

Г.А. АГАРОНЯН, Л.С. АКОПЯН, А.Г. АГАРОНЯН

**РЕГУЛИРОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ  
МАССЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕРУДНЫХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Разработка месторождений нерудных строительных материалов, используемых для производства щебня взрывом, вызывает необходимость сохранить естественную прочность породы, а также уменьшить выход переизмельченных и негабаритных фракций взорванной массы. Установлено, что выход некондиционных (переизмельченных и негабаритных) фракций взорванной породы зависит от блочности (трещиноватости) разрушаемого массива и величины энергии заряда взрывчатого вещества (ВВ), а также характера распределения энергии взрыва в среде.

В статье предложена новая технология взрывания путем применения скважинных зарядов, состоящих из смеси промышленных ВВ и гранул пенополистирола, а также создания контурной трещины за последним рядом скважин. Это позволит поднять колонку заряда в скважине, получить гладкую поверхность откоса уступа, что улучшит качество дробления в зонах забойки и откоса уступа.

**Ключевые слова:** выход переизмельченных и негабаритных фракций, блочность массива, плотность взрывчатой смеси, контурное взрывание, зона заряда взрывчатого вещества, зона забойки.

**Введение.** Известно, что в процессе взрывного разрушения качество дробления горной породы определяется последующими процессами добычи и переработки полезных ископаемых. При разработке месторождений нерудных строительных материалов, используемых для производства щебня, качество дробления породы взрывом характеризуется выходом некондиционных (переизмельченных и негабаритных) фракций. В процессе отбойки пород на щебень необходимо сохранить естественную прочность породы, а также уменьшить выход переизмельченных и негабаритных фракций.

Выход некондиционных фракций взорванной породы зависит от физико-механических свойств и структурных особенностей массива, а также от величины энергии заряда взрывчатого вещества, параметров взрывного импульса (амплитуда и длительность) и характера распределения энергии взрыва в среде.

Известно, что увеличение энергии заряда ВВ способствует уменьшению выхода негабаритных кусков. Однако это связано с такими негативными явлениями, как повышение выхода переизмельченных фракций, снижение прочности кусков отбитой горной массы, увеличение негладкой зоны откола, а

также сейсмического воздействия взрыва и разброса отдельных кусков взорванной породы.

Необходимо отметить, что при отбойке трещиноватых пород влияние величины энергии заряда ВВ на качество дробления существенно ограничено. Причем эффект дробления при увеличении энергии заряда ВВ зависит от интенсивности трещиноватости массива и резко снижается с ее увеличением.

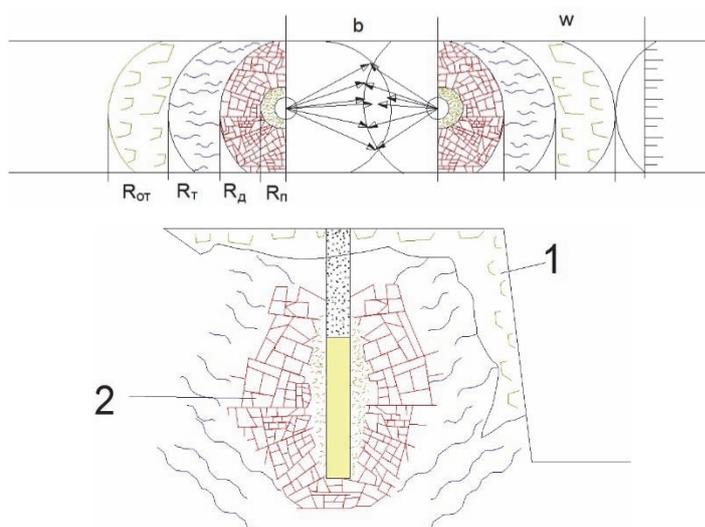
Трещиноватость (блочность) горного массива и прочность слагающих их пород являются существенными природными факторами, влияющими на характер взрывного разрушения скальных пород. Трещины оказывают экранирующее действие на распространение энергии взрыва, локализуют разрушение отдельностями, расположенными вокруг заряда ВВ, а на больших расстояниях отдельности могут разрушаться только за счет их соударения между собой.

Характерной особенностью нерудных строительных карьеров Армении, представленных известняками, песчаниками, базальтами и другими породами, является крупноблочное строение массивов. Выход негабаритных фракций на этих карьерах значителен.

Исходя из вышесказанного, целью настоящей работы является создание и обоснование новых методов управления энергией заряда при взрыве в крупноблочных массивах, позволяющих повысить использование энергии взрыва на снижение выхода переизмельченных и негабаритных фракций.

**Постановка задачи и обоснование методики.** При отбойке сплошными скважинными зарядами в крупноблочных породах волны напряжений с амплитудами, превышающими предел прочности горных пород, распространяются в основном в пределах блока, содержащего заряд ВВ. При переходе через трещину волны напряжений, достигающие верхней части уступа, обладают низкой амплитудой в силу отражения и преломления наконтактных слоев. В этом случае верхняя часть уступа, находящегося в зоне забойки (неактивной части скважины), не подвергается дроблению взрывом, а разваливается на естественные отдельности (рис.1). Установлено, что в крупноблочных массивах энергия взрыва, затрачиваемая на дробление среды, составляет всего 2...8% потенциальной энергии ВВ [1]. Причем при применении сплошных колонковых зарядов значительная часть (20...30%) энергии взрыва расходуется на пластические деформации и на переизмельчение среды в ближней зоне заряда, что и обуславливает интенсивную диссипацию энергии ВВ.

При взрыве зарядов ВВ образуются отдельные зоны разрушения (рис.1): переизмельчения, дробления, радиального трещинообразования и откольная зона.



*Рис.1. Образование зон разрушения и откольных слоев:  
 $R_{п}$  – радиус зоны переизмельчения;  $R_{др}$  – радиус зоны дробления;  
 $R_{т}$  – радиус зоны трещинообразования;  $R_{от}$  – радиус откольных зон;  
 1 – зона нерегулируемого дробления, 2 – зона регулируемого дробления*

В зоне дробления, непосредственно примыкающей к полости взрыва, происходит наиболее интенсивное разрушение породы с образованием значительного количества мелких фракций (зона переизмельчения).

В зоне радиального трещинообразования тангенциальные растягивающие напряжения превышают предел прочности пород и образуют радиальные трещины. Вблизи границы зоны трещинообразования и вне ее существует зона нерегулируемого дробления (разрушение пород происходит по естественным трещинам). На границе зоны трещинообразования и нерегулируемого дробления при взрыве последних рядов скважинными зарядами образуется неровная поверхность откола (негладкая наклонная поверхность уступа), которая является очагом выхода негабарита.

Это указывает на необходимость изыскания путей снижения диссипативных потерь энергии взрыва в ближней зоне заряда ВВ, улучшения разрушающего действия взрыва в зоне забойки, а также создания гладкой поверхности откола, позволяющей уменьшить выход переизмельченных и негабаритных фракций.

Для достижения этой цели нами была предложена новая технология взрывных работ, позволяющая решить следующие задачи:

– применение взрывчатых смесей, позволяющих регулировать насыпную плотность и скорость детонации, что приводит к улучшению качества дроб-

ления в зоне забойки и снижению переизмельченных фракций в ближней зоне заряда ВВ;

– создание контурной трещины за последним рядом скважин (контурное взрывание), которое образует гладкую поверхность откола и увеличивает зону разрушения.

Механизм разрушения трещиноватых горных пород определяется давлением газообразных продуктов детонации ВВ и продолжительностью действия продуктов детонации на разрушаемую среду.

При взрывании сплошными скважинными зарядами газообразные продукты взрыва мгновенно создают в скважине огромное давление (примерно  $100^2$  МПа), которое намного превосходит прочность горных пород (около 100 МПа) и, следовательно, приводит к образованию мощной волны сжатия. Последняя производит дробление породы в основном за счет раздавливания и переизмельчения [2]. Поэтому для повышения эффективности использования энергии взрыва необходимо создать условия, способствующие дифференцированному распределению энергии взрыва по высоте разрушаемого уступа при низком предельном давлении, но при увеличенном времени его действия. Снижение предельного давления газообразных продуктов взрыва и увеличение времени его воздействия на взрываемую среду создают условия для взаимодействия ударных волн и газовых потоков, благодаря чему еще более увеличивается общее разрушающее действие взрыва.

Радиус зоны переизмельчения при взрывании горных пород определяется по формуле [3]

$$R_n = D (\rho_{ВВ} K_{ПР} / 8 \sigma_{сж})^{1/2}, \quad (1)$$

где  $D$  – скорость детонации ВВ, м/с;  $\rho_{ВВ}$  – плотность ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $K_{ПР}$  – коэффициент преломления ударной волны из зарядной полости в породу;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности пород на сжатие, МПа.

Предельное давление газообразных продуктов взрыва согласно [4] определяется следующим выражением:

$$P_{np} = 1/8 \rho_{ВВ} D^2 (d_{зар} / 2r_{np})^3, \quad (2)$$

где  $d_{зар}$  – диаметр заряда ВВ, м;  $r_{np}$  – предельный радиус зарядной полости, м.

Из формул (1) и (2) видно, что предельное давление газообразных продуктов взрыва, а также радиус зоны переизмельчения горных пород зависят от скорости детонации и плотности ВВ, причем при уменьшении плотности ВВ снижается скорость детонации ВВ [4], что приводит к снижению предельного давления газообразных продуктов взрыва. В этой связи нами были приняты взрывчатые смеси, состоящие из обычного промышленного ВВ и гранулиро-

ванного пенополистирола (ПП) (диаметром  $d=3...10$  мм и объемным весом  $\gamma_{\text{пп}} = 0,015...0,030$  г/см<sup>3</sup>), позволяющие регулировать насыпную плотность и скорость детонации ВВ (табл. 1). Применение гранулированного ПП в качестве компонента взрывчатой смеси обосновано тем, что шарики ПП, находящиеся между гранулами ВВ в определенной пропорции с ним, позволяют регулировать плотность смеси за счет собственной низкой объемной массы. Кроме того, наличие воздушных пор внутри взрывчатой смеси обеспечивает длительное действие давления газообразных продуктов взрыва [5]. Взрывание скважинных зарядов, состоящих из смеси промышленного ВВ и гранулированного ПП, позволяет поднять колонку заряда в скважине, оставляя минимальную длину забойки для улучшения качества дробления верхней части уступа. Применение контурного взрывания позволяет получить ровную оконтуривающую поверхность уступа при правильном выборе параметров взрывания. Основными параметрами контурного взрывания являются диаметр и линейная масса зарядов, расстояние между зарядами.

Таблица 1

*Насыпная плотность и скорость детонации взрывчатой смеси в зависимости от содержания пенополистирола*

Содержание ПП от общего объема заряда	ANFO	ANFO + ПП
%	плотность, г/см <sup>3</sup>	скорость
0	0,8	4000
20	0,65	3700
40	0,58	3400
60	0,35	2600
80	0,20	2100

Для получения ровной поверхности откоса необходимо создать контурную отрезную щель необходимой ширины. Это достигается применением линейных зарядов с воздушным радиальным зазором, причем между диаметром зарядов ( $d_{\text{зар}}$ ) и скважин ( $d_{\text{ск}}$ ) должно соблюдаться соотношение [6]

$$d_{\text{зар}} < d_{\text{ск}} / 3, \text{ м.} \quad (3)$$

В этом случае волна напряжения взрыва не превышает предела прочности пород на сжатие. Поэтому волна напряжения, достигнув стенок скважин вокруг заряда, почти не вызывает разрушения, она успевает только ослабить породу вследствие образования линейных трещин.

Опыт ведения взрывных работ на крупноблочных строительных карьерах показывает [7], что применение схемы короткозамедленного взрывания (КЗВ)

с трапецевидным врубом обеспечивает интенсивное дробление и позволяет сократить ширину развала взорванной массы. Поэтому нами была принята схема КЗВ с трапецевидным врубом при помощи внутрискважинного (MS) и поверхностного (НТД) замедлителей. Контурные скважины взрываются одновременно (с помощью детонирующего шнура) до взрыва зарядов рыхления или в одной с ними серии с опережением на 68...136 мс (рис. 2).

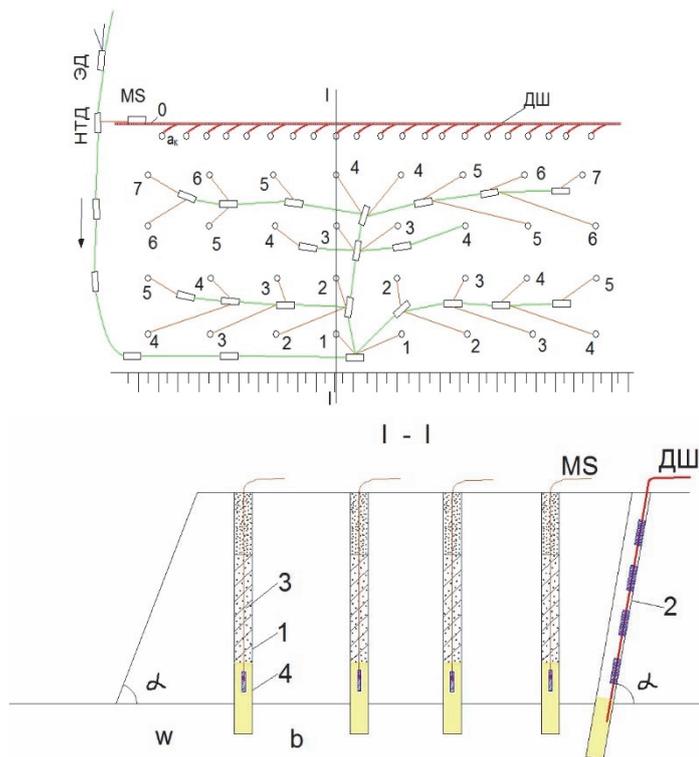


Рис.2. Схема расположения скважин и монтажа взрывной сети при взрывании контурных зарядов и скважинных зарядов, состоящих из смеси промышленного ВВ и гранулированного пенополистирола (3):

1 - скважинный заряд рыхления; 2 - контурная скважина НТД- поверхностные детонаторы; MS- скважинные детонаторы; ДШ- детонирующий шнур; ЭД- электродетонатор; 4-ANFO; 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7- последовательность взрывания

Параметры контурного взрывания приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры контурного взрывания

Параметры	Расчетные формулы
<p><b>Линейная масса заряда</b>  <math>\sigma_{сж}</math> - прочность породы на сжатие, МПа;  <math>K_{л\delta}</math> - коэффициент преломления продуктов детонации:  <math>K_{л\delta} = 1,0 \dots 2,0</math>;  <math>K_m</math> - коэффициент трещиноватости пород:  <math>K_m = 1,0 \dots 3,0</math></p>	$P_K = 4 \rho_{ВВ} d_{ск}^2 (\sigma_{сж}/K_{л\delta} K_m)^{2/3}, \text{ кг/м}$
<p><b>Расстояние между скважинами</b>  <math>d_{зар}</math> - диаметр контурного заряда, м</p>	$a_K = (20-25) d_{зар}, \text{ м}$
<p><b>Длина скважины</b>  <math>a_{ск}</math> - угол наклона скважины к горизонтальной плоскости; <math>a_{ск} = a_{уст.}</math>, град; <math>a_{уст.}</math> - угол откоса уступа, град</p>	$l_{ск} = H/\sin a_{ск} + l_{пер.к}, \text{ м}$
<p><b>Длина перебура</b>  <math>l_{пер.д}</math> - длина перебура при взрыве скважинных зарядов ВВ для рыхления;  <math>K_{ВВ}</math> - расчетный удельный расход ВВ; <math>W</math> - линии сопротивления по подошве уступа, м</p>	$l_{пер.к} = l_{пер.д} = 0.5 K_{ВВ} W, \text{ м}$
<p><b>Длина сплошного заряда (донный заряд)</b></p>	$l_{зар} = l_{пер.к} + 0.2, \text{ м}$
<p><b>Длина забойки</b></p>	$l_{заб} = (10 - 20) d_{зар}, \text{ м}$

Заряд ВВ при контурном взрывании представляет собой гирлянду патронов на ДШ, причем линейная масса заряда регулируется расстоянием между патронами (рис. 3,4). В нижней части контурной скважины помещают сплошной заряд (донный заряд).

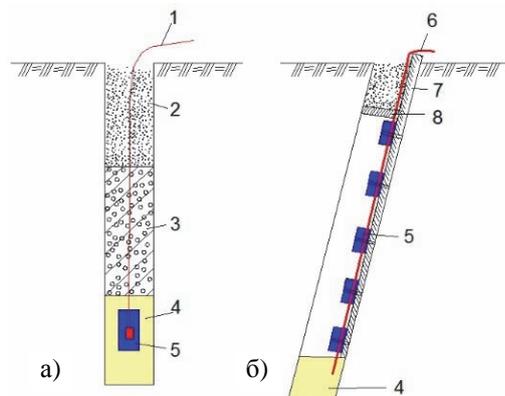


Рис.3. Конструкция сплошного (а) и контурного (б) зарядов:

1 - внутрискважинные детонаторы (MS); 2 - забойка; 3 - ANFO + ПП; 4 - ANFO; 5 - патроны ВВ, 6 - ДШ; 7 - деревянная рейка; 8 - бумажный пыж

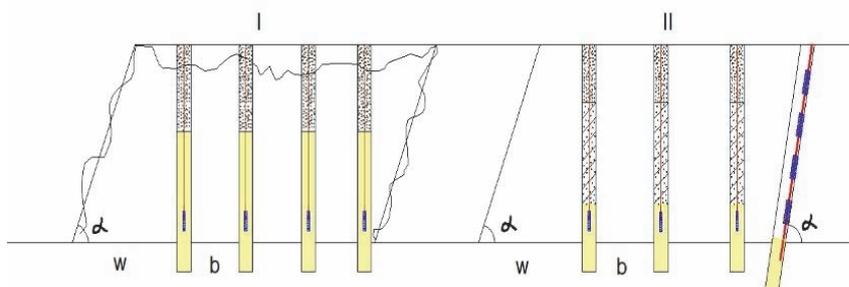


Рис.4. Технология взрывания: I - существующая; II - предлагаемая

**Результаты исследования.** Предложенная технология взрывных работ использована на Арамусском базальтовом карьере. Показатели взрыва по предлагаемой технологии определялись проведением серии опытно-промышленных взрывов с последующей обработкой и анализом их результатов в сопоставлении с показателями, достигнутыми при существующей технологии взрывных работ.

Арамусский карьер представлен крупноблочными базальтами крепостью 10...12 по шкале М.М. Протодяконова с объемным весом от  $2,8 \text{ т/м}^3$ .

На опытных взрывах в нижнюю часть скважин размещали ANFO ( $D = 4000 \text{ м/с}$ ,  $\rho_{\text{ВВ}} = 0,8 \text{ г/см}^3$ ), а верхнюю часть скважин заряжали взрывчатой смесью ANFO + ПП ( $D = 3400 \text{ м/с}$ ,  $\rho_{\text{ВВ}} = 0,58 \text{ г/см}^3$ ).

Для взрывания в контурных скважинах принимается патронированный аммонит БЖВ. Параметры контурного взрывания определены согласно табл. 2.

Критериями для сравнительной оценки опытно-промышленных взрывов приняты следующие показатели: гранулометрический состав горной массы, удельный расход ВВ, выход негабарита, ширина развала взорванной массы.

Таблица 3

*Параметры и результаты опытно-промышленных взрывов*

<i>Наименование показателей</i>	<i>Ед.изм.</i>	<i>Технология взрывания</i>	
		<i>традиционная</i>	<i>предлагаемая</i>
Коэффициент крепости взрывае­мых пород по М.М. Прото­дьяконову	-	10...12	10...12
<i>Блочность взрывае­мого массива</i>		<i>крупноблочная</i>	
Предел прочности пород на сжатие	<i>МПа</i>	120	120
Объемный вес породы	<i>т/м<sup>3</sup></i>	2.8	2.8
Высота уступа	<i>м</i>	6.0	6.0
Диаметр скважин	<i>м</i>	0.115	0.115
Конструкция заряда	ANFO	ANFO/ANFO + ПП ANFO	
Сопротивление по подошве уступа	<i>м</i>	3.6	3.6
Расстояние между скважинами в ряду	<i>м</i>	2.8	2.8
Расстояние между рядами скважин	<i>м</i>	2.8	2.8
Число рядов скважин	<i>м</i>	4	4
Глубина скважин	<i>м</i>	7.2	7.2
Длина заряда, нижний/ верхний	<i>м</i>	4.3	1.8 /3.5
Вес заряда в скважине нижний/ верхний	<i>кг</i>	40.5	16.9/20.5
Длина забойки	<i>м</i>	2.9	1.9
Средняя плотность заряда	<i>г/см<sup>3</sup></i>	0.8	0.58
Скорость детонации ВВ	<i>м/сек</i>	4000	3400
<i>Схема взрывания КЗВ с трапециевидным врубом</i>		<i>Контурное взрывание</i>	
Линейная масса заряда	<i>кг/м</i>		1.3
Расстояние между скважинами	<i>м</i>		1.4
Длина скважины	<i>м</i>		7.4
Длина сплошного заряда	<i>м</i>		1.4
Удельный расход ВВ	<i>кг/м<sup>3</sup></i>	0.76	0.85
Выход мелкой фракции 0...100 мм	<i>%</i>	26.3	16.8
Выход крупной фракции >800 мм	<i>%</i>	19.8	3.4
Ширина развала	<i>м</i>	38.6	30.8

Гранулометрический состав взорванной горной массы определяли фотопланметрическим методом, а выход негабарита - поштучным обмером кусков после экскавации. Ширину развала определяли маркшейдерской съемкой. Параметры и результаты опытно-промышленных взрывов приведены в табл. 3.

Анализ результатов взрывов по предложенной технологии позволяет:

- регулировать параметры развала взорванной массы;
- получить более равномерное дробление, при этом выход крупной фракции более 800 мм уменьшается в 5,8 раза, а выход мелкой фракции менее 100 мм уменьшается на 36%;
- поднять колонку заряда в скважине, оставляя минимальную длину забойки для улучшения качества дробления верхней части уступа;
- создать гладкую поверхность зоны откоса уступа для улучшения качества дробления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Пастухов А.И.** Прогнозирование дробления горных массивов взрывом. - Киев: Наук. думка, 1990.-120 с.
2. **Воробьев В.Д., Перегудов В.В.** Взрывные работы в скальных породах.- Киев: Наук. думка, 1984.-240 с.
3. **Ефремов Э.И.** Управление размерами зон переизмельчения горных пород при их взрывном разрушении // Вісник КТУ: 36. наук. праць. – Вип. 18. – Кривий Ріг, 2007. – С. 36–39.
4. **Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И.** Промышленные взрывчатые вещества. - М.: Недра, 1982.- 327с.
5. **Жаркенов М.И., Бекетаев Е.Б., Кинеев Т.А., Жунусов К.Н.** Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного полистирола // Сб.: Взрывное дело № 78/35. – М.: Недра, 1978. – С. 102-106.
6. **Азаркович А.Е., Шуйфер М.И., Тихомиров А.П.** Взрывные работы вблизи охраняемых объектов. - М.: Недра, 1984.-213с.
7. **Афонин В.Г., Гейман Л.М., Комир В.М.** Справочное руководство по взрывным работам в строительстве. - Киев: Будівельник, 1974. -382с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 16.12.2018.

## Գ.Ա. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Լ.Ս. ՀԱՎՈՐՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ

### ՊԱՅԹԵՑՎԱԾ ԼԵՈՒՍՅԻՆ ՋԱՆԳՎԱԾԻ ՄԱՆՐԱՑՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՒՄԸ ԾԻՆԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ՈՉ ՀԱՆՔԱՔԱՐԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Խճաքարի արտադրության համար ոչ հանքաքարային շինանյութերի հանքավայրերի պայթեցմամբ մշակումը պահանջում է պահպանել ապարի բնական ամրությունը, ինչպես նաև փոքրացնել պայթեցված զանգվածի գերմանրացման և արտաչափս ֆրակցիաների ելքը: Սահմանվել է, որ պայթեցված ապարների ոչ կոնդիցիոն ֆրակցիաները կախված են պայթեցվող զանգվածի բլոկավորվածությունից (ճեղքավորվածությունից) և պայթուցիկ նյութի լիցքի էներգիայի մեծությունից, ինչպես նաև միջավայրում պայթեցման էներգիայի բաշխման բնութագրից:

Առաջարկվել է պայթեցման նոր տեխնոլոգիա, որը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել լիցքի երկարությունը, ստանալ հարթ մակերեսով հանքաստիճանի շեպ՝ մանրացման որակը խցանյութի գոտում և հանքաստիճանի թեք մակերևույթում լավացնելու նպատակով:

**Առանցքային բառեր.** գերմանրացված և արտաչափս ֆրակցիաների ելք, զանգվածի բլոկավորվածություն, պայթուցիկ խառնուրդի խտություն, եզրագծային պայթեցում, պայթուցիկ նյութի լիցքի գոտի, խցանյութի գոտի:

G.A. AHARONYAN, L.S. HAKOBYAN, A.G. AHARONYAN

**REGULATING THE DEGREE OF CRUSHING THE EXPLODED ROCK MASS  
WHEN DEVELOPING THE DEPOSITS OF NON-METAL CONSTRUCTION  
MATERIALS**

The development of deposits of non-metallic building materials used for the production of rubble by explosion requires to maintain the natural strength of the rock, as well as reduce the yield of oversized and overcrushed fractions of the exploded mass.

It is established that the yield of substandard (over crushed and oversized) fractions of a blasted rock depends on the blockiness (fracture) of the destroyed massif and the magnitude of the explosive charge energy (EX), as well as the nature of the explosion energy distribution in the medium.

A new blasting technology has been proposed by applying borehole charges consisting of a mixture of industrial explosives and expanded polystyrene granules, as well as creating a contour crack behind the last row of wells which makes it possible to raise the charge column, to obtain a smooth surface of the escarpment of the ledge to improve the quality of crushing in the damming zone, and in the zone slope of the ledge.

**Keywords:** yield of oversized and overcrushed fractions, block blockiness of the massif, density of the explosive mixture, contour blasting, explosive charge zone, damming zone.