядами как технологических скважин, так и оконтуривающего ряда привело к снижению величины горизонтальной составляющей остаточных смещений законтурного массива (рис. 3) на расстоянии от последнего ряда скважин 10 – 12 м со 135 до 75 мм, то есть в 1,8 раза, а выход негабарита снизился на 16 %.

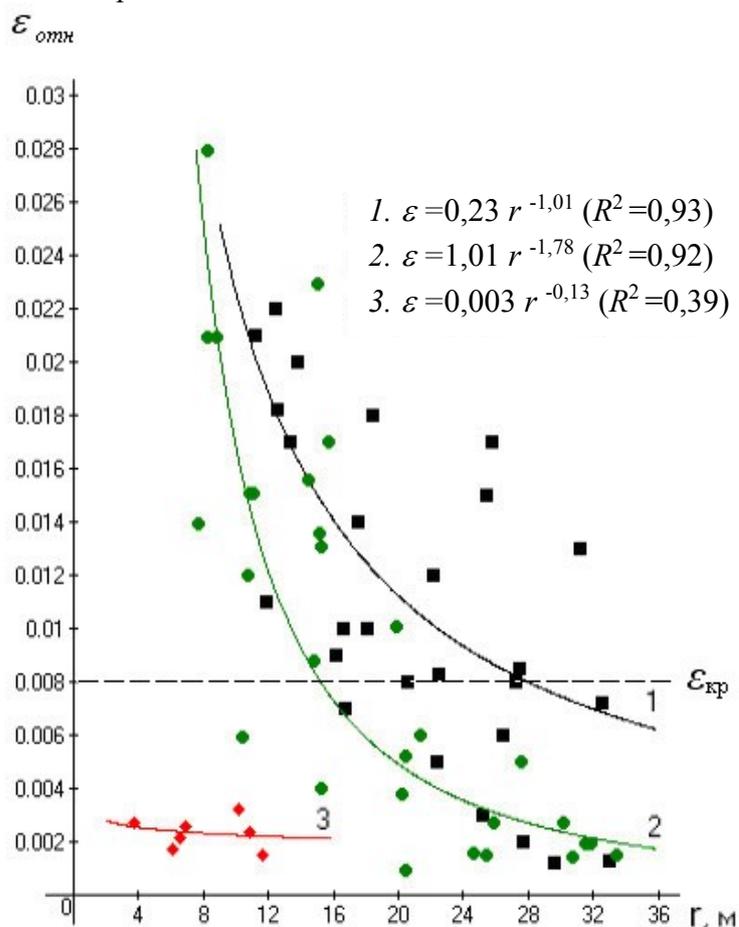


Рис. 2 – Зависимости остаточных относительных деформаций законтурного массива от расстояния до последнего ряда скважинных зарядов при взрывании:
 1 – без оконтуривания зарядами уменьшенного диаметра;
 2 – с однорядным оконтуриванием;
 3 – с оконтуриванием приконтурных блоков при наличии контурной щели

На рис. 3 показаны следы скважин на поверхности откоса 15-метрового уступа, поставленного в предельное положение с углом откоса 75° при отбойке приконтурного целика, разбуренного при 5-рядном расположении скважин диаметром 0,250 м с однорядным оконтуриванием зарядами диаметром 0,165 м.



Рис. 3 – Поверхность откоса 15-метрового уступа со следами скважин отрезной щели

Помимо интенсивности трещиноватости массива на качество взорванной горной массы существенное влияние оказывает направленная трещиноватость (системы трещин) [14].

На моделях из оргстекла были произведены экспериментальные взрывы одиночных зарядов. На рис. 4 показано изменение зон трещинообразования в оргстекле при наличии протяженной трещины вблизи заряда.

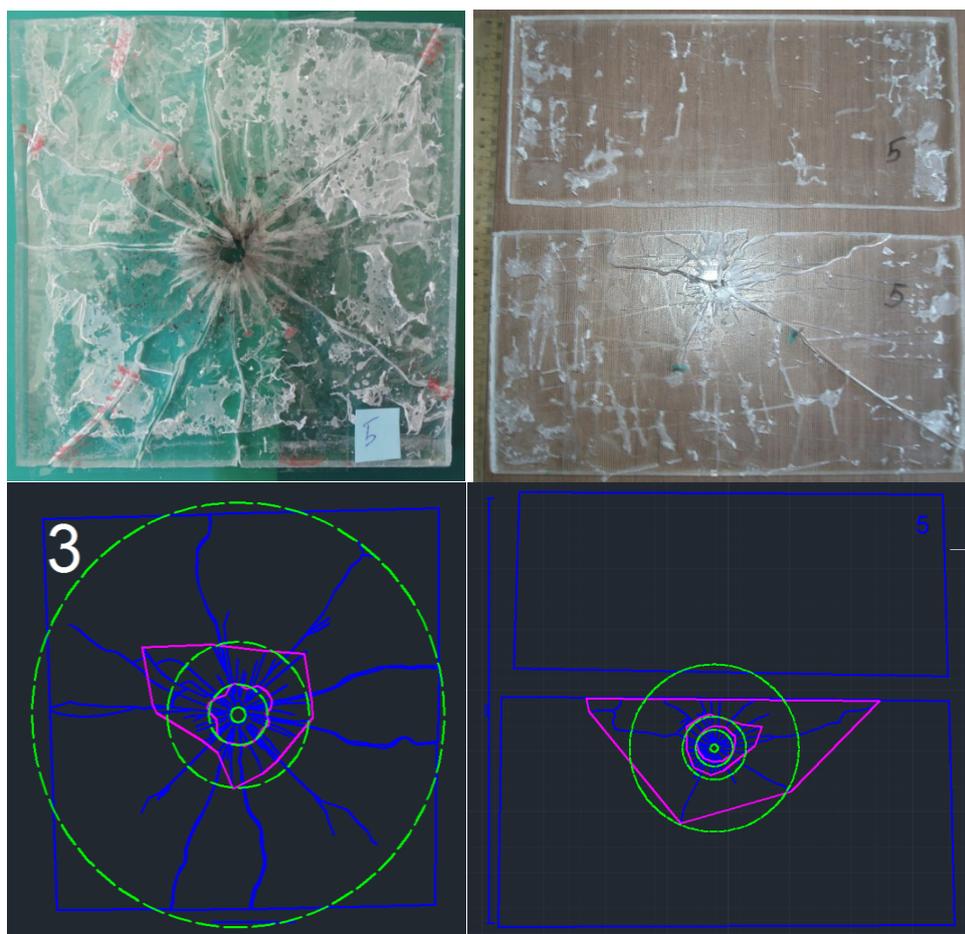


Рис. 4 – Результаты опытных взрывов на моделях из оргстекла

Повышение качества дробления при субвертикальной направленной трещиноватости массива возможно путем изменения размеров сетки скважин и направления фронта отбойки.

Требуется продолжение исследований в части взаимодействия зарядов при различных величинах интервалов замедления, в том числе в трещиноватой среде.

Выводы

По результатам проведения опытно-промышленных взрывов с увеличением ранее используемых на карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» интервалов времени замедления 35 – 42 мс до рациональных установлено:

- деформирование массива происходит в режиме независимой работы зарядов дробления, при котором каждому из зарядов обеспечивается развитие зон дробления до полного исчерпания энергии взрыва на ее дробящее действие, что привело к снижению выхода негабаритной фракции в 1,5 раза;

- интенсивность нарушения законтурного массива на расстоянии от последнего ряда скважин 15 м снижается в 3 раза, а ширина зоны нарушения уменьшается в 1,4 раза;

- обеспечивается компактность развала за счет уменьшения его ширины на 10 – 12 м при максимальной высоте 14 – 16 м (на контрольных участках – 11 – 13 м).

Результаты исследований внедрены в проекты, разработанные институтом АО «Уралгипроруда» для карьеров АО «ЕВРАЗ КГОК». В настоящее время технологические взрывы производятся с интервалами 67 – 42 мс, приконтурные – 109 – 67 мс.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика и программа расчета интервалов времени замедления между зарядами при массовых взрывах методом многорядного короткозамедленного взрывания [15 – 17].

В основу методики положены следующие положения:

1. Независимость работы зарядов дробления, под которой понимается, что инициирование каждого последующего заряда должно осуществляться не ранее чем закончится формирование зоны дробления от взрыва предыдущего заряда.

2. Отбойка взорванной горной массы должна производиться в направлении простиранья уступа, для чего интервал времени замедления между зарядами в ряду скважин должен увеличиваться на время отхода взорванной горной массы от массива на расстояние, обеспечивающее формирование вновь образованной боковой свободной поверхности для взрыва каждого последующего заряда.

Литература

1. Ермолаев А.И. Проблемы в теории разрушения горных пород энергией взрыва / А.И. Ермолаев, И.М. Мурзинов, А.А. Лапшов // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 2. – С. 78 – 85.
2. Техника и технология взрывных работ на рудниках / Г.П. Демидюк, Л.В. Дубнов, В.В. Стоянов и др. – м: недра, 1978. – 238 с.
3. Покровский Г.И. Взрыв / Г.И. Покровский. – М.: Недра, 1967. – 172 с.
4. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А.Н. Ханукаев. – М.: Недра, 1974. – 222 с.
5. Филиппов В.К. Разрушение крепких горных пород при различных способах взрывания / В.К. Филиппов, Д.Х. Алиев. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1975. – 80 с.
6. Барон Л.И. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке / Л.И. Барон, Г.П. Личели. – М.: Недра, 1966. – 136 с.
7. Рубцов В.К. Некоторые закономерности при дроблении горных пород взрывом удлиненных зарядов / В.К. Рубцов // Горный журнал. – 1964. – № 9. – С. 34 – 38.
8. Друкованный М.Ф. О механизме разрушения горных пород при короткозамедленном взрывании / М.Ф. Друкованный // Взрывное дело. – М.: Госгортехиздат, 1961. – № 47/4. – С. 184 – 196.
9. Лангерфорс У. Современная техника взрывной отбойки горных пород / У. Лангерфорс, Е. Кильстрем. – М.: Недра, 1968. – 284 с.
10. Падуков В.А. Деформационно-энтропийный критерий прочности горных пород / В.А. Падуков // Взрывное дело. – 2008. – Вып. № 99/56. – С. 175 – 177.
11. Адушкин В.В. Особенности деформирования блочной среды при взрыве / В.В. Адушкин, А.А. Спивак // ФТПРПИ. – 1990. – № 2. – С. 46 – 52.
12. Артемьев Э.П. Деформационные процессы в ближней зоне законтурного массива при массовых взрывах на карьерах / Э.П. Артемьев // Геомеханика в горном деле (Доклады Всероссийской конф., 10-11 октября 2007 г., г. Екатеринбург) / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2008. – С. 102 – 107.
13. Влияние порядка инициирования скважинных зарядов на величину остаточных деформаций породного массива / В.Л. Яковлев, Э.П. Артемьев, М.А. Батуев, А.В. Дубских // Горный журнал. – 1996. – № 9,10. – С. 57 – 60.
14. Яковлев А.В. Исследование влияния основных систем трещин в массиве Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» на качество дробления взорванной горной массы / А.В. Яковлев, Е.С. Шимкив // Проблемы недропользования. – 2015. – № 3. – С. 15–19. DOI:10.18454/2313-1586.2015.03.019
15. Артемьев Э.П. Обоснование пространственно-временного порядка инициирования скважинных зарядов при массовых взрывах на карьерах / Э.П. Артемьев, А.В. Яковлев, Е.С. Бусаргина // Проблемы недропользования: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2011. – № 0В11. – С. 41 – 50.
16. Обеспечение долговременной устойчивости высоких уступов на предельном контуре карьеров (на примере Западного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК») / Э.П. Артемьев,



А.В. Яковлев, Е.С. Бусаргина, В.Г. Бушель, А.В. Дубских // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 52 – 55.

17. Яковлев А.В. Математическая модель пространственно-временного режима дробления массивов горных пород технологическими взрывами методом МКЗВ / А.В. Яковлев, Э.П. Артемьев, А.В. Трящин // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 2. – С. 33 – 37.