

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРАХ

Г.А. Агаронян, И.С. Аванесова, В.Г. Овсепян

Национальный Политехнический Университет Армении

Перед горнодобывающей промышленностью стоит задача повышения объемов добычи полезных ископаемых. При этом необходимо увеличить площадь добычных блоков или вскрытых горизонтов карьера, что приведет к росту объемов вскрышных работ. Увеличение объемов вскрышных работ, в свою очередь, расширяет площадь поврежденных земель, требует дополнительных затрат на перевозку пустых пород в отвал, что усложняет организацию горных работ.

Крупномасштабный взрыв является важным технологическим звеном при добыче твердых полезных ископаемых больших объемов. Попытка увеличения объемов добычи твердых полезных ископаемых путем повышения объемов крупномасштабных взрывов нарушает экологическое равновесие в зоне взрыва (увеличение вредных пылегазовых выбросов в атмосферу). Очевидно, что обеспечение объема добычи необходимой величины, с экологической точки зрения, является довольно сложным процессом и требует применения ресурсосберегающих технологий разработки горных пород при крупномасштабном взрыве.

Установлено, что длина забоя как геометрический параметр предопределяет качество дробления и обеспечивает большой объем добычи при разработке однородных уступов. При взрывании большого числа рядов скважин в тылу разрабатываемого блока всегда наблюдается неравномерное дробление. Число рядов скважин можно увеличить только при применении мощных зарядов взрывчатого вещества большого диаметра. Выявлено, что при разработке горных пород на большой протяженности забоя всегда наблюдаются изменения структурного строения массива, что требует изменения технологии взрывания.

Предложен новый способ ресурсосберегающей технологии ведения взрывных работ путем изменения параметров взрывания и направления развития горных работ с учетом блочности взрываемого уступа и прочностных характеристик горных пород.

Ключевые слова: вскрышные работы, крупномасштабный взрыв, объем добычи полезных ископаемых, длина забоя, экологическое равновесие, ресурсосберегающая технология.

Введение. Эффективность открытых горных работ неразрывно связана с ростом объема добычи полезных ископаемых. Увеличение объема добычи полезных ископаемых вызывает необходимость увеличения площади добываемых блоков - уступов. Это приводит к повышению объема вскрышных пород, что, в свою очередь, расширяет площадь поврежденных земель, нарушает

экологическое равновесие горно-промышленного комплекса. В этом случае требуется создание новых ресурсосберегающих, малоотходных технологий при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. С этой точки зрения, эффективность разработки рудных месторождений будет оцениваться при полном извлечении руды с минимальными потерями и разубоживанием. При взрывной разработке сложно-структурных месторождений проблема решения потерь и разубоживания руды будет решаться сохранением геологической структуры взрываемого массива. Ресурсосберегающая, малоотходная технология на карьерах нерудных строительных материалов характеризуется выбором оптимальных параметров буровзрывных работ (БВР), позволяющих снизить выход негабаритных и переизмельченных кусков при массовом взрыве.

Анализ ведения взрывных работ на карьерах нерудных строительных материалов показал, что оптимальные параметры БВР фактически рассчитываются с учетом только технологических параметров взрыва. Известно, что организация крупномасштабного взрыва путем увеличения удельного расхода взрывчатого вещества (ВВ) на добычных уступах разноблочного строения, без учета геометрических, энергетических и природных факторов, не обеспечивает достаточной кусковатости дробления, но приводит к ухудшению экологического равновесия зоны массовых взрывов. При увеличении объемов добычи полезных ископаемых необходимо:

- вскрыть новые добычные горизонты, что ведет к перевозке большого объема вскрышных пород на отвал;
- увеличить площадь добычных забоев (увеличение длины и ширины добычных блоков при постоянном высоте уступа).

При добыче скальных полезных ископаемых крупномасштабным взрывом площадь добычных блоков определяется числом рядов скважин (шириной блока) и расстоянием между рядами скважин (длиной блока).

Результаты опытно-промышленных взрывов, проведенных на Арамусском карьере, показали, что, при прочих равных условиях, с увеличением числа рядов скважин выход негабарита увеличивается существенно (табл. 1).

Очевидно, что обеспечение объемов добычи полезных ископаемых необходимой величины и кусковатости возможно при увеличении длины блока. Однако разработка горных пород на большой протяженности забоя всегда сопровождается изменением структурного строения массива, что требует изменения технологии взрывания. Поэтому вопрос определения оптимальной величины объемов разработки и создания на основе этой

величины новой технологии взрывной подготовки горных пород к выемке на карьере имеет важное значение.

Таблица 1
Зависимости выхода негабарита от числа рядов скважин

Показатели	Блочность массива												
	среднеблочная				крупноблочная				весьма крупноблочная				
Число рядов скважин, шт	8	18	25	35	6	12	20	26	28	4	8	14	22
Расстояние между рядами скважин, м	3,5				3,0				2,6				
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,58				0,70				0,82				
Выход габарита, %	5,9	6,2	6,4	6,6	8,2	8,9	9,3	10,8	11,6	10,2	11,0	12,9	14,8

В связи с этим создание новых ресурсосберегающих технологий ведения взрывных работ путем изменения параметров взрывания и направления развития горных работ в забое, позволяющих прогнозировать добычу полезных ископаемых требуемой кусковатости, является актуальной задачей.

Постановка задачи и методы исследования. Оптимальная величина объема добычи полезных ископаемых характеризуется шириной и длиной забоя (при постоянной высоте забоя.)

При взрывной разработке карьеров число рядов и расстояние между рядами скважин определяют ширину забоя (взрываемого блока - уступа) и считаются влияющими на технологию взрывания факторами.

Из табл. 1 видно, что, независимо от блочности массива, при взрывании большого числа рядов скважин в тылу массива всегда наблюдается неравномерное дробление. Это объясняется тем, что на большой поперечной протяженности (расстояние от последнего ряда скважин до свободной поверхности взрываемого блока) из-за наличия естественных трещин происходят диссипативные потери энергии взрыва, что является причиной плохого разрушения пород. Число рядов скважин зависит от мощности применяемых ВВ, что характеризуется давлением газообразных продуктов взрыва и определяется в виде

$$N \times b = 10d_{\text{ск}}k_a \sqrt{\frac{\rho_{\text{ВВ}}D_{\text{ВВ}}^2}{\sigma_{\text{рас}}}}, \text{ м}, \quad (1)$$

где $N \times b$ - ширина взрываемого блока, m (N - число рядов скважин, $шт$; b - расстояние между рядами скважин, m); $\rho_{ВВ}$ - плотность ВВ, $кг/м^3$; $D_{ВВ}$ - скорость ВВ, $м/с$; $\sigma_{рас}$ - предел прочности пород на растяжение, $МПа$; k_a - коэффициент падения волны напряжения на границе двух неоднородных пород [1].

Из выражения (1) видно, что ширину взрываемого блока можно увеличить только при применении мощных зарядов ВВ большого диаметра.

Известно, что длина забоя как геометрический параметр определяет качество дробления и обеспечивает большой объем добываемых однородных уступов. Однако при разработке неоднородных горных пород на большой протяженности забоя всегда изменяется однородность массива по мощности (по блочности) и взрываемости пород, что вызывает необходимость разработки новых методов взрывной подготовки горных пород, обеспечивающих объем взорванной массы требуемой величины и кусковатости.

Управление энергией взрыва при уступной отбойке блочного строения - довольно сложный процесс. Это обусловлено характером структуры горного массива. Горный массив разделен на отдельные трещинами, заполненными инертными материалами. Размер естественной отдельности (трещиноватости) массива оказывает сложное влияние на характер дробления породы. При мелкоблочных породах прочность массива существенно меньше, что приводит к улучшению дробления. В крупноблочных массивах мелкое и равномерное дробление породы достаточно затруднено, поскольку радиус зоны регулируемого дробления резко снижается за счет диссипативной потери энергии взрыва [2]. Очевидно, что блочность разрушаемой среды предопределяет выбор параметров расположения зарядов ВВ.

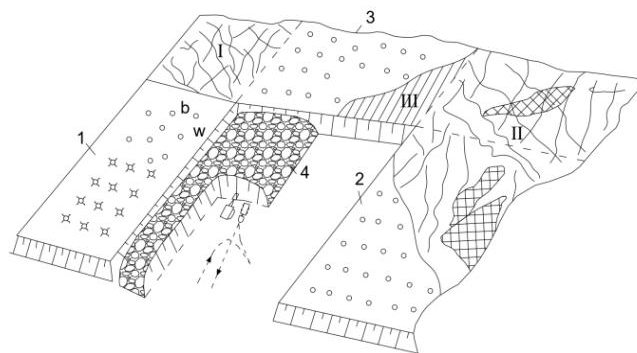
При этом требуется решить следующие задачи:

- разделение добываемых уступов по блочности массива на части (изменение направления фронта горных работ);
- определение диаметра скважины и сетки расположения скважин;
- выбор типа ВВ и конструкции зарядов ВВ в зависимости от блочности горных массивов;
- выбор схемы взрывания в зависимости от блочности взрываемого массива.

Разделение добываемых уступов на части выполнено путем проведения разрезной траншеи (рис.). При этом добычные забои разделяются на три разноблочных добычных уступа, представленные средне-, крупно- и весьма крупноблочными породами.

В зависимости от трещиноватости (блочности) массива и крепости пород, при различной высоте уступа определен оптимальный диаметр скважинных зарядов ВВ [3]. Параметры расположения зарядов ВВ в разрушаемом массиве зависят от диаметра скважинного заряда ВВ, бризантности применяемых ВВ (скорость детонации ВВ), структурной особенности (трещиноватость, слоистость, анизотропность, неоднородность), прочностных и геомеханических свойств взрывающего массива (предел прочности пород, скорости волн напряжения в массиве и т.д.).

На примере Арамусского базальтового карьера, в зависимости от блочности массива, для каждого блока уступа определены параметры расположения скважинных зарядов ВВ с учетом энергетических (параметры применяемых ВВ) и природных факторов взрывающего блока (физико-механические свойства массива).



*Рис. Разноблочные добычные уступы при проведении разрезной траншеи:
1, 2, 3 -добычные уступы; I - крупноблочного строения; II - весьма крупноблочного строения; III - среднеблочного строения; 4 - развал взорванной массы*

В табл. 2 приведены физико-механические свойства массива и технические параметры применяемых ВВ в условиях Арамусского карьера в зависимости от блочности массива.

При выборе типа ВВ и диаметра заряда ВВ необходимо учитывать скорость детонации ВВ (D) и акустическую жесткость взрывающего массива.

В зависимости от блочности массива, были использованы разномощные ВВ. Для среднеблочных пород были приняты среднебризантные ВВ Анфо, а для крупно- и весьма крупноблочных пород – крупнобризантные ВВ, соответственно Аммонит бЖВ и Армекс (табл. 2). Взрывы проведены удлиненными сплошными зарядами ВВ. Разделение добываемых уступов на части создает

дополнительные обнаженные поверхности, что позволяет применять различные схемы взрывания [4]. В этом случае выбор схем взрывания зависит от величины объема массового взрыва и ширины рабочей площадки карьера. Нами были приняты многорядная короткозамедленная схема взрывания с клиновидным врубом, а также диагональные и порядные схемы.

Таблица 2

Физико-механические свойства массива и технические параметры применяемых ВВ в условиях Арамусского карьера

Физико-механические свойства массива		Блочность пород		
		среднеблочная	крупноблочная	весьма крупноблочная
Высота уступа, м	H_y	10	10	10
Крепость породы	f	6...10	10...14	□14
Плотность породы, кг/м ³	γ_6 базальт	2550	2700	2850
	γ_c суглинок	1700	1700	1700
Скорость продольных волн в породе, м/с	v_6 базальт	3100	3450	3700
	v_c суглинок	1850	1850	1850
Предел прочности пород, МПа	$\sigma_{сж}$	60...100	100...120	120...150
	$\sigma_{рас}$	5,0...11,0	8,5...15,0	10...20,0
Акустическая жесткость неоднородных пород, 10 ⁶ кг/м ² с	$\sqrt{A} v_6 \gamma_6$	4,98	5,86	6,64
		3,11	3,11	3,11
Показатель акустической жесткости	\sqrt{A}	0,25...0,4		
Коэффициент падения волны напряжения в пространстве двух неоднородных пород	k_a	0,77	0,69	0,64
Тип ВВ	-	Анфо	Аммонит 6ЖВ	Армекс
Скорость детонации ВВ, м/с	$D_{ВВ}$	3200...3600	4000...4800	4800...5600
Плотность ВВ, кг/м ³	$\rho_{ВВ}$	820	900	1200
Давление газообразных продуктов взрыва, МПа	P_0	1328,4	2646,0	3456,0

Результаты исследования. По предложенной технологии проведены опытно-промышленные взрывы в забое Арамусского карьера, представленные средне-, крупно- и весьма крупноблочными породами. Длина забоя составила 125 м, высота забоя – 10 м. Параметры расположения зарядов ВВ при взрывании в средне-, крупно- и весьма крупноблочных породах приведены в табл. 3.

Критерием для оценки эффективности взрыва стал выход некондиционных фракций (выход негабарита ≥ 800 мм и выход отсева < 20 мм). Выход негабарита определен с помощью маркшейдерских замеров, а выход отсева – фотолинейным способом [5].

Таблица 3
Расчетные параметры буровзрывных работ в зависимости от блочности массива

Расчетные параметр взрывных работ		Показатели блочности пород		
		средне-блочная	крупно-блочная	весьма крупноблочная
Диаметр заряда, м	$d_{ск}$	180	160	120
Расстояние между скважинами, м	$a = b = 2k_a d_{ск} \sqrt{\frac{P_0}{k_m \sigma_{рас}}}$	3,8	3,5	2,6
Сопrotивление по подошве уступа, м	$w = 53k_T d_{ск} \sqrt{\frac{\rho_{ВВ}}{\gamma_6}}$	5,4	4,6	4,2
Длина забойки, м	$l_{заб} = \frac{d_{ск} H_y}{2a \sqrt[3]{f}} \sqrt{\frac{\rho_{ВВ} D_{ВВ}^2}{2\sigma_{рас}}}$	3,4	3,0	2,8
Длина перебура, м	$l_{пер.} = \sqrt{H_y^2 + W^2} - H_y$	0,8	0,6	0,4
Длина скважин, м	$l_{ск} = H_y + l_{пер.}$	10,8	10,6	10,4
Длина заряда, м	$l_{зар} = l_{ск} - l_{заб}$	7,4	7,6	7,6
Количество ВВ в скважине, кг	$Q = 0.785 l_{зар} d_{ск}^2 \rho_{ВВ}$	154,3	137,4	103,0
Удельный расход ВВ, кг/м ³	$q = \frac{Q}{awH_y}$	0,75	0,85	0,94
Интервал замедления, мс	$\tau_3 = \frac{a^2 \gamma_{II}}{d_{ск} \rho_{ВВ} D_{ВВ}}$	49,0	37,5	19,9
Число скважин, шт	$N = \frac{10d_{ск}}{b} k_a \sqrt{\frac{\rho_{ВВ} D_{ВВ}^2}{\sigma_{рас}}}$	13	12	15

Анализ данных, приведенных в табл. 4, показывает, что при взрывании по предложенной технологии выход негабарита уменьшается в 1,5...1,75 раза, а выход отсева - в 1,1...1,3 раза.

Таблица 4

Результаты опытно-промышленных взрывов на карьере

Результаты взрыва по предлагаемой технологии	Предложенная технология				Существующая технология	
	среднеблочная	крупноблочная	весьма крупноблочная	общая взорванная горная масса		
Объем взорванной массы, м ³	15900	12300	10250	38450	Объем взорванной массы, м ³	22800
Выход негабарита, %, ≥ 800 мм	4,8	6,4	8,8	6,4	Выход негабарита, %	11,2
Выход отсева < 20 мм, %	24,3	17,5	14,5	19,5	Выход отсева < 20 мм, %	25,8
Объем взорванной массы, м ³	17350	14210	9360	40920	Объем взорванной массы, м ³	34500
Выход негабарита, %, ≥ 800 мм	5,6	5,3	7,9	6,2	Выход негабарита, %, ≥ 800 мм	9,4
Выход отсева < 20 мм, %	22,5	19,8	18,8	20,7	Выход отсева < 20 мм, %	21,5
Объем взорванной массы, м ³	13600	14050	9120	36770	Объем взорванной массы, м ³	42300
Выход негабарита, %	7,2	6,0	7,3	6,7	Выход негабарита, %	12,8
Выход отсева < 20 мм, %	21,5	22,5	17,3	20,8	Выход отсева < 20 мм, %	23,3

Заключение. Анализ результатов опытно-промышленных взрывов на карьере позволил сделать следующие выводы:

1. Блочность массива оказывает влияние на неравномерное распределение энергии взрыва в массиве горных пород. Размер естественной отдельности (трещиноватости) массива и прочностных характеристик пород резко изменяет радиус зоны регулирования дробления. Блочность разрушаемой среды предопределяет выбор параметров расположения зарядов ВВ.

2. Разделение добываемых уступов на части создает дополнительные обнаженные поверхности, что позволяет увеличить объем массового взрыва до необходимой величины.

3. При разработке добычных блоков большой протяженности всегда наблюдаются изменения структурных строений массива, что требует изменения технологии взрывания.

4. При взрывании большого числа рядов скважин не обеспечивается равномерное дробление: число рядов скважин можно увеличить только при применении мощных зарядов ВВ большого диаметра.

Литература

1. **Агаронян Г.А.** Новая методика расчета параметров буровзрывных работ на карьерах // Известия НАН РА и НПУА. Сер. Техн. наук.- 2022. -Т.75, N1. - С.43-54.
2. **Крюков Г.М.** Главные критерии для оценки взрывного дробления горных пород на карьерах // Взрывное дело: Сб. научных трудов/ Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – NOB 7. - М.: Изд-во «Мир горной книги», 2007.- С. 180-195.
3. **Кутузов Б.Н., Валухин Ю.К., Давыдов С.А.** Проектирование взрывных работ.- М.: Недра, 1974.- 328 с.
4. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности.– М.: Недра, 1972.- 240 с.
5. **Тюпин В.Н.** Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах. – Белгород: ИД «Белгород», НИУ «БелГУ», 2017.- 192 с.

*Поступила в редакцию 09.06.2023.
Принята к опубликованию 20.06.2023.*

ԲԱՅԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ԽՈՇՈՐԱՄԱՍՇՏԱՐ ՊԱՅԹԵՑՄԱՆ ՆՈՐ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

Գ.Ա. Ահարոնյան, Ի.Ս. Ավանեսովա, Վ.Գ. Հովսեփյան

Հանքարդյունաբերության առջև դրված է խնդիր՝ մեծացնել օգտակար հանածոյի հանույթի ծավալները: Այս դեպքում անհրաժեշտ է մեծացնել հանույթային բլոկների մակերեսները կամ ավելացնել բացահանքի բացվող հորիզոնների թիվը, որը կհանգեցնի մակաբացման աշխատանքների ծավալների մեծացմանը: Մակաբացման ծավալների մեծացումը, իր հերթին, հանգեցնում է վնասվող հողերի մակերեսների ավելացմանը, պահանջում է դատարկ ապարները լցակույտ տեղափոխելու լրացուցիչ ծախսեր, ինչը դժվարացնում է լեռնային աշխատանքների կազմակերպումը:

Խոշոր մասշտաբային պայթեցումը հանդիսանում է կարևոր տեխնոլոգիական օղակ պինդ օգտակար հանածոյի մեծ ծավալների հանույթի դեպքում: Պինդ օգտակար հանածոյի ծավալների մեծացումը՝ խոշոր մասշտաբային պայթեցման ծավալների մեծացման ճանապարհով, խախտում է պայթեցումների գոտում էկոլոգիական հավասարակշռությունը (մեծացնում է վնասակար փոշեգազային արտանետումները դեպի մթնոլորտ): Ակնհայտ է, որ անհրաժեշտ ծավալի հանույթի ապահովումը էկոլոգիական

տեսանկյունից համարվում է բավականին բարդ գործընթաց և պահանջում է ստեղծել ռեսուրսների խնայողության տեխնոլոգիա՝ լեռնային ապարների մշակման դեպքում խոշոր մասշտաբային պայթեցմամբ:

Սահմանվել է, որ հանքախորշի երկարությունը՝ որպես երկրաչափական պարամետր, կանխորոշում է մանրացվածության որակը և ապահովում է համասեռ հանքաստիճանի մշակման դեպքում հանույթի մեծ ծավալներ: Մեծ թվով հորատանցքային շարքերի պայթեցման դեպքում մշակվող բլրկի թիկունքային մասում միշտ նկատվում է անհավասարաչափ մանրացում: Հորատանցքային շարքերի թիվը կարելի է մեծացնել միայն մեծ տրամագծով հզոր պայթուցիկ նյութի լիցքի կիրառման դեպքում: Սահմանվել է, որ երկարաձգվող հանքախորշերում ապարների մշակման դեպքում միշտ նկատվում է զանգվածի կառուցվածքային փոփոխություն, որը պահանջում է փոփոխել պայթեցման տեխնոլոգիան:

Առաջարկվել է ռեսուրսի խնայողության պայթեցման նոր տեխնոլոգիա՝ պայթեցման պարամետրերի և լեռնային աշխատանքների զարգացման ուղղության փոփոխման ճանապարհով, հաշվի առնելով հանքաստիճանային բլրկի բլրկավորվածությունը և լեռնային ապարի ամրության բնութագիրը:

Առանցքային բառեր. մակաբացման աշխատանքներ, լայնածավալ պայթեցում, օգտակար հանածոների արդյունահանման ծավալ, հանքախորշի երկարություն, բնապահպանական հավասարակշռություն, ռեսուրսախնայող տեխնոլոգիա:

A NEW TECHNOLOGY FOR CONDUCTING LARGE-SCALE EXPLOSIONS AT QUARRIES

G.A. Aharonyan, I.S. Avanesova, V.G. Hovsepyan

The mining industry faces the task of increasing the volume of mining. At the same time, it is necessary to increase the area of mining blocks or open pit horizons, which will lead to an increase in the volume of stripping operations. An increase in the volume of stripping works, in turn, increases the area of the damaged land, requires additional costs for transporting waste rocks to the dump, which complicates the organization of mining operations.

A large-scale explosion is an important technological link in the extraction of large volumes of solid minerals. An attempt to increase the volume of extraction of solid minerals by increasing the volume of large-scale explosions violates the ecological balance in the explosion zone (an increase in harmful dust and gas emissions into the atmosphere). It is obvious that ensuring the volume of production of the required value, from an environmental point of view, is a rather complex process and requires the use of resource-saving technologies for the development of rocks during a large-scale explosion.

It is established that the length of the face as a geometric parameter determines the quality of crushing and provides a large volume of production during the development of homogeneous ledges. When blasting a large number of rows of wells in the rear of the

developed block, uneven crushing is always observed. The number of rows of wells can be increased only with the use of powerful explosive charges of large diameter. It is established that during the development of rocks over a long length of the face, there is always a change in the structural composition of the massif, which requires a change in the blasting technology.

A new method of a resource-saving technology of blasting operations is proposed by changing the parameters of blasting and the direction of development of mining operations, taking into account the blockiness of the exploding ledge and the strength characteristics of rocks.

Keywords: overburden, large-scale explosion, volume of mining, length of the bottom, ecological balance, resource-saving technology.