



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ
БЫСТРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

А. А. Еременко, В. Н. Филиппов

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, E-mail:eremenko@ngs.ru, filippov144@yandex.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Для предохранения горного массива на контуре погашения бортов карьеров от разрушения и снижения сейсмического воздействия на него буровзрывных работ предусматривается постановка борта карьеров в предельное положение методом контурного взрывания. Показано, что при совпадении направления и углов падения откосов уступов с направлением и углами падения зон ослабления горного массива (даек, трещин, напластования и т. д.) возникают обрушения пород на стадии проведения контурного взрывания с последующим осыпанием сильнотрещиноватых, раздробленных взрывом, пород. Установлены зоны устойчивости горных пород на разных горизонтах карьеров Быстринский 2 и Верхне-Ильдиканский. Предложены схемы расположения зарядов и их конструкции в различных горно-геологических и горно-технических условиях.

Горный массив, борт карьера, сейсмическое воздействие, контурное взрывание, угол падения откосов, дайки, устойчивость горных пород

**DETERMINATION OF RATIONAL DRILLING AND BLASTING PARAMETERS
TO ENSURE STABILITY OF EDGES OF OPEN-PIT MINES IN THE BYSTRINSKY DEPOSIT**

A. A. Eremenko and V. N. Filippov

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: eremenko@ngs.ru, filippov144@yandex.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

To protect the rock mass on the boundary of open-pit edges from failure and reduce the seismic impact of drilling and blasting operations on it, it is planned to set the edges of the open-pit mines to the limit position by the method of controlled blasting. It is shown that, when the direction and angles of bench slope coincide with the direction and angles of slope of the rock mass weakening (dikes, cracks, bedding, etc.), rock caving occurs at the stage of controlled blasting, followed by sloughing of highly fractured rocks fragmented by blasting. Rock stability zones were determined at different horizons of the Bystrinsky 2 and Verkhne-Ildikansky open-pit mines. The schemes for the location of charges and their design under various mining-geological and geotechnical conditions are proposed.

Rock mass, open pit edge, seismic impact, controlled blasting, slope angle, dikes, rock stability

Полиметаллическое Быстринское месторождение расположено в Забайкальском крае в 650 км восточнее Читы, в 15 км от пос. Газимурский завод. Месторождение разрабатывается двумя карьерами — Быстринский-2 и Верхне-Ильдиканский. Для предохранения горного массива на контуре погашения бортов карьеров от разрушения и снижения сейсмического воздействия на него буровзрывных работ предусматривается постановка борта карьеров в предельное положение методом контурного взрывания. Данный способ предполагает, образование отрезной щели по предельному контуру уступов посредством взрывания ряда скважин. Эта щель локализует воздействие массового взрыва, задерживает часть его энергии, поглощая и отражая взрывную волну, препятствует образованию заколов и трещин. Бурение контурных скважин осуществляется буровым станком типа ROC-L8 (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Основные физико-механические свойства пород

Наименование пород	Объемный вес, г/см ³	Сцепление пород, МПа	Угол внутреннего трения, град.
Участок Быстринский-2			
Андезиты	2.58	41.2	39.4
Гранитоиды	2.61	47.8	31.1
Диориты	2.68	38.2	30.4
Песчаники, алевролиты, государственной свиты	2.61	25.6	34.6
Скарны	2.83	33.8	34.9
Скарны	2.66	34.7	38.0
Участок Верхне-Ильдиканский			
Диориты окварцованные, карбонатизированные, калишпатизированные	2.68	42.4	30.0
Песчаники, алевролиты, государственной свиты	2.61	25.6	29.2
Песчаники, алевролиты, ильдиканской свиты	2.62	31.9	29.2
Скарны силикатные, магнетитовые	2.60	37.7	38.0

Схемы, применяемые при взрывании предконтурного блока и отрезной щели, имели технологические параметры: контурный ряд скважин сплошной, обуренный по плоскости откоса уступа (основная технология, применяемая на данный момент); высота уступа 8 м, угол наклона скважин 70–80°, длина перебура 0.5 п. м. Расстояние между скважинами в контурном ряду 2 п. м, между скважинами контурного и предконтурного ряда по кровле уступа 3–6 п. м, по подошве 0.2–3.0 п. м. Взрывчатое вещество (ВВ) — патронированный Нитронит-П, масса патрона 1 кг, диаметр 60 мм; тип заряда “гирлянда”. Монтаж боевика проводится на ДШЭ-12 методом крепления патрона самоклеящейся лентой; удельный расход ВВ 1 кг/п. м, по подошве уступа заряд, увеличенный до 2 кг/п. м; инициирование контурного ряда осуществляется с опережением инициирования предконтурного ряда на 50–100 мс.

Недостатки применяемой технологии: плоскость откоса уступа не выдержанная, в зависимости от физико-механических свойств горных пород по борту имеются недобор и перебор по проектному контуру, формирование крупноблочных фрагментов и вывалы. Нарушения массива по плоскости отрыва (образование трещин), вызванные энергией взрыва: подбой массива по верхней бровке уступа составляет от 2–3 до 8–10 м (в зависимости от горно-геологических характеристик горных пород). Основными причинами подбоя верхней бровки уступа являются горно-геологические нарушения (зоны естественного нарушения, геологические разломы, перебура массива скважинами вышележащих горизонтов, воздействие на массив энергией взрыва зарядом контурного и предконтурного ряда); нижняя бровка, как правило, не поставлена в проектный контур, имеет затяжки в сторону выработанного пространства; низкое качество дробления по подошве уступа.

Контурный ряд скважин сплошной, обуренный по плоскости откоса уступа сближенными скважинами: высота уступа 8 м, угол наклона скважин 70°, длина перебура 0.5 п. м. Расстояние между скважинами в контурном ряду 1.0 п. м, расстояние между скважинами контурного и предконтурного ряда по кровле уступа 3–4 п. м; по подошве уступа 0.2–2.0 п. м. Применяемое ВВ — патронированный Аммонит-6ЖВ, масса патрона 1.3 кг, диаметр 60 мм; тип заряда “гирлянда”. Монтаж боевика проводится на ДШЭ-12 методом крепления патрона самоклеящейся лентой, удельный расход ВВ 0.9–1.3 кг/ п. м, по подошве уступа заряд увеличенный до 2.6 кг/п. м; инициирование контурного ряда проводится с опережением инициирования предконтурного ряда на 50–100 мс.

Недостатки применяемой технологии: северо-западный, западный борт карьера Быстринский 2 представлен выветренными породами, плоскость откоса уступа не выдержанная, “стаканы” контурных скважин просматриваются в верхней части уступа на локальных участках, в нижней части контура прослеживаются вывалы горных пород по естественным плоскостям залегания, имеются нарушения массива по плоскости отрыва (образование трещин) вызванные энергией взрыва; подбой массива по верхней бровке уступа составляет от 2–3 до 8–10 м (в зависимости от горно-геологических характеристик горных пород). Основными причинами подбоя верхней бровки уступа являются горно-геологические нарушения (зоны естественного нарушения, геологические разломы, перебур массива скважинами вышележащих горизонтов, воздействие на массив энергией взрыва зарядом контурного и предконтурного ряда); нижняя бровка, как правило, не поставлена в проектный контур, имеет затяжки в сторону выработанного пространства, низкое качество дробления по подошве уступа; большой объем бурения скважин контурного ряда; трудоемкий процесс заряжения.



Рис. 1. Схема постановки (разрез) борта карьера (откоса уступа) скважинами переменной глубины, применяемая на карьерах ГРК “Быстринское”

Технологии постановки борта карьера, применяемые на карьерах ГРК “Быстринское”, не удовлетворяют требованиям безопасной эксплуатации. Среднесрочный граничный контур карьеров, выставляемый в предельное положение, имеет повсеместное нарушение по плоскости откоса уступа, подбой верхней бровки, затяжки нижней бровки уступа в проектных контурах, нависи крупноблочных фрагментов горных пород. Данные несоответствия оказывают влияние на вышележащие горизонты карьеров Верхне-Ильди́канский (гор. +1120 ÷ +1080 м) и Быстринский 2 (гор. +880 ÷ +872 м). Опыт проведения взрывов с различными параметрами буровзрывных работ (БВР) показал, что на качество постановки борта на предельном контуре оказывают влияние зоны естественного нарушения горных пород и воздействие на массив энергии взрыва.

При вскрытии открытым способом участков Быстринский-2 и Верхне-Ильди́канский Быстринского месторождения к настоящему времени визуально установлены деформационные процессы в виде осыпания рабочих бортов 8-метровых уступов. При совпадении направления и углов падения откосов уступов с направлением и углами падения зон ослабления горного массива (даек, трещин, напластования и т. д.) возникают обрушения пород на стадии проведения контурного взрывания с последующим осыпанием сильнотрещиноватых, раздробленных взрывом, пород. Можно предположить, что при длительном стоянии и увеличении высоты уступов до 16 м и более, объемы осыпи увеличатся, также возможно проявление обрушений локальных участков.

Причинами развития деформаций в процессе ведения открытых горных работ являются несоответствующая местным условиям методика предварительного расчета углов наклона откосов, несоответствие углов наклона откосов уступов геологическим условиям, некачественное ведение буровзрывных работ.

Начиная со стадии проектирования карьеров прогнозируются возможные деформации откосов уступов и предусматриваются меры по их предупреждению [1–4]. Прогнозирование деформаций основывается на геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической информации. Безопасные условия отработки уступов, постановка откосов уступов на длительное

стояние обеспечиваются выполнением расчетов безопасных углов наклона бортов карьера и их применением на стадии проектирования и эксплуатации карьеров. Важно в прогнозировании деформаций при отработке месторождений выполнить необходимую геометризацию структурных элементов месторождения [5–7].

Рекомендуемые технологические схемы постановки откосов 16-метровых уступов на длительное стояние основаны на результатах изучения нарушенности горных пород и анализа проведенных опытных взрывов. Изучена системная трещиноватость, проявления дайкового магматизма и разрывных нарушений в обнажениях откосов уступов, проведено картирование уступов отработки [8]. Выявлены и геометризованы горные породы различной устойчивости: устойчивые, средней устойчивости, склонные к осыпанию и обрушению на локальных участках карьеров Верхне-Ильдиканский и Быстринский-2.

Анализ буровзрывных работ на карьерах Верхне-Ильдиканский и Быстринский-2, в том числе экспериментальные взрывы по постановке откосов уступов на длительное стояние, показывают необходимость применения рекомендуемых параметров БВР при отработке блоков в приконтурной зоне. Существует три вида взрывных скважин в технологических блоках: скважины контурного, предконтурного и остальных рядов, которые различаются по конструкции зарядов, по расположению скважин во взрываемом массиве. Схематичное расположение скважин в приконтурной зоне и распределение зарядов ВВ по скважинам показаны на рис. 2.

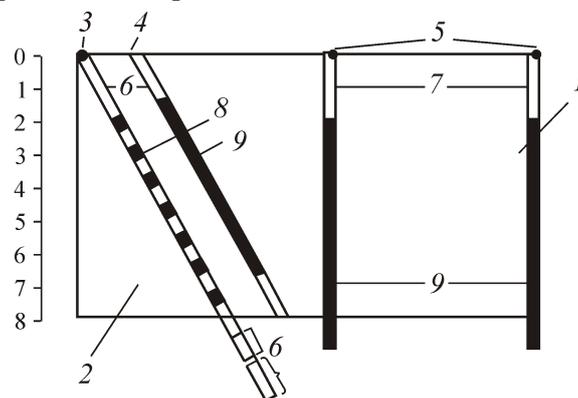


Рис. 2. Расположение скважин в приконтурной зоне и распределение зарядов ВВ по скважинам: 1 — горный массив опытно-промышленного блока; 2 — законтурный массив; 3 — скважины контурного ряда; 4 — скважины предконтурного ряда; 5 — основные скважины опытно-промышленного блока; 6 — воздушный промежуток; 7 — забойка; 8 — гирлянда зарядов ВВ; 9 — сплошной заряд ВВ

Параметры взрывных скважин контурного ряда при формировании предварительной щели выбираются с учетом степени трещиноватости (крепости пород) горного массива [9, 10]. Рекомендуемые параметры взрывных скважин контурного ряда приведены в табл. 2.

Предконтурный ряд взрывных скважин бурится без перебура, предусматриваются воздушные промежутки длиной 1.5 м от устья и забоя скважины. Остальная часть заряжается с рассредоточением зарядов ВВ. Расстояние между скважинами 5–6 м в зависимости от применяемой сети скважин в основной части блока.

Скважины контурного и предконтурного рядов бурятся диаметром 165 мм под углом 65, 75°, остальные скважины — вертикальные. Скважины предконтурного ряда бурятся на расстоянии 1.55–72 м от контурного ряда, расстояние между скважинами в предконтурном ряду 55–76 м и более в зависимости от принятой сетки по блоку. Сетка остальных скважин в опытно-промышленном блоке, как правило, 5×5 и 6×6 м (принимается в зависимости от взрываемости горных пород). Заряжание скважин в контурном ряду выполняется через одну скважину при сильнотрещиноватом горном массиве ($d_0 < 0.2$ м), при ($d_0 > 0.2$ м) заряжается каждая скважина.

Рекомендуемая схема коммутации скважин — диагональная. В выбранной схеме необходимо обеспечить вектор отбойки, направленный в сторону выемки с углом 45° и более между линией контурного ряда и вектором отбойки.

ТАБЛИЦА 2. Рекомендуемые параметры взрывных скважин контурного ряда в зависимости от среднего диаметра естественных отдельностей

Параметр	Средний диаметр естественной отдельности, м									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Масса заряда, кг/м	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5
Расстояние между скважинами, м	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0
Длина забойки (воздушного промежутка), м	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
Глубина дополнительного. перебура, м	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Длина недозаряда, м	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Установлено, что карьеры Быстринский-2 и Верхне-Ильди́канский отрабатываются в сложных горно-геологических условиях на различных глубинах от 1136 до 792 м (до 2022 г.) в зонах различной устойчивости горных пород. Это предполагает возможное изменение угла наклона контурных и предконтурных скважин в зависимости от трещиноватости, физико-механических свойств пород и др. в интервале 65° – 775° . В связи с этим рассмотрены схемы расположения контурных и предконтурных скважинных зарядов диаметром 165 мм при угле наклона 65° (рис. 3).

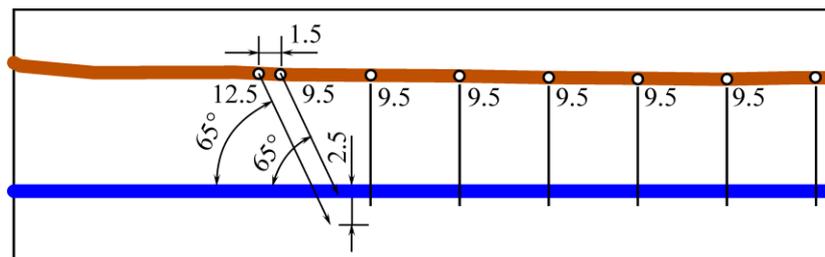


Рис. 3. Схемы расположения контурных и предконтурных скважин

Расстояние между рядами равно 1.5 м. Перебур скважин в контурном ряду 2.5 м. Для угла наклона скважин предконтурного ряда 65° масса заряда ВВ в скважине составляет 127.3 кг при диаметре 165 мм. Конструкция зарядов включает использование воздушных промежутков 0.55–72 м; при угле 75° — 114.8 кг.

Предложены схемы расположения зарядов при наличии в блоке богатой руды (рис. 4, 5). Отработка блока осуществляется с образования в первую очередь врубовой компенсационной полости на незаряженные (компенсационные) скважины, а затем на разрезную щель. Отбитая богатая руда (штриховая линия на рис. 4) посредством взрыва кучно расположится в границах штрихованного контура, затем взрываются остальные ряды скважинных зарядов (сетка 5×4.5 м).

При постановке бортов карьеров в проектное положение при взрывании также оказывает влияние нарушенность горных пород и прочностные показатели. Наруженность горных пород на месторождении проявляется в виде разрывных нарушений, даек, системных трещин, тектонических нарушений и т. п. Изучение трещиноватости горных пород показало, что на верхних горизонтах породы сильно нарушены системами трещин. Опасная по обрушению зона системных трещин ограничивается азимутами падения трещин, направленными в сторону выемки и отличающимися от этого направления на $\pm 30^\circ$. По углу падения трещин основная по обрушению зона ограничивается принятым углом падения заоткоски борта на предельном контуре 65° и пологим залеганием трещин (20° и более). С учетом изложенного установлены зоны (I–IV) устойчивости горных пород на разных горизонтах карьеров Быстринский 2 (896–792 м) и Верхне-Ильди́канский (1056–904 м).

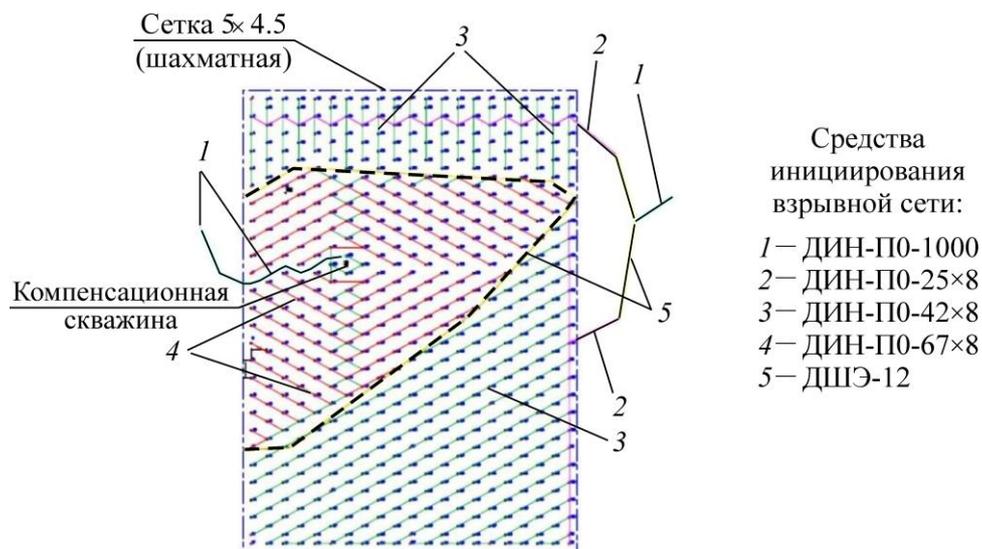


Рис. 4. Схема расположения и взрывания зарядов ВВ

При наличии в блоках крупных даек и тектонических нарушений разработаны схемы расположения и взрывания контурных, предконтурных и основных зарядов ВВ диаметром 110 мм (165 мм) и 200 мм с образованием разрезных щелей (рис. 5). Особенностью данных схем является порядок отработки блоков, включающий в первую очередь взрывание контурного ряда, образование разрезной щели и основных зарядов ВВ, а затем с отставанием зарядов, находящихся в дайке и рядом с тектоническим нарушением. При проведении взрывов устанавливается приконтурная зона не менее 30 м [11, 12].

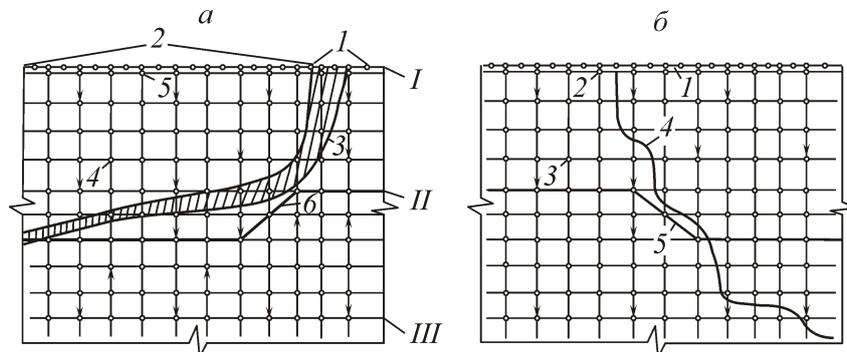


Рис. 5. Схема отбойки блока с наличием: *а* — дайки (1 — контурный ряд скважин диаметром 165 мм в районе дайки; 2 — контурный ряд; 3 — дайка; 4 — скважины диаметром 200 мм; 5 — предконтурный ряд скважин; 6 — разрезная щель; I-III — очередность взрывания); *б* — тектонического нарушения (1 — контурный ряд скважин диаметром 110 мм; 2 — предконтурный ряд скважин диаметром 110 и 165 мм; 3 — взрывные скважинные заряды; 4 — тектоническое нарушение; 5 — разрезная щель)

В процессе проведения технологических массовых взрывов с целью постановки откосов уступов на длительное стояние был рекомендован метод постановки откосов уступов высотой 8 м в конечное положение, включающий формирование откосов под углом 75° с оставлением приконтурной зоны не менее 30 м; создание по почве верхнего подступа бермы шириной 1.6 м (рис. 6). Порядок ведения буровых работ предусматривает бурение скважин диаметром 165 мм и менее, контурного и предконтурного рядов под углом 75° (рис. 7) (проектный угол откоса составляет 65° при высоте уступа 8 м), а остальные скважины диаметром 200 мм и более бурятся вертикальные с перебором 1.5 м. Для снижения воздействия энергии взрыва на приконтурный массив горных пород в верхней и нижней частях контурных скважинах предусматривается уст-

ройство воздушных промежутков протяженностью по 0.5–2.0 м и использование гирлянд патронов Нитронит ЗКВЭГ (рис. 8а). Скважинные заряды взрывают одновременно через один. Предконтурный ряд скважинных зарядов диаметром 165 мм располагают под углом 75° на расстоянии 1.5–2.0 м от контурного ряда. В верхней, средней и нижней частях скважин формируют воздушные промежутки протяженностью по 0.5–2.0 м (рис. 8б, в). В качестве ВВ, в зависимости от обводненности скважин, используется Гранулит РП, ЭВВ Нитрониты (Нитронит П, марки “С” и “СА”) при взрывании по диагональной схеме без перебура скважин.

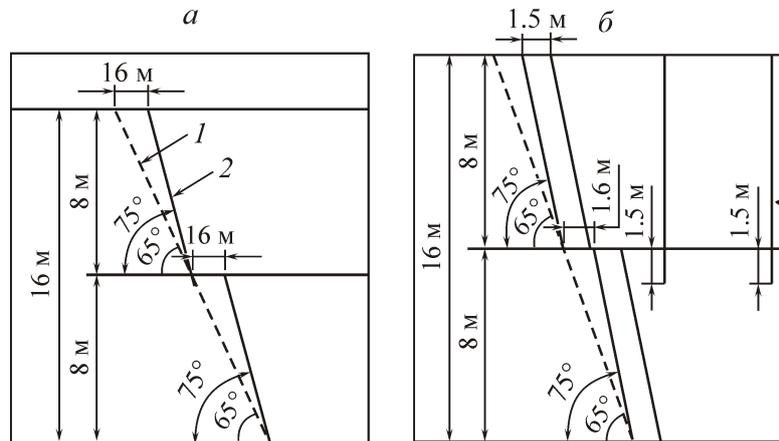


Рис. 6. Схема постановки откоса уступа в устойчивое состояние. а — расположение уступа под углом 75° (1 — проектный угол откоса; 2 — предлагаемый метод постановки откоса в конечное положение); б — расположение скважин в блоке

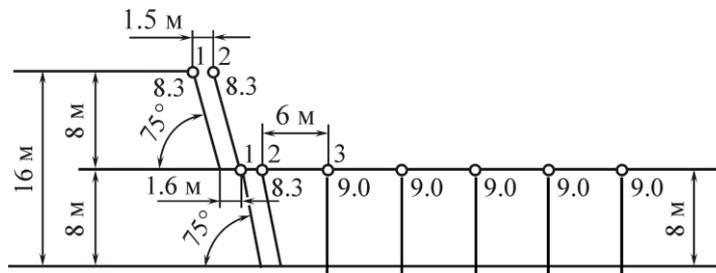


Рис. 7. Схема расположения контурных и предконтурных скважин

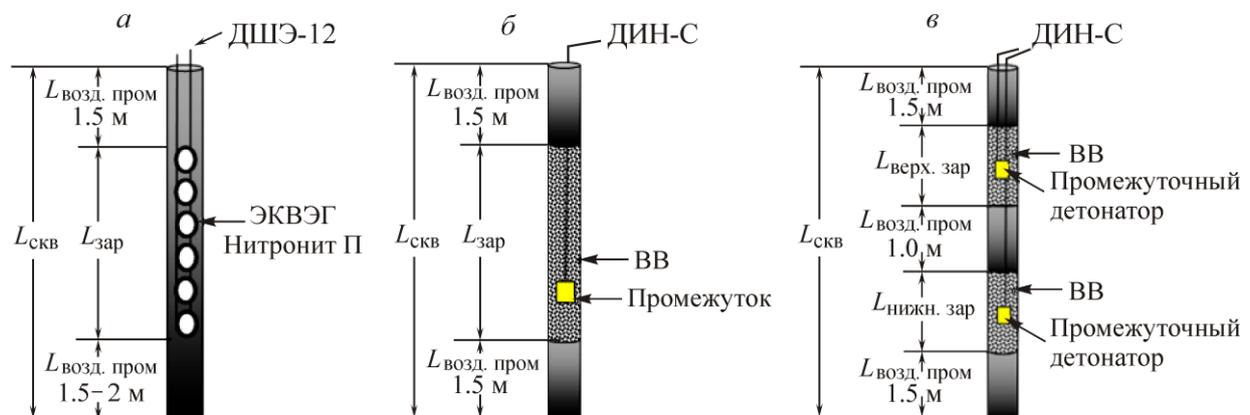


Рис. 8. Конструкции зарядов контурного (а) и предконтурного (б, в) рядов скважин

Исходя из физико-механических и геологических характеристик горных пород, определения конфигурации распределения неупругих деформаций в массиве, опыта ведения взрывных работ на карьерах Верхне-Ильди́канский и Быстри́нский 2 в связи с невозможностью бурения

наклонных скважин под углом 65° в неустойчивых массивах горных пород из-за значительных потерь скважин в зонах устойчивости I–IV следует угол наклона контурных и предконтурных скважин принимать 75° . Расстояние между предконтурными скважинами 4.5–6.0 м, в зависимости от необходимой сетки. Предлагается метод постановки откоса в конечное положение, где проектный угол откоса составляет 65° при высоте уступа 8 м. При этом создается берма 1.6 м. Рекомендуется при высоте уступов 8 м и 16 м в устойчивых зонах III–IV, конструкцию заряда формировать из взрывчатых веществ и промежуточных детонаторов, при этом в верхней и нижней частях взрывной скважины диаметром 165 мм под углом 75° создавая воздушные промежутки 1.5–2.0 м (в нижней части скважины устанавливаются затворы) заряд ВВ — гирлянда патронов Нитронит ЗКВЭГ. Перебур скважины составляет 1.5 м.

Скважины заряжаются ВВ и одновременно взрываются через одну (не заряженные). При формировании уступа 16 м откоса под углом 75° в устойчивых зонах массива (III и IV) сначала взрывают скважинные заряды контурного ряда на всю глубину с применением предложенной выше конструкции зарядов (рис. 8а), при этом в первую очередь обрушают блок 1 в соответствии с проектом массового взрыва (рис. 9). Зарядание скважин в контурном ряду выполняется через одну скважину при сильнотрещиноватом горном массиве (d_0 менее 0.2 м), при (d_0 более 0.2 м) заряжается каждая скважина.

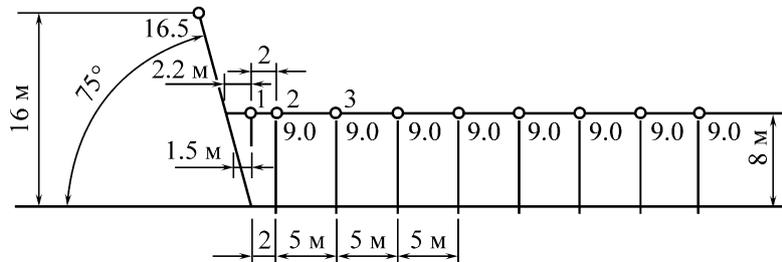


Рис. 9. Схема расположения контурных и предконтурных скважин

Конструкция зарядов предконтурного ряда диаметром 165 мм в блоке 1 представлена на рис. 10. Формируется из взрывчатых веществ и промежуточных детонаторов. В нижней части взрывной скважины создаются воздушные промежутки 1.5 м. Для формирования воздушного промежутка в нижней части скважины применяются специальные устройства – затворы. Заряд ВВ — Гранулит РП (РП-1, РП-2, РП-3), ЭВВ Нитрониты (Э20-100), Нитронит П марки “С” и “СА” принимается в зависимости от обводненности скважин.

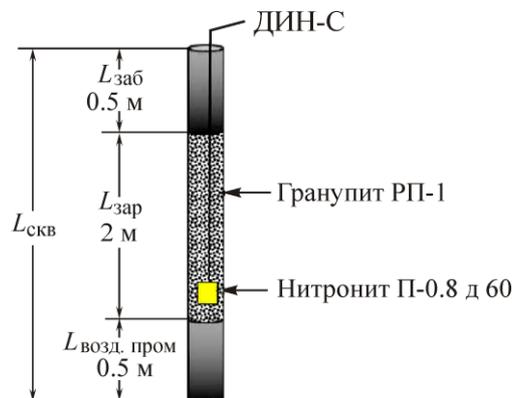


Рис. 10. Конструкция заряда предконтурного ряда

При последующем формировании откоса уступа под углами 75° при обрушении блока 2 для ликвидации возможного нависания горных пород (для выравнивания откоса уступа) вертикальные скважинные заряды диаметром 165 мм располагают на расстоянии 2.2 м от откоса

уступа с созданием в верхней части скважин забойки 0.5 м, в нижней части воздушного промежутка 0.5 м в устойчивых зонах III и IV. Заряды остальных рядов формируются из взрывчатых веществ и промежуточных детонаторов. Заряд — сплошной Гранулит РП (РП-1, РП-2, РП-3), ЭВВ Нитрониты (Э20-100), Нитронит П марки “С” и “СА” принимается в зависимости от обводненности скважин, забойка скважин 2 м. В случае обнаружения после взрыва в откосе уступа нависей, козырьков и отдельных неустойчивых породных кусков проводится оборка откосов механизированным способом.

ВЫВОДЫ

Для предохранения горного массива на контуре погашения бортов карьеров от разрушения и снижения сейсмического воздействия на него буровзрывных работ предусматривается постановка борта карьеров в предельное положение методом контурного взрывания. Данный способ предполагает, образование отрезной щели по предельному контуру уступов посредством взрывания ряда скважин. Эта щель локализует воздействие массового взрыва, задерживает часть его энергии, поглощая и отражая взрывную волну, препятствует образованию заколов и трещин.

Опыт проведения взрывов с различными параметрами БВР показал, что на качество постановки борта на предельном контуре оказывают влияние зоны естественного нарушения горных пород и воздействие на массив энергии взрыва. При совпадении направления и углов падения откосов уступов с направлением и углами падения зон ослабления горного массива (даек, трещин, напластования и т. д.) возникают обрушения пород на стадии проведения контурного взрывания с последующим осыпанием сильнотрещиноватых, раздробленных взрывом, пород. При постановке бортов карьеров в проектное положение при взрывании также оказывает влияние нарушенность горных пород и прочностные показатели. Нарушенность горных пород на месторождении проявляется в виде разрывных нарушений, даек, системных трещин, тектонических нарушений и т. п. Установлены зоны (I–IV) устойчивости горных пород на разных горизонтах карьеров Быстринский 2 (8965–7792 м) и Верхне-Ильдиканский (10 565–7904 м), которые влияют на выбор способов и схем взрывания. В различных горно-геологических и горно-технических условиях отработки карьеров Быстринский 2 и Верхне-Ильдиканский необходимо использовать не одну, стандартную, а различные, предложенные схемы расположения зарядов и их конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Galustyan E. L. Management of geochemical processes in quarries, Moscow, Nedra, 1980, 273 pp. (in Russian) [Галустьян Э. Л. Управление геохимическими процессами в карьерах. — М.: Недра, 1980. — 273 с.]
2. Mukherjee Mousumi, Nguyen Giang D., Mir Arash et al. Capturing pressure- and rate-dependent behaviour of rocks using a new damage-plasticity model, International Journal of Impact Engineering, 2017, vol. 110, issue 11, pp. 208–218.
3. Mironenko V. A. Mining hydrogeology, Moscow, Nedra, 1989. (in Russian) [Мироненко В. А. Горно-промышленная гидрогеология. — М.: Недра, 1989.]
4. Reference. Open cast mining, K. N. Trubetskoy, M. G. Potapov, K. E. Vinitsky, N. N. Melnikov et al, Moscow, Mining Bureau, 1994, 590 pp. (in Russian) [Справочник. Открытые горные работы / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Виницкий, Н. Н. Мельников и др. — М.: Горное бюро, 1994. — 590 с.]
5. Report on research work “Study of the physicommechanical properties of rocks of the Bystrinsky ore field and determination of permissible slope angles of quarries”, St. Petersburg, VNIMI, 2006. (in Russian) [Отчет о НИР “Исследование физико-механических свойств горных пород Быстринского рудного поля и определение допустимых углов наклона бортов карьеров”. — СПб.: ВНИМИ, 2006.]

6. **Temporary guidelines** for the production of contour blasting in rocky fractured rocks in quarries, Moscow, Skochinsky Institute of Mining, 1986, 24 pp. (in Russian) [**Временные методические указания** по производству контурного взрывания в скальных трещиноватых породах на карьерах. — М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1986. — 24 с.]
7. **Khorzoughi Mohammad Babaei, Hall Robert, and Apel Derek.** Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques, *International Journal of Mining Science and Technology*, 2018, vol. 28, issue 6, pp. 859–864.
8. **Pat.** 2584167 RF, The method of explosive breaking of rocks, A. A. Eremenko, V. A. Eremenko, V. I. Bashkov, A. I. Konurin. Application no. 2015106093/03 of 02.20.2015. (in Russian) [**Пат.** 2584167 РФ, Способ взрывной отбойки горных пород / А. А. Еременко, В. А. Еременко, В. И. Башков, А. И. Конурин // Опубл. в БИ. — 2015. — № 2015106093/03.]
9. **Norov D. Sh.** Development of a method of rock destruction during contour blasting in order to obtain stable slopes of ledges, diss. ... art. Master's degree, NMMC–IGGU, 2011, 74 pp. (in Russian) [**Норов Д. Ш.** Разработка способа разрушения пород при контурном взрывании с целью получения устойчивых откосов уступов: дис. ... ст. магистр. — НГМК–ИГГУ, 2011. — 74 с.]
10. **Halperin A. M.** Geomechanics of open cast mining, Textbook for high schools, Moscow, publishing house of Moscow State University, 2003, 473 pp. (in Russian) [**Гальперин А. М.** Геомеханика открытых горных работ / учеб. для вузов. — М.: изд-во МГУ, 2003. — 473 с.]
11. **Konurin A. I., Eremenko A. A., and Filippov V. N.** Features of assessing the state of a rock mass during industrial explosions and geodynamic phenomena, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2017, no. 7, pp. 153–160. (in Russian) [**Конурин А. И., Еременко А. А., Филиппов В. Н.** Особенности оценки состояния массива горных пород при промышленных взрывах и геодинамических явлениях // ГИАБ. — 2017. — № 7. — С. 153–160.]
12. **Gao Qidong, Lu Wenbo, Leng Zhendong et al.** Effect of Initiation Location within Blasthole on Blast Vibration Field and Its Mechanism, *Shock and Vibration*, 2019, no. 5386014.