

С.В. Коновал, К.С. Ищенко, И.Л. Кратковский, В.Н. Коновал

## **ОСОБЕННОСТИ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОЙ СРЕДЫ ЗАРЯДАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ НА КОНТАКТЕ «ВВ-Порода»**

*Приведены результаты экспериментальных исследований разрушения моделей кубической формы из гранита месторождения «Сивач» минизарядами в виде квадратной и треугольной призм. С помощью светооптических методов проведен анализ гранулометрического состава мелкодисперсных частичек фракции 0 – 100 микрон, образующихся на контакте «ВВ-порода».*

---

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ПОЛІМІНЕРАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗАРЯДАМИ РІЗНОЇ ФОРМИ НА КОНТАКТІ «ВР-Порода»**

*Наведено результати експериментальних досліджень руйнування моделей кубічної форми з граніту родовища «Сивач» мінізарядами у вигляді квадратної та трикутної призм. За допомогою світлооптичних методів проведено аналіз гранулометричного складу дрібнодисперсних частинок фракції 0 – 100 мікрон, що утворюються на контакті «ВР-порода».*

---

### **FEATURES OF EXPLOSIVE DESTRUCTION OF COMPOUND ENVIRONMENT WITH CHARGES OF DIFFERENT FORMS ON CONTACT “EXPLOSIVE-ROCK”**

*The experimental results of fracture models of cubic form of boundary from field “Sivach” with help of mini charges in the form of square and triangular prisms are conducted. With help of light-optical methods particle size distribution of fine particles fraction 0-100 microns that forming on contact “explosive-rock” are analyzed.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Гранулометрический состав горной массы, образующейся при разрушении горных пород при их взрывном дроблении, определяет, как известно, эффективность работы горнодобывающих предприятий (карьеров, рудников), зависящую в общем случае от диаметра среднего куска и выхода негабаритных фракций. Для большинства горных предприятий, ведущих добычу полезных ископаемых открытым способом, задача улучшения качества дробления сводится к уменьшению диаметра среднего куска и

снижению выхода негабаритных фракций. При этом данная задача решается в основном путем увеличения удельного расхода и мощности взрывчатого вещества (ВВ), а также за счет использования рациональных расположения и схем коммутации скважинных зарядов в анизотропных горных породах (гранитах, диоритах, сиенитах).

Не требует особых доказательств тот факт, что замена простейших ВВ с относительно низкой скоростью детонации на более мощные эмульсионные взрывчатые вещества (а это на данное время хорошо прослеживаемая тенденция) приводит к то-

му, что на карьерах строительных материалов, в частности гранитных, в продуктах разрушения наблюдается повышенный выход переизмельченных фракций (0 – 5 мм), в основном за счет диссипативных потерь на контакте «ВВ-порода». Эти фракции, по сути, являются отходами производства. Поэтому для карьеров, разрабатывающих месторождения строительных материалов, важнейшей задачей является не только снижение выхода негабаритных фракций, но и существенное уменьшение выхода мелочи. И если снижение выхода негабаритных фракций и достижение равномерности дробления для сложноструктурных гранитных массивов, характеризующихся анизотропией физико-механических свойств и наличием двух взаимно-пересекающихся систем макротрещин – раскрытых и плотно-сомкнутых, решается применением вытянутой сеткой взрывных скважин и схем коммутации зарядов с локализацией энергии взрыва в разрушаемом блоке, то задача уменьшения выхода переизмельченных фракций намного сложнее, прежде всего в силу недостаточной изученности характера разрушения на контакте «ВВ-порода». Что касается такой полиминеральной среды как граниты, то по данному вопросу, как показали ранее проведенные исследования [1 – 5], характер разрушения на контакте «ВВ-порода» определяется минеральным составом, плотностью дефектов строения и степенью их ориентированности, а также параметрами ударного импульса, т.е. его амплитудой и длительностью. При этом конфигурация зоны переизмельчения зависит от пространственной ориентировки дефектов строения, а минералогический и гранулометрический состав мельчайших продуктов разрушения существенно зависит от минералов с максимальной плотностью дефектов строения.

В настоящее время для уменьшения выхода переизмельченных фракций на контакте «ВВ-порода» широко используются заряды с кольцевым зазором, который создается при формировании скважины зарядом в полиэтиленовой оболоч-

ке меньшего диаметра, чем в скважине. Применение зарядов ВВ в скважинах с кольцевым зазором, по данным работы [6], позволяет уменьшить выход мелочи при взрыве на 3 – 5% за счет демпфирования ударного импульса слоем воздуха или воды (в обводненной скважине), находящимся между зарядом в полиэтиленовой оболочке и поверхностью разрушаемой горной породы.

Основными недостатками зарядов с кольцевым зазором является их техническая сложность при формировании по сравнению со сплошными зарядами, невозможность обеспечить зазор постоянной ширины, за счет зигзагообразного расположения заряженной части рукава в скважине и увеличение по этой причине длины рукава, а, следовательно, и массы заряда в нем в среднем на 13%.

*Цель работы* – изучение характера разрушения моделей полиминеральной горной породы зарядами ВВ различного поперечного сечения и оценить эффективность их использования.

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами настоящей статьи разработаны конструкции зарядов, позволяющие устранить вышеуказанные недостатки за счет использования удлинённых зарядов призматической формы – трехгранных и квадратных. В сечении данные заряды представляют собой равносторонний треугольник или квадрат, вписанный в окружность с инертными промежутками (воздушными, водными, рис. 1, а).

Конструктивно заряды ВВ формируются в жесткие тонкостенные полые призмы (рис. 1, б).

Предположительно эффективность зарядов такой формы должна достигаться за счет совпадения и надежной фиксации осей симметрии заряда и взрывной скважины, минимального контакта ВВ с горной породой (по линии ребер призмы), а также за счет разноградиентного воздейст-

вия взрыва на массив, при котором возрастает роль растягивающих разрушающих напряжений в процессе распространения ударного импульса и волн напряжений дегитирующего взрывчатого вещества.

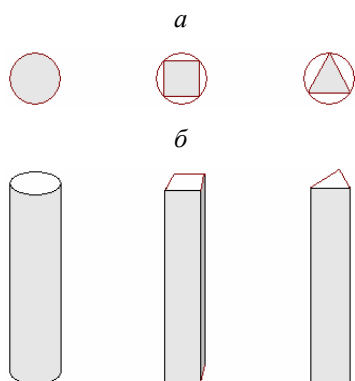


Рис. 1. Конструкции скважинных зарядов ВВ различной формы: а – сечение заряда; б – внешний вид

Проверка эффективности предложенных конструкций скважинных зарядов различной формы была проведена на моделях кубической формы с размером ребра 40 мм. Модели были изготовлены из мелкозернистого гранита (месторождение «Сивач», Черкасская обл., Украина). В моделях при помощи алмазного сверла формировалась цилиндрическая зарядная по-

лость, которую при помощи специального кондуктора располагали строго по центру грани. Глубина зарядной полости во всех моделях составляла 30 мм, диаметр 6 мм. В цилиндрических полостях моделей в жестких тонкостенных оболочках формировали минизаряды в виде удлиненных треугольных и квадратных призм. Масса зарядов для всех моделей составляла 150 мг. Всего было взорвано 9 моделей (по три с квадратными и треугольными призмами – экспериментальные и три со сплошными зарядами – контрольные).

Подрыв моделей осуществляли в специальном обрешеченном боксе. После сбора продуктов разрушения и их разделения на фракции с помощью лабораторных сит мельчайшие фракции (0 – 100 мкм), образующиеся на контакте «заряд ВВ-порода», анализировал с помощью светооптических методов.

Для этой цели использовался поляризационный микроскоп МП-2, снабженный интегратором ИСА, препаратоводителем ПВ, 20-кратным объективом и 8-кратным отсчетным окуляром. Данная оптическая система позволяла производить массовые измерения продуктов разрушения гранитной модели – частичек фракции 0 – 100 мкм с точностью 1 мкм при увеличении 240х.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАРЯДАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ (ФРАКЦИЯ 0 – 100 МКМ)

Таблица

Форма заряда	Средний диаметр частичек, $d_{cp}$ , мкм	Квартили, мкм			Коэффициент равномерности дробления, $S_0$	Коэффициент асимметрии, $S_k$
		$Md(Q_{50})$	$Q_{75}$	$Q_{25}$		
Цилиндрический	19,44	6,41	17,14	2,23	2,77	0,93
Треугольная призма	16,82	4,43	12,21	1,52	2,83	0,95
Квадратная призма	28,82	14,85	34,43	5,58	2,31	0,86

Данные микрогранулометрии заносили в специальные таблицы, определяли по ним средний диаметр частичек  $d_{cp}$ , затем

методом приближения экспериментальных кривых к двухпараметрическим зависимостям, используя стандартные программы

на языке BASIC, позволяющие в автоматическом режиме получать кумулятивные кривые, а по параметрам  $A$  и  $B$  вычислять гранулометрические характеристики продуктов разрушения, такие как медианный размер  $Md$ , квартили  $Q_{75}$ ,  $Q_{25}$ , коэффициент равномерности дробления  $S_0$  и коэффициент асимметрии  $S_k$ .

Результаты выполненных экспериментальных исследований по эффективности использования зарядов различной формы приведены в таблице, а кумулятивные кривые гранулометрического состава – на рис. 2.

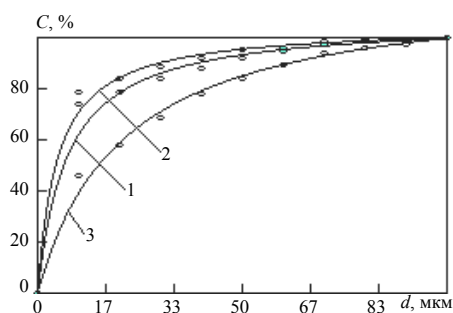


Рис. 2. Кумулятивные кривые гранулометрического состава мелкодисперсных фракций (0 – 100 мкм) зарядов ВВ различной формы: 1 – сплошной цилиндрический; 2, 3 – соответственно призматический с треугольным сечением и призматический с квадратным сечением (оба заряда с воздушными сегментовидными зазорами между зарядом ВВ и породой);  $d$  – размер фракции, мкм;  $C$  – содержание фракции, %

Анализ данных таблицы и кривых гранулометрического состава мелкодисперсных фракций продуктов взрывного разрушения гранитных моделей зарядами различной формы показывает, что форма заряда оказывает существенное влияние на характер разрушения полиминеральной среды на контакте «ВВ-порода». Наименьший размер среднего диаметра мелкодисперсных частиц  $d_{cp}$  наблюдается при использовании призматических зарядов с треугольным сечением, наибольший – при

использовании призматических зарядов квадратного сечения. При этом характеристики гранулометрического состава зарядов треугольного и кругового сечения и вид кумулятивных кривых незначительно отличаются между собой. При использовании призматического заряда ВВ с квадратным сечением и воздушными зазорами между поверхностью заряда и породой в виде сегментов приводит в целом к образованию более крупных частичек на контакте «ВВ-порода». Средний диаметр частичек  $d_{cp}$  увеличивается в 1,5 – 1,7 раза по сравнению со средним диаметром частичек, образующихся при взрыве зарядов с треугольным и круговым сечением. Кроме того, в мелкодисперсной фракции (0 – 100 мкм) содержится больше частичек с одинаковым размером, что отражается в значении коэффициента равномерности дробления  $S_0$ . Значение коэффициента равномерности дробления, важной характеристики гранулометрического состава, иногда называемой коэффициентом сортировки, для горных пород обычно находится в интервале 1 – 3. Чем ближе значение  $S_0$  приближается к единице, тем больше частичек одинакового размера присутствует в анализируемой фракции. Для заряда с квадратным сечением оно равно 2,31 – для цилиндрического заряда и заряда с треугольным сечением  $S_0$  соответственно составляет 2,83 и 2,77.

## ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования по изучению взрывного дробления полиминеральной среды зарядами различной формы, сплошным цилиндрическим и зарядами в виде квадратной призмы с воздушными сегментовидными промежутками показали различие в характере породы на контакте «ВВ-порода». Проверка эффективности новых конструкций зарядов в виде треугольной и квадратной призмы, предназначенных для уменьшения выхода перемельченных фракций, показала, что

наименьшие диссипативные потери, выражающиеся в максимальном размере среднего куска для данной фракции дробления, минимальном значении коэффициентов равномерности дробления и асимметрии, наблюдаются для зарядов в виде квадратной призмы.

При разрушении гранитных моделей призматическими зарядами с треугольным сечением доля мельчайших частичек в продуктах разрушения фракции 0 – 100 мкм возрастает. Средний диаметр частичек разрушенной породы уменьшается на 13,5% в

сравнении с частичками, образующимися при использовании сплошных цилиндрических зарядов, а коэффициент равномерности дробления, равный 2,83 (наибольшее значение данного параметра в серии проведенных экспериментов). Такой характер разрушения может быть обусловлен преобладанием в сложном градиентном поле напряжений, возникающих в разрушаемой среде от взрыва заряда ВВ треугольного сечения, сдвиговых составляющих, а прочность породы на сдвиг, как известно, в среднем в пять раз меньше, чем на сжатие.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Механика взрывного разрушения пород различной структуры / [Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Кратковский И.Л., Рева Н.П.]. – К.: Наукова думка, 1984. – 192 с.

2. Ефремов Э.И. О влиянии фракционного состава кварцсодержащих пород на содержание силикозоопасной пыли в продуктах их разрушения / В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский, С.В. Шевченко // Докл. АН Украины, 1993. – № 5. – С. 45 – 49.

3. Ефремов Э.И. Влияние взрывного нагружения на степень разрушения полиминеральных сред / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Д., 1998. – Вып. 4. – С. 4 – 9.

4. Экспериментальные исследования влияния скорости взрывного нагружения на выход пылевидных фракций при разрушении горных пород / Э.И. Ефремов, И.Л. Кратковский, К.С. Ищенко [и др.] // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Д., 2001. – Вып. 26. – С. 8 – 12.

5. Кратковский И.Л. Степень ориентированности дефектов строения кристаллических пород и характер их разрушения под действием нагрузок / И.Л. Кратков-

ский // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Д., 2003. – Вып. 42. – С. 115 – 122.

6. Прохода О.В. Опыт проведения взрывных работ, обеспечивающих уменьшение выхода отсева на гранитных карьерах [Текст] / О.В. Прохода, И.Г. Абессонов, В.Д. Прилипенко // Современные ресурсосберегающие технологии горного производства. – Кременчуг: КГПУ, 2009. – Вып. 1/2008(1). – С. 57 – 61.

## ОБ АВТОРАХ

Коновал Сергей Владимирович – аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Черкасского государственного технологического университета.

Ищенко Константин Степанович – к.т.н., с.н.с. отдела механики взрыва горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Кратковский Игорь Леонидович – к.т.н., с.н.с. отдела механики взрыва горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Коновал Владимир Николаевич – к.т.н., доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Черкасского государственного технологического университета.