

УДК 622.235.674.3 + 626.862 + 622.023.623

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ
В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ КАРЬЕРА**

С. Н. Жариков, В. А. Кутуев

*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: 333vista@mail.ru,
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620075, г. Екатеринбург, Россия*

Описаны принципы принятия решений, позволяющие системно проводить буровзрывные работы при разработке сложноструктурных месторождений открытым способом. Рассмотрены подходы к определению допустимого сейсмического воздействия в породах с различными прочностными свойствами.

Разрушение горных пород, взрывные работы, контурное взрывание, отрезная щель, трещиноватость, зоны повышенной фильтрации, сейсмика взрыва, адаптация технологии буровзрывных работ

DOI: 10.15372/FTPRPI20220609

От правильного выбора параметров и точности исполнения буровзрывных работ (БВР) в приконтурной зоне карьера во многом зависит надежность проектных решений по постановке уступов в предельное положение. Параметры зарядов на образование отрезной щели определяются горнотехническими условиями и доступностью применения тех или иных средств взрывания. В практике встречаются различные варианты и подходы при организации взрывов в приконтурной зоне, связанные со взрывами выемочных блоков. Существуют стандартные решения для взрывов при организации заоткоски. Однако в большинстве случаев они претерпевают изменения и дополнения при организации взрывных работ на конкретных месторождениях, особенно сложноструктурных. Зачастую добиться качественного взрыва отрезной щели достаточно трудно из-за особенностей залегания пород, свойств материала, заполнения пустот и обводненности массива. Более сложная задача — согласование параметров взрывов при заоткоске и технологическом взрывании выемочных блоков, где определяющими критериями могут выступать темпы работ.

Исследования выполнены в рамках государственного задания № 075-00412-22 ПР, темы 1 (2022-2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), № 1021062010531-8-1.5.1.

Анализ научно-технической литературы дает представление о следующих основных приемах, которые можно использовать при ведении БВР на заоткоске. Наиболее ровный перебор получается при вертикальных контурных скважинах, поэтому рассмотрение такого варианта всегда целесообразно [1]. Отклонение от проектной оси контурных скважин во время бурения минимальны при длине скважин 10–15 м. Однако осуществление контурного взрывания на высоту рабочего уступа (наклонные скважины) эффективно лишь при наличии специального компактного бурового станка. Средние размеры буровых станков и регламентированные правилами минимальные расстояния от нижней бровки откоса делают данный подход неконкурентным по сравнению с заоткоской сдвоенных и строенных уступов из-за достаточно широкой бермы, приводящей к выполаживанию наклона борта. Решением вопроса может стать конструкция бурового станка с возможностью бурения вниз в ограниченном пространстве, при этом расположение кабины должно быть защищено от возможного камнепада. Тем не менее снижение высоты нерабочего уступа с увеличением угла его наклона заслуживает внимания.

Для постановки нерабочих уступов в дезинтегрированных обводненных породах следует учесть опыт Ковдорского ГОКа [2]. Заоткоска уступов, сложенных частично моренными и дезинтегрированными породами, проводилась вертикальными скважинами переменной глубины. Ширина приконтурной зоны определялась четырьмя – шестью рядами скважин. Высота уступа 24 м. По поставленным в предельное положение участкам за двух-, трехлетний период деформаций не наблюдалось, за исключением осыпания приоткосной зоны, связанного с сосредоточенным стоком воды. Минимальная ширина приконтурной ленты составляла 30 м. Длина отрезной щели превышала длину взрывного блока на защищаемом фланге уступа на половину ширины блока. Скважины переменной глубины также испытывались при заоткоске на карьере “Восточный” месторождения Олимпиадинское [3]. В некоторых случаях достигался положительный результат, особенно там, где наклонные скважины разрушались из-за неустойчивого и водонасыщенного состояния грунтов. Применение скважин переменной глубины позволит уменьшить ширину бермы между нерабочими уступами, так как буровой станок можно развернуть вдоль фронта, что сократит требуемое пространство при маневрировании.

Согласно методическим указаниям и опытным работам [4–6], при подходе горных работ к предельному контуру на расстояние ближе 30–40 м необходимо применять не более чем двухрядное взрывание с диагональной схемой. Расстояние между рядом скважин отрезной щели и зарядами дробления должно быть не менее 10 диаметров. Применение наклонных скважин способствует снижению воздействия взрыва на законтурный массив. Особенность применения диагональной схемы заключается в косом воздействии на тело откоса, приводящем к подвижкам блоков преимущественно параллельно поверхности откоса, а не в его тыл. Возможные нарушения в массиве из-за некачественного или несвоевременного исполнения БВР (взрыв при условии обводненности отрезной щели), как правило, не вызывают заколообразования.

При разработке схем ведения БВР на предельном контуре целесообразно учесть, что даже в случае организации экрана с одной стороны прирост энергии на дробление горных пород составляет не менее 10 % [7]. Поверхности разрыва, ограничивающие разрушаемую область, положительно сказываются на дроблении, поэтому предполагается уменьшение расхода ВВ, требуемого для создания необходимой разрушающей нагрузки. Следует учитывать возможное предразрушение массива [8]. При заоткоске в крепких породах можно использовать иностранный опыт. В [9, 10] рассмотрен недобур скважин в районе будущей призмы обрушения, где предположительно должен образовываться естественный предохранительный вал будущей

бермы. Еще один фактор БВР, который нужно учитывать при заоткоске, — сейсмическое действие взрыва, переходящее в волну напряжений и приводящее к межблочным подвижкам в законтурном массиве. Трещинообразование можно прервать поверхностью разрыва, а сейсмику только отрезной щелью, не заполненной ничем, кроме воздуха. Вода, лед, шлам в отрезной щели — проводники волн. Важным вопросом щадящего взрывания является определение возможных межблочных подвижек и проектирование взрывов с минимальной массой БВ в ступени замедления [11, 12]. Для приближенных расчетов удобно пользоваться номограммой (рис. 1).

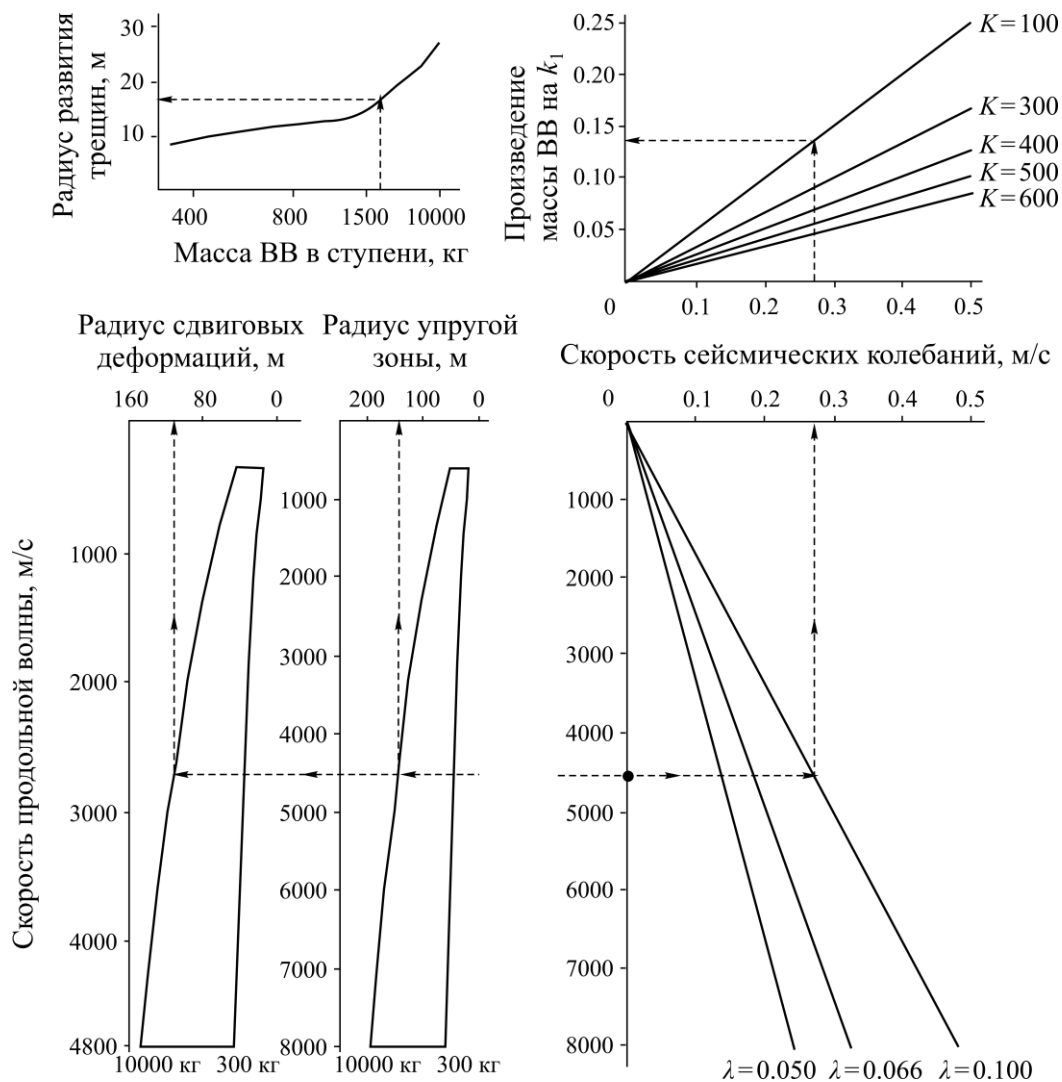


Рис. 1. Номограмма для определения допустимого сейсмического воздействия в породах с различными прочностными свойствами [12]

При построении номограммы учитывались соотношения между R и k_1 ; $Q_{ст}$ и k_2 :

$R, \text{ м}$	50	100	200	300	400	500	700	800	1000			
k_1	0.0002	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$			
Q_{cr}	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	3000	5000	10000
k_2	0.67	0.74	0.79	0.84	0.89	0.93	0.97	1.0	1.14	1.44	1.71	2.15

$$R_{\text{сд}} = k_2 \sqrt{C_s}, \quad R_{\text{уп}} = k_2 \sqrt{C_p},$$

где K — коэффициент грунтовых условий; λ — коэффициент структурного ослабления; k_1 — переводной коэффициент, значение которого зависит от расстояния R от эпицентра взрыва до охраняемого объекта (массива); $R_{\text{сд}}$ — радиус сдвиговых деформаций, м; $R_{\text{уп}}$ — радиус упругой зоны, м; k_2 — переводной коэффициент, значение которого зависит от массы ВВ в ступени замедления $Q_{\text{ст}}$; C_p — скорость продольной волны, м/с; C_s — скорость поперечной волны, м/с.

По номограмме на основе сведений о скорости продольных волн, коэффициенте структурного ослабления горных пород в массиве и грунтовых условиях ($K=200-300$ — скальные породы; $K=300-450$ — полускальные породы; $K=450-600$ — песчано-глинистые, рыхлые, обводненные и насыпные грунты) определяются допустимые расстояния от места взрыва до охраняемого объекта (массива) при выбранной массе ВВ. В зависимости от массы ВВ в ступени замедления устанавливаются: зона развития трещин; зона сдвиговых деформаций; упругая зона, за которой исключены деформационные процессы, вызванные короткопериодными колебаниями.

РЕШЕНИЯ ПО РАЦИОНАЛЬНОЙ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКЕ В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ

Обычно при расчетах параметров БВР применяется средний размер отдельности в массиве, который характеризует трещиноватость. Общее представление о массиве, как об иерархически блочной среде, отражено в [13–27]. Однако существуют массивы горных пород, где проведение БВР требует уточнения их структурного состояния. Одно из таких месторождений — Вернинское (Иркутская область). Структура массива горных пород здесь отмечена аномальной слоистостью, пересекающейся в широком диапазоне углов.

При проведении взрывных работ сложная структура массива определила ряд проблем, а иногда и невозможность использования некоторых типовых технологических решений. На многих участках массива нельзя было сформировать скважины под заряды отрезной щели. Технологическое взрывание тоже имело свою специфику, связанную со взрывом больших блоков (от 500 скважин). При уменьшении размеров выемочных блоков возник вопрос применения тех или иных схем инициирования. Необходимо отметить, что длительный интервал замедлений и большие размеры блоков способствовали лучшему дроблению массива месторождения, но такие взрывы имели очень большой сейсмический эффект. Применение электронных детонаторов снизило сейсмику, однако масса ВВ в ступени замедления оставалась значительной — 6–8 т. Для обеспечения необходимых темпов углубления наличие такой массы в ступени замедления ставит под сомнение устойчивость откосов уступов даже в промежуточных контурах очереди. В данной ситуации необходимо было уменьшать размеры выемочного блока, но появилась новая проблема — снижение качества дробления. Персоналом эксплуатирующей организации решение было найдено в детальном изучении структуры массива горных пород. Впоследствии результаты исследования проанализированы совместно с сотрудниками Института горного дела УрО РАН и разработаны технические решения.

Для условий карьера Вернинский ПАО “Полюс” установлены требования к учету физико-механических свойств пород и нарушенности массива, повышающие достоверность выбора параметров щадящей технологии взрывных работ. Указано на целесообразность использования для заоткоски хорошо зарекомендовавшего себя ранее способа дренажа приконтурной зоны.

Проблема адаптации технологии БВР к условиям сложноструктурного месторождения — недостаточная обеспеченность информацией о физико-механических и структурных свойствах горных пород. Для определения рациональных параметров БВР в условиях изменчивой слоистости необходимо повысить детальность информации о трещиноватости массива (рис. 2).

На основе съемки трещиноватости массива горных пород необходимо смоделировать его структурное состояние. Целесообразно применить ступенчатый переход от начальной информации о массиве для определения параметров БВР путем испытаний до достаточной совокупности данных об условиях для формирования скважин и производства работ по постановке уступов в конечное положение. Для удобства использования информации следует районировать массив по углам и основным направлениям падения трещин. Далее графическим образом спроецировать основные углы, как показано на рис. 2. Данный подход дает возможность приблизительно оценить перемежаемость слоистости под разными углами, встречное перекрещивание и т. п. По мере определения трещиноватости до границ выемочного блока уточняются тип схемы и параметры зарядов ВВ. Основным смысл их выбора заключается в том, чтобы инициирование зарядов позволяло схлопывать трещины, тем самым предупреждая потерю энергии на дроблении при ее уходе в естественные нарушения.

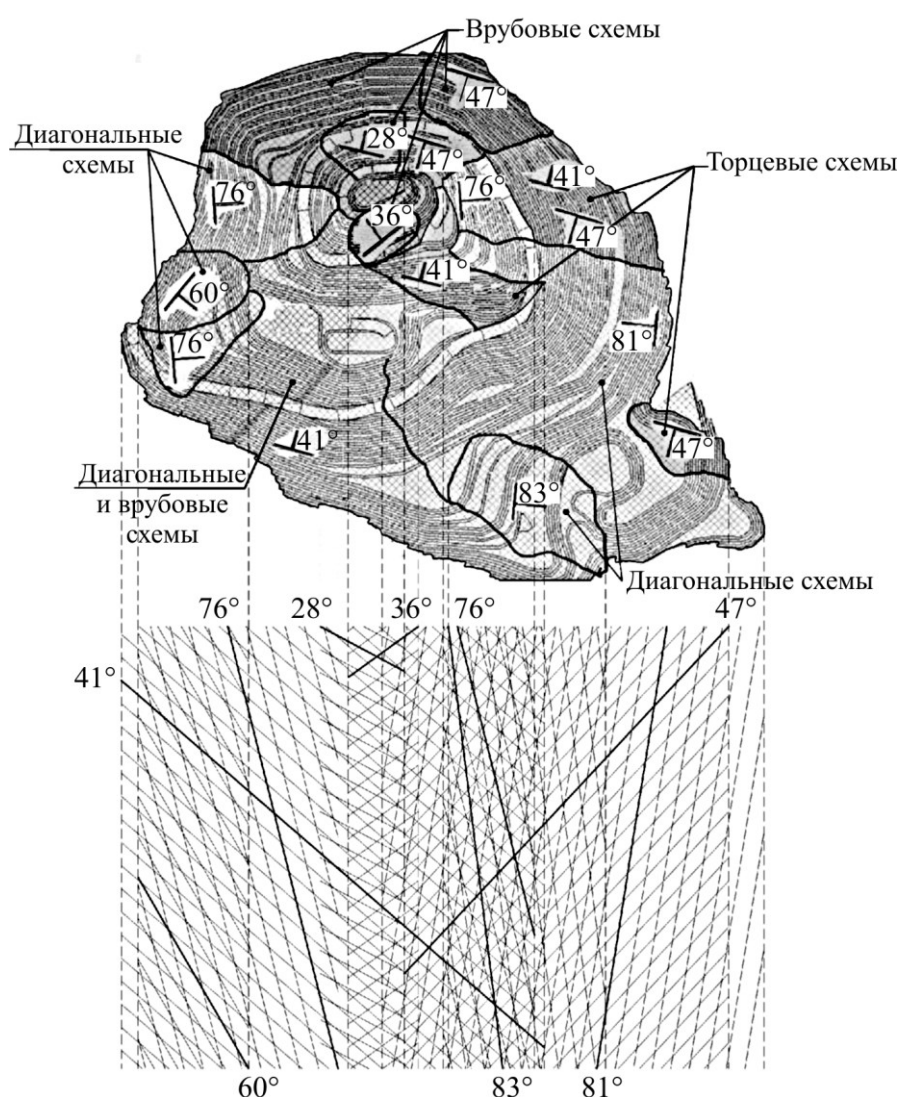


Рис. 2. Фрагмент зонирования карьерного поля по типам схем инициирования на основе карты трещиноватости в зависимости от углов падения трещин

В зависимости от напластований способ заоткоски выбирается в соответствии с углом падения трещин (рис. 3).

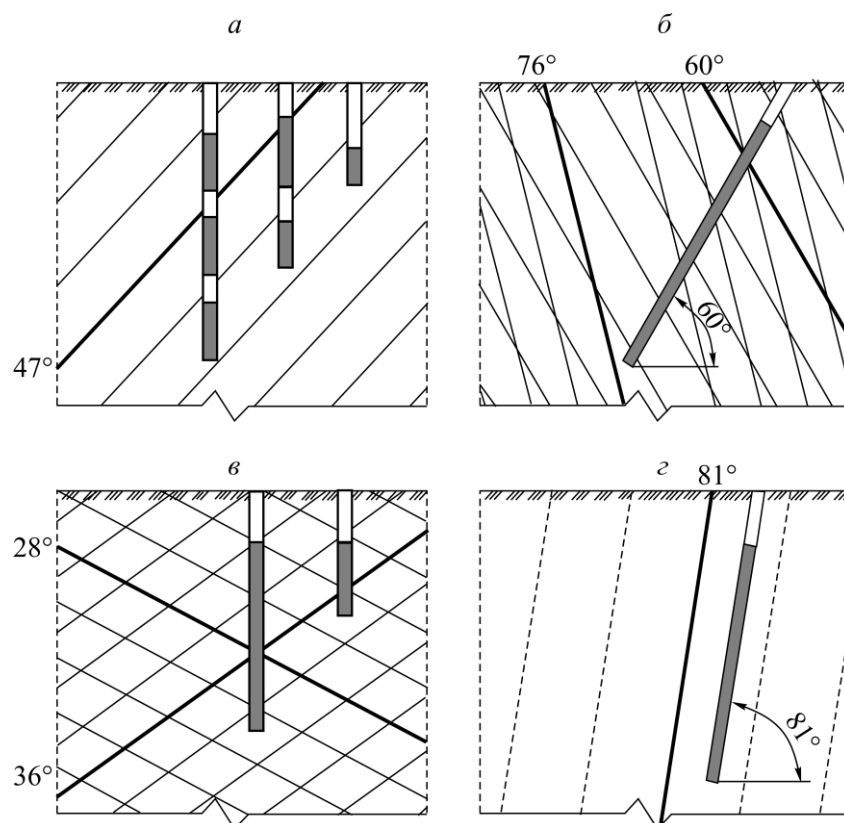


Рис. 3. Варианты заоткоски в зависимости от углов падения трещин: *а* — трех- или четырех-рядный буфер с рассредоточенными зарядами; *б* — наклонные скважины под углом 60° (при $\varnothing \leq 225$ мм); *в* — скважины переменной глубины (при $\varnothing \geq 225$ мм); *г* — заоткоска наклонными скважинами под углом 81° ($100 \leq \varnothing \leq 250$ мм)

Другим важным фактором, который необходимо учитывать при корректировке параметров взрывных работ, — обводненность массива. Она приводит к размыванию стенок скважин контурных лент и засорению ее частицами горной породы в процессе оседания, поэтому заоткоска должна производиться преимущественно в осушенном массиве.

Наиболее простой способ дренажа скважин отрезной щели описан в [28]. Формируется зона повышенной фильтрации, соединяющая отрезную щель с карьерным пространством. Осуществляется подрыв донных зарядов с параметрами, соответствующими физико-механическим свойствам пород. В результате на уровне подошвы погашаемого уступа образуется сквозная полость, обеспечивающая возможность стока воды, поступающей из законтурного массива. Такие зоны повышенной фильтрации следует создавать на участках, где отрезная щель не имеет выхода на уже заоткошенный уступ. После полного погашения верхнего рабочего уступа аналогичная зона формируется на следующем уступе. Это значительно упрощает технологию заоткоски, повышает качество оформления уступа и позволяет ставить уступы с более крутыми углами в предельное положение. Перед проектированием параметров БВР на участке необходимо оценить устойчивость массива горных пород согласно нормативной документации федеральных норм и правил в области промышленной безопасности [29].

Процесс детонации ВВ не всегда протекает стабильно при различных параметрах зарядов [30], поэтому для безопасности проведения взрывов эта особенность всегда требует учета. При постоянном уменьшении диаметра заряда в сложноструктурном массиве можно прийти до значе-

ния, при котором распространение детонации окажется невозможным. Такой диаметр заряда для конкретного типа ВВ называется критическим. Наряду с критическим диаметром заряда существует понятие критической плотности ВВ. С достижением в заряде значения критической плотности детонация прерывается и процесс затухает. При использовании штатных ВВ данная проблема может возникнуть тогда, когда заряды в группе расположены слишком близко и при взрыве одного из них создаваемое давление ведет к переуплотнению другого заряда. Опыт исследований лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН позволяет ввести следующие ограничения для формирования зарядов из промышленных эмульсионных ВВ. Для исключения при детонации критических состояний (затухание детонации и отказ) диаметр зарядов должен быть более 110 мм, расстояния между зарядами более 2.5 м, плотность эмульсионных менее 1270 кг/м³. Допустимая плотность находится в диапазоне 1100–1250 кг/м³ [31–33].

Вопросы инициирования зарядов в условиях развитой трещиноватости имеют важное значение при обеспечении кондиционного среднего размера куска во взорванной горной массе, особенно при освоении сложноструктурных массивов горных пород. Рекомендовано использование нормативно-справочной информации и электронных систем инициирования для взрывания технологического блока с предварительно взорванным контурным рядом скважин. Выбор и расчет схемы инициирования определяется условиями конкретного взрыва. Уточнение трещиноватости в границах выемочного блока позволит выбрать оптимальный вариант исходя из особенностей и характеристик средств инициирования. Основные типы схем определяются по результатам районирования трещиноватости (рис. 2). В приведенном примере схемы инициирования могут быть диагональными, порядными, клиновыми и другими (электронное взрывание) [34]. Выбор конкретной схемы следует осуществлять с учетом информации о естественном состоянии массива горных пород в границах выемочных блоков (коэффициента структурного ослабления горных пород, направления трещин).

ВЫВОДЫ

Изучение возможностей адаптации технологии для условий конкретного месторождения может способствовать повышению уровня соответствия проектных решений условиям ведения горных работ. Получение дополнительных данных о состоянии горного массива для изменения технологических процессов в реальном времени позволит увеличить эффективность работы за счет оптимизации ресурсов и повышения уровня контроля за производством. Это особенно важно при ведении взрывных работ с постановкой нерабочих уступов в предельное положение. Следует контролировать уменьшенное динамическое воздействие в тыл борта (для снижения межблочных подвижек) и отрезание взрывом контурных лент, возможности развития тыльного трещинообразования в закол при подходе основных взрывных работ к откосу. Для адаптации технологии БВР под условия разработки сложноструктурного месторождения необходимо получение информации о массиве горных пород повышенной детальности и точности. Требуется создание и уточнение во времени технологических карт, характеризующих изменение в карьерном пространстве прочностных свойств, трещиноватости и сопротивляемости разрушению горных пород. На основе карты трещиноватости вносятся коррективы в порядок приближения взрывных работ к предельному контуру карьера, в параметры БВР выемочных блоков и схемы формирования зарядов контурных лент.

Целесообразно формализовать последовательность и детальность ступенчатого изучения свойств массива горных пород в неких универсальных алгоритмах для адаптации БВР. Набор же этих алгоритмов для конкретного месторождения представляется различным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. — М.: Недра, 1983. — 144 с.
2. Зотеев В. Г., Морозов В. Н., Ялунин В. В., Сазонов В. А., Кампель Ф. Б. Опыт заоткоски скальных уступов на предельном контуре карьера Ковдорского ГОКа // Черн. металлургия. — 1988. — № 7. — С. 39–42.
3. Жариков С. Н., Тимофеев И. Н., Гуленков Э. В., Бушков В. К. Совершенствование буровзрывных работ на предельном контуре карьера // Горн. журн. — 2018. — № 1. — С. 48–55.
4. Методические указания по обеспечению устойчивости откосов и сейсмической безопасности зданий и сооружений при ведении взрывных работ на карьерах. — Л.: ВНИМИ, 1977. — 17 с.
5. Антоненко Л. К., Зотеев В. Г. Опыт применения специальной технологии заоткоски скальных уступов в СССР и за рубежом. — М., 1986. — 27 с.
6. Антоненко Л. К., Зотеев В. Г., Деев Е. А., Смирнов В. А. Опыт внедрения специальной технологии заоткоски скальных уступов на Оленегорском ГОКе // Горн. журн. — 1985. — № 3. — С. 25–28.
7. Адушкин В. В., Спивак А. А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. — М.: Недра, 1993. — 319 с.
8. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. — М.: Недра, 1980. — 453 с.
9. Read J. and Stacey P. Guidelines for open pit slope design. CRC Press, Balkema, 2009. — 509 p.
10. Зотеев В. Г., Макаров А. Б., Эпштейн И. В. Оценка возможности использования “Руководства по проектированию бортов карьеров” при проектировании открытой разработки рудных месторождений в условиях современной России // Золото и технологии. — 2018. — № 1. — С. 52–57.
11. Zharikov S. N. and Kutuev V. A. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blastin open-pits, Trigger Effects in Geosystems: 5th Int. Conf., Moscow: Springer Nature, 2019. — P. 437–445.
12. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Построение номограммы для определения параметров БВР в приконтурной зоне карьера // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2020. — № 3. — С. 161–171.
13. Козырев А. А., Каспарьян Э. В., Рыбин В. В. Геомеханическое обоснование устойчивости бортов глубоких карьеров в массивах иерархично-блочной структуры // Глубокие карьеры: сб. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием — Апатиты: Реноме, 2012. — С. 307–316.
14. Козырев А. А., Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В. Концепция единой системы комплексного геомеханического мониторинга при ведении горных работ в скальных массивах горных пород // ГИАБ. — 2016. — № 4. — С. 168–191.
15. Кузнецов Н. Н. Исследование энергоемкости разрушения скальных горных пород с целью оценки их удароопасности (на примере месторождений Кольского региона): автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2021. — 25 с.
16. Балек А. Е., Панжин А. А. Мониторинг деформационных процессов в породном массиве донских хромитовых месторождений: учет влияния иерархической блочности // Современные проблемы механики. — 2018. — № 33. — С. 83–91.
17. Панжин А. А., Панжина Н. А. Оценка напряженно-деформированного состояния горного массива Олимпиадинского месторождения при комбинированной геотехнологии // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2021. — № 3. — С. 202–213.

18. Садовский М. А., Кочарян Г. Г., Родионов В. Н. О механике блочного горного массива // ДАН СССР. — 1988. — Т. 302. — № 2. — С. 306–307.
19. Сашурин А. Д., Балек А. Е., Далатказин Т. Ш., Мельник В. В., Замятин А. Л., Коновалова Ю. П., Усанов С. В. Экспериментальное исследование процессов самоорганизации иерархически-блочных массивов горных пород // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия. — Новосибирск: СО РАН, 2012. — С. 119–145.
20. Сашурин А. Д. Формирование напряженно-деформированного состояния иерархически блочного массива горных пород // Проблемы недропользования. — 2015. — № 1. — С. 38–44.
21. Харисов Т. Ф., Балек А. Е. Оценка геодинамической активности иерархически блочного породного массива // Проблемы недропользования. — 2021. — № 3. — С. 30–38.
22. Савченко С. Н., Козырев А. А., Мальцев В. А. Напряженное состояние пород блочного строения // ФТПРПИ. — 1994. — № 5. — С. 38–47.
23. Савченко С. Н., Козырев А. А., Мальцев В. А. Напряженное состояние пород блочного строения различных масштабных уровней // ФТПРПИ. — 1994. — № 6. — С. 24–29.
24. Brady B. H. G. and Brown E. T. Rock mechanics for underground mining, Springer Science, Business Media, 2005 — 628 p.
25. Li J., Chen W., Shi C., and Wang M. Calculation method of irreversible displacement region radius based on block hierarchical structure under large-scale underground explosion, Baozha Yu Chongji, Explosion and Shock Waves, 2018, Vol. 38, No. 6. — P. 1271–1277.
26. Qi C. Z., Qian Q. H., Wang M. Y., and Dong J. Structural hierarchy of rock massif and mechanism of its formation, Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao, Chinese J. Rock Mech. and Eng., 2005, Vol. 24, No. 16. — P. 2838–2846.
27. Jiang H., Li J., and Wang M. Development of a test system for dynamic characteristics of blocky rock mass and its application, Zhendong yu Chongji, J. of Vibration and Shock, 2018, Vol. 37, No. 21. — P. 29–34.
28. Методические указания по оценке рисков развития деформаций, мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов, карьеров, разрезов и откосов отвалов. — М.: ИПКОН РАН, 2022. — 90 с.
29. ФСЭТАН РФ Приказ № 439. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов” от 13.11.2020. URL: <http://enis.gosnadzor.ru/about/documents/normativnye-dokumenty-reglamentiruyushcheye-atelnost-rostekhnadzora-vstupayushchie-v-silu-s-01-01-/439.pdf> (дата обращения 18.10.2022 г.).
30. Кутуев В. А. Изучение детонационных характеристик промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит-1А, с использованием регистратора данных “DATATRAPI™” // ГИАБ. — 2016. — № S21. — С. 101–109.
31. Кутуев В. А., Флягин А. С., Жариков С. Н. Исследование детонационных характеристик ПЭВВ НПГМ с различными исходными компонентами эмульсии при инициировании зарядов разными промежуточными детонаторами // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2021. — № 3. — С. 175–187.
32. Меньшиков П. В., Жариков С. Н., Кутуев В. А. Определение ширины зоны химической реакции промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит 1А на основе принципа неопределенности в квантовой механике // ГИАБ. — 2021. — № 5–2. — С. 121–134.
33. Жариков С. Н., Меньшиков П. В., Сеницын В. А. Определение взаимосвязи между плотностью, скоростью детонации и диаметром заряда на примере эмульсионного взрывчатого вещества “нитронит” // Горн. журн. — 2015. — № 6. — С. 35–39.
34. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Схемы инициирования зарядов для обеспечения высокопроизводительной работы циклического звена ЦПТ // Изв. УГГУ. — 2017. — № 3. — С. 76–79.

Поступила в редакцию 24/V 2022

После доработки 19/X 2022

Принята к публикации 24/XI 2022