

3. Перспективним в розвитку данного дослідження являється розгляд питання модифікації поверхні гранул димного пороха з метою підвищення їх вологостійкості.

1. Буллер М. Ф. О старении дымного пороха // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ. – 2002. – Вип. 6. – С. 57–63.

2. Буллер М. Ф. О связи химического и физического старения дымного пороха // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ. – 2002. – Вип. 7. – С. 71–76.

3. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей // Государственный комитет СССР по стандартам. – М., 1986. – 140 с.

4. Мишин К. В., Бомштейн Р. И. Гигроскопичность нитратов аммония, натрия, калия // Бюллетень Военно-химического НИИ – Г.В.М.У – Н.К.Т.П. – 1932. – № 16. – С. 117.

5. Crank E. I., Park G. S. Diffusion in Polymers. – London–New York, Academies Press. – 1968. – 458 p.

6. Коррозия. Справочник / Под ред. Л. А. Шрайера. – М.: Металлургия. – 1981. – С. 10.

7. Эмануэль Н. М. Термоокислительное старение полимеров // Высокомолекулярные соединения. – 1985, Т. 27.– № 7. – С. 1347–1363.

8. Михайлов М. М. Влагопроницаемость органических диэлектриков. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 163 с.

УДК 622.023:622.236.4

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ КИМБЕРЛИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВЗРЫВНЫХ ПАТРОНОВ

*В. А. Бабич, инж. (Институт электросварки им. Е. О. Патона)*

*Наведено результати розробки, експериментальних досліджень та промислових випробувань спеціальних вибухових патронів, призначених для зменшення ушкодження кристалосировини під час її видобутку.*

Обеспечение хозяйства страны минеральным сырьем неразрывно связано с разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых, многие из которых добывают с использованием энергии взрыва. Особенно важны научно обоснованные и эффективные методы управления взрывом при разведке и добыче кристаллосырья, в частности алмазов, в связи с необходимостью сохранить их естественную структуру.

Поскольку большая часть кристаллов алмаза повреждается именно при взрывной отбойке кимберлитов [1, 2], выход кондиционного сырья уменьшается на 20...40 %, а производительность погрузочно-транспортного и дробильного оборудования из-за выхода кусков взорванной горной массы с размерами, отличными от кондиционных, падает на 15...20 %.

Известные технологии ведения буровзрывных работ (БВР) при отбойке кимберлитов не всегда эффективны, поскольку не предусматривают регулирования режима выделения энергии детонирующего заряда ВВ и не учитывают сложности формирования зарядов в обводненных скважинах [3, 4, 5]. Поэтому для снижения повреждаемости кристаллов алмаза была разработана технология взрывной отбойки кимберлитов с использованием специальных взрывных патронов.

Взрывной патрон новой конструкции «Специальный патрон алмазный» СП-А (рис. 1), предназначенный для применения в скважинах диаметром 0,25 м, состоит из трех цилиндрических полиэтиленовых оболочек различного диаметра, соосно смонтированных одна в другой. Оболочка, расположенная по оси заряда, заполнена штатным ВВ с небольшим критическим диаметром,

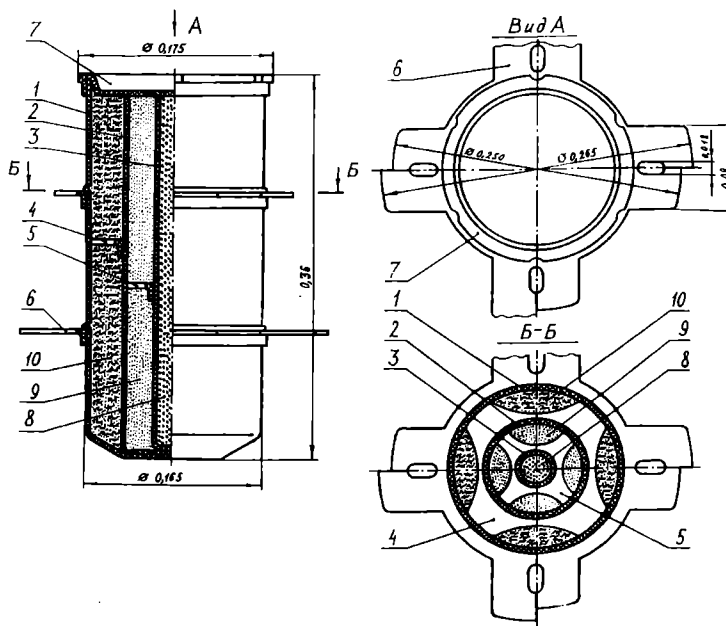


Рис. 1. Взрывной патрон СП-А: 1, 2, 3 – наружная, промежуточная и внутренняя оболочки; 4, 5 – распорные кольца; 6 – центрирующее кольцо; 7 – крышка; 8 – осевой боевик; 9, 10 – первый и второй энергослон

например аммонитом № 6-ЖВ, и является боевиком, детонация которого легко вызывается штатными средствами взрывания. Вокруг боевика, между ним и средней и наружной оболочками расположены два энергослоя. Составы энергослоев (табл. 1) изготавливались из невзрывчатых веществ, нечувствительных к капсуль-детонатору и механическим воздействиям, и взрываются лишь при осевом инициировании мощным боевиком из штатного ВВ. Основой составов энергослоев является гранулированная аммиачная селитра, а также недорогие органические вещества, содержащие большое количество летучих компонентов, например угольный порошок.

Взрывчатые свойства разработанных составов энергослоев определяли по известным методикам, работоспособность – по методу воронкообразования. Эксперименты подтвердили, что составы энергослоев вполне удовлетворяют необходимым требованиям. Комплект патронов СП-А, диаметр которых немного меньше диаметра скважины, образует заряд ВВ, позволяющий разрушать породы в шадищем режиме. Импульс взрыва боевика передается через окружающие его составы энергослоев и оболочки патрона, что значительно снижает бризантное действие взрыва на породу. Кольцевой зазор между патронами заряда и стенкой скважины также снижает амплитудное давление взрыва. Такой заряд, состоящий из нескольких энергослоев, позволяет осуществлять последовательное превращение энергии по мере их вступления в реакцию.

Таблица 1. Составы энергослоев патронов СП-А

Компоненты	Содержание компонентов, %	
	Вариант 1	Вариант 2
<b>Первый энергослой</b>		
Аммиачная селитра	60	78
Алюминиевая пудра ПАП-1 (А)	10	8
Окись железа	20	8
Угольный порошок	10	6
<b>Второй энергослой</b>		
Аммиачная селитра	74	88
Алюминиевая пудра ПАП-1	8	8
Сульфат бария	8	4
Угольный порошок	10	–

Поскольку параметры взрывного импульса патрона СП-А зависят как от состава энергослоев и боевика, так и от соотношения их размеров в патроне, то для выбора размеров энергослоев были проведены экспериментальные исследования амплитудно-временных параметров взрывного импульса при кумфлетном взрыве патрона в песке нарушенной структуры. Регистрация параметров взрывных волн осуществлялась комплектом аппаратуры, включающем мембранные полупроводниковые тензодатчики, усилители «Топаз-3» и шлейфные осциллографы Н-117.

Эксперименты проводились отдельно для боевика, боевика с первым энергослоем, а также для патронов в сборе. При этом применялись следующие конструкции зарядов (рис. 2): сплошные заряды (диаметр заряда равен диаметру зарядной полости); заряды с инертным кольцевым слоем (диаметр зарядной полости 0,165 м); заряды с инертным и воздушным кольцевыми слоями (наружный диаметр кольцевого воздушного зазора 0,25 м).

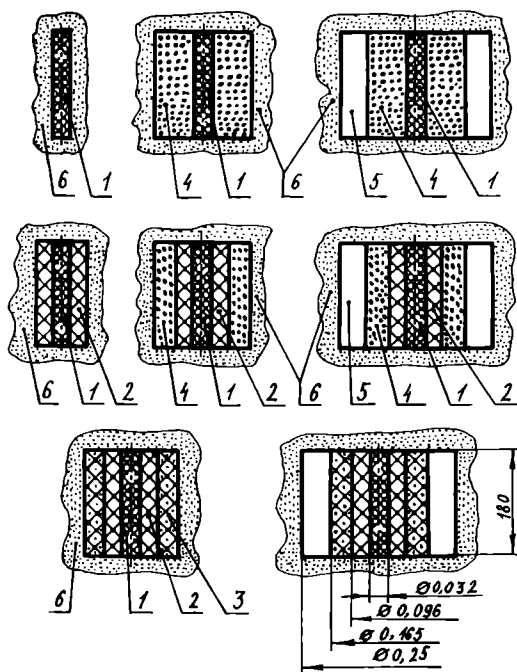


Рис. 2. Конструкция заряда: 1 – боевик; 2 – первый энергослой; 3 – второй энергослой; 4 – инертный слой; 5 – воздушный зазор; 6 – песок

Испытывались два состава энергослоев (см. табл. 1). В зарядах с первым составом применяли только мощные боевики из аммонита № 6-ЖВ, в качестве которых использовался стандартный патрон аммонита № 6-ЖВ массой 0,2 кг и диаметром 0,032 м. В зарядах со вторым составом использовались одинаковые по массе и размерам боевики двух типов: из аммонита № 6-ЖВ и аммонита № 6-ЖВ с добавкой 40 % хлористого натрия.

Инертным материалом моделировали отсутствующий слой взрывчатых составов. Его физические свойства (плотность, дисперсность, пористость) подбирались близкими свойствам замещаемого взрывчатого состава. Инертный материал изготавливался из смеси перлита и измельченного шлака с размером

частиц менее 0,003 м. Объемная масса такого инертного материала, как и взрывчатых составов, равнялась  $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

В результате анализа экспериментальных данных были получены закономерности изменения с расстоянием нормальных радиальных напряжений в виде степенной функции

$$\sigma_r = Kr^{-\mu}, \quad (1)$$

где  $\sigma_r$  – наибольшее радиальное напряжение, Па;  $K$  – размерный коэффициент, Па;  $r$  – расстояние до заряда, м;  $\mu$  – показатель, характеризующий степень затухания напряжений с расстоянием.

Для длительности импульса  $\tau$  и времени нарастания напряжения до максимума  $t_n$  получены следующие закономерности:

$$\begin{aligned} \tau &= b_1 r + a_1; \\ t &= b_2 r + a_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $K, \mu, b_1, a_1, b_2$  и  $a_2$  представлены в табл. 2 и 3.

Обнаружено, что параметры взрывного импульса патрона СП-А при различном соотношении размеров энергослоев (рис. 3 и 4) изменяются по следующей схеме: увеличение размеров энергослоя с низкими детонационными характеристиками снижает амплитуду и повышает временные параметры импульса (вплоть до полного затухания детонации) и, наоборот, с увеличением содержания мощного состава напряжения растут, достигая максимума при отсутствии слабого энергослоя; временные параметры, как правило, снижаются. При этом в составах первого энергослоя детонация затухает на расстоянии более 0,05 м от осевого боевика из аммонита № 6-ЖВ. Обоснована рациональная величина наружного диаметра первого энергослоя, равная 0,096 м, принимаемая такой и во всех последующих экспериментах. Такая толщина первого энергослоя обеспечивает передачу детонации второму энергослою, если патрон СП-А размещен в разрушаемой среде, и не вызывает детонации второго энергослоя, когда патрон открыт.

При прохождении взрывной волны внутренних составных частей патрона СП-А по окружающим их взрывчатым составам (см. рис. 4) происходит значительное уменьшение напряжений: 16...60 % – для боевика и 19...33 % – для первого энергослоя; временные параметры импульса взрыва при этом возрастают.

Применение боевика с низкими детонационными характеристиками обеспечивает снижение напряжений в грунте и увеличение времени нарастания напряжений до максимума.

Долевое участие составных частей патрона СП-А в величине общего напряжения может изменяться в значительных пределах в зависимости от взрывчатых характеристик составов энергослоев и боевика. Вклад боевика в напряженное состояние грунта всегда выше его содержания в общей массе заряда и для исследуемых структур изменялся от 9 до 50 % и более.

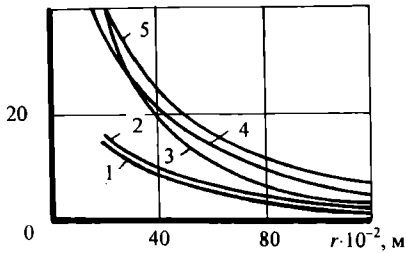
$\sigma_r \cdot 10^{-5}, \text{Па}$ 

Рис. 3. Зависимость напряжения от расстояния до зарядов СП-А с различным соотношением размеров энергослоев: 1, 2, 3, 4 – наружный диаметр первого слоя равен соответственно 0,165; 0,13; 0,096; 0,07 м; 5 – первый энергослой отсутствует

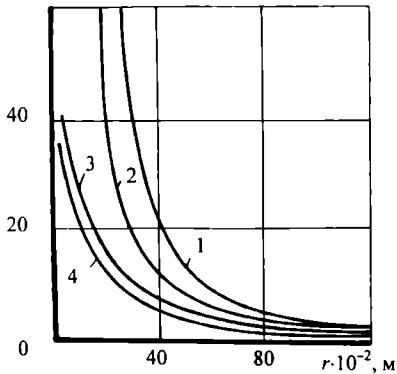
 $\sigma_r \cdot 10^{-5}, \text{Па}$ 

Рис. 4. Зависимость напряжения от расстояния до заряда для внутренних частей патрона СП-А: 1 – боевика из аммонита №6-ЖВ; 2 – боевика с инертным слоем; 3 – боевика и первого энергослоя; 4 – боевика и первого энергослоя с инертным слоем

Роль воздушного зазора вокруг заряда проявляется по-разному, в зависимости от его величины: при объеме зазора, меньшем 5...6 объемов заряда, напряжения в песчаном грунте выше, чем для зарядов без воздушного зазора. Максимум напряжений имеет место при объеме воздушного зазора около двух объемов заряда.

Таблица 2. Значения коэффициентов в зависимостях параметров взрывного импульса от расстояния до зарядов с различным соотношением размеров энергослоев

Наружный диаметр первого энергослоя, м	Значения коэффициентов в зависимостях (1) и (2)					
	$\lg K$	$\mu$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$
0	5,0477	1,8848	0,44	-13,3	0,05	22,75
0,07	5,0621	1,9296	0,42	-13,35	0,05	-2,78
0,096	5,6033	2,5052	0,38	-8,75	0,031	-1,27
0,13	4,5877	1,6402	0,5	-1,67	0,06	-2,73
0,165	4,6249	1,6939	0,39	-0,27	0,06	-2,47

Была проведена сравнительная оценка зарядов ВВ, рекомендуемых для отбойки кимберлитов, по параметрам взрывных волн, генерируемых в рудном массиве на карьере «Удачный» ПНО «Якуталмаз», при которой испытаниям подвергались следующие ВВ: стандартный игданит состава АС: дизельное топливо (ДТ) = 94 : 6; игданит А-6 состава АС : ДТ : А = 90 : 4 : 6; состав ФП-А, состоящий из АС и вспененного полистирола в пропорции 50 : 50 по объему с добавкой 4 % пятидесятипроцентного раствора этиленгликоля сверх 100 %; патроны СП-А двух различных составов (см. табл. 1).

Таблица 3. Значения коэффициентов в зависимостях параметров взрывного импульса от расстояния до зарядов с первой рецептурой составов

Характеристика зарядов	Значения коэффициентов в зависимостях (1) и (2)					
	$\lg K$	$\mu$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$
Боевик	5,1098	2,4777	0,4	-8,1	0,032	-0,35
Боевик с инертным слоем	4,5399	1,9452	0,471	-6,396	0,052	-0,666
Боевик с инертным и воздушными слоями	5,4538	3,0789	0,507	-8,89	0,083	-2,068
Первый энергослой	5,6209	2,908	0,426	-7,317	0,0418	-0,774
Первый энергослой с инертным слоем	5,7493	3,112	0,3	5,27	0,06	-1,65
Первый энергослой с инертным и воздушными слоями	6,0125	3,3348	0,358	-2,02	0,0437	-1
Заряд в сборе	5,9201	3,0943	0,29	9,837	0,0398	-1,479
Заряд в сборе с воздушным слоем	5,9993	3,1079	0,31	5,5	0,03	0,03

В качестве контрольного ВВ был принят аммонит № 6-ЖВ. Графики изменения напряжения с удалением от взрыва на восточном участке трубы «Удачная» в логарифмических координатах приведены на рис. 5.

Анализ экспериментальных данных показал, что по условию уменьшения зоны повреждаемости кристаллов вокруг заряда для дробления рудного массива более всего подходит стандартный игданит, состав ФП-А и патрон СП-А с составом по варианту 1. Составу ФП-А можно отдать предпочтение перед стандартным игданитом, так как напряжение, вызванное его взрывом, в ближней зоне не намного больше, чем у игданита, но медленнее затухает с расстоянием. Однако наиболее приемлемым для указанной цели следует признать патрон СП-А первого состава, взрыв которого в сравнении с составом ФП-А обеспечивает более низкое давление в ближней зоне и заметно более высокое – в дальней, что весьма благоприятно сказывается на размерах зоны дробления массива. К тому же патроны СП-А могут применяться в обводненных породах, а составы ФП-А и игданит – только в сухих.

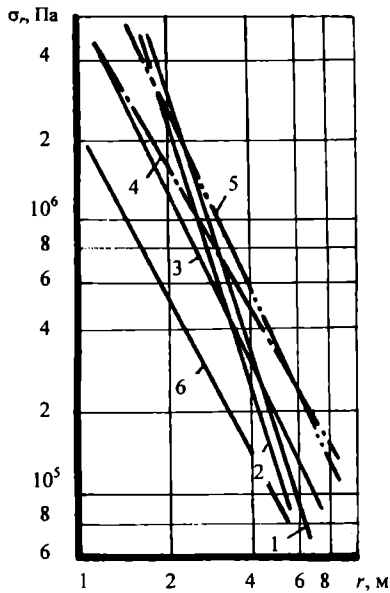


Рис. 5. Изменение напряжения с удалением от взрыва для различных ВВ на восточном участке трубки «Удачная»: 1 – аммонит №6-ЖВ; 2 – игданит А-6; 3 – ФП-А; 4 – СП-А первой рецептуры; 5 – СП-А второй рецептуры; 6 – стандартный игданит

Был проведен экспериментальный взрыв, в результате которого было отбито по 20 тыс. м<sup>3</sup> руды на опытном и контрольном участках с раздельной переработкой взорванной руды каждого участка на обогатительной фабрике и представлением проб полученной продукции на анализ качества кристаллов. Качество дробления руды, достигнутое на опытном участке, было несколько хуже, чем на контрольном, но вполне удовлетворительное для производительной работы экскаватора. Взорванная руда опытного участка содержит меньше мелких фракций, что служит доказательством лучшей сохранности естественной структуры кристаллов алмаза. Отбор же проб и минералогический анализ кристаллов алмаза с оценкой их повреждений подтвердил лучшую сохранность кристаллов из опытного участка, в результате чего средняя цена одного карата возросла на 20,3 % для кристаллов класса –20+8 мм и на 25 % – для кристаллов класса –8+4 мм (см. табл. 4).

Таким образом, результаты опытно-промышленной проверки на карьере «Удачный» подтвердили эффективность технологии отбора валовых проб с применением зарядов из патронов СП-А для взрывной отбойки кимберлитов по критерию сохранности естественной структуры кристаллов алмаза.

На основании выполненных экспериментальных исследований сделаны следующие основные выводы.



1. Разработан способ управления взрывом в скальных породах с применением многослойных патронированных скважинных зарядов с регулируемым выделением ими энергии ВВ для шадающего разрушения кристаллосодержащих горных пород в процессе разведочно-эксплуатационных работ.

2. Импульс взрыва патрона СП-А характеризуется большей длительностью и меньшим пиковым давлением вблизи заряда (например, на расстоянии 0,2 м давление ниже в 1,56 раза по сравнению с составом ФП-А), а также меньшей скоростью спада напряжений, чем при взрыве других ВВ. Так, коэффициент  $\mu$ , характеризующий интенсивность затухания напряжений с удалением от взрыва, для патрона СП-А в 1,16 раз меньше, чем для состава ФП-А.

3. Разработаны конструкция специальных взрывных патронов (СП-А) шадающего действия и технология их применения в процессе разведочно-эксплуатационных работ, позволяющие увеличить выход мелких фракций при качественном дроблении руды (выход фракции 0,2 м на 6...17% меньше, чем на контрольном участке, фракции +1 м – на 1,5...1,7% больше) и снизить повреждаемость кристаллов алмаза, в результате чего средняя цена одного карата возросла на 20,3% для кристаллов класса –20+8 мм и на 25% – для кристаллов класса –8+4 мм.

4. Результаты исследований могут быть применены на месторождениях, где необходимо повысить сохранность сырья, а также при проектных работах.

5. Патроны СП-А, после соответствующей корректировки конструкции, могут также успешно применяться для отбойки кимберлита в подземных условиях, опасных по взрыву метано-воздушной смеси, поскольку они являются одновременно предохранительными, селективно детонирующими патронами.

1. *Патушинская Н. Д., Сельдищева Е. Б.* Методика оценки повреждаемости алмазов в технологических процессах // Геология, вещественный состав и методы исследования руд благородных и редких металлов. Труды Ирриредмет. – Вып. 32. – Иркутск, 1978. – С. 47–52.

2. *Власов В. М.* Исследование критериев и обоснование оптимальной кусковатости при дроблении трещиноватых массивов, обеспечивающей эффективную взаимосвязь процессов добычи и рудоподготовки (на примере карьеров объединения «Якуталмаз»): Автореф. дис... канд. техн. наук. – Якутск, 1984. – 16 с.

3. *Технология добычи руды, содержащей ценные кристаллы* / В. Н. Мосинец, Б. А. Соколов, И. С. Цыкалов, Ю. П. Брыгин, И. Ф. Андросов // Горный журнал. – 1983. – № 9. – С. 31–33.

4. *Боровиков В. А.* О влиянии кольцевого зазора на параметры волн напряжения при взрыве удлиненных зарядов // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1975. – № 11. – С. 64–69.

5. *Скрипка В. А.* Исследование повреждаемости алмазов взрывом и выявление путей снижения потерь кристаллов при взрывной отбойке кимберлитов: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск, 1975. – 31 с.