

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ БЕЗОПАСНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ

А. А. Еременко¹, В. А. Еременко², А. Н. Александров¹, В. Н. Колтышев¹

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия

Приведены результаты оценки геомеханического состояния массива горных пород. Показан опыт разработки технологических схем и параметров геотехнологии отработки рудных участков и блоков в удароопасных условиях. Установлено, что использование новых технологий разработки и взрывной отбойки приводит к значительному экономическому эффекту.

Взрыв, технология, горная порода, напряжение, технологическая схема, блок, руда

ВВЕДЕНИЕ

При переходе горных работ на большие глубины резко ухудшаются условия эксплуатации месторождений полезных ископаемых, так как увеличивается горное давление и изменяются физико-механические свойства горных пород. По этим причинам возникают серьезные технологические и технико-экономические трудности при ведении капитальных, подготовительных и очистных работ. Эффективность и безопасность разработки склонных и опасных по горным ударам месторождений можно обеспечить только при всестороннем изучении действия природных и техногенных факторов, что необходимо для изыскания рациональных схем и параметров геотехнологии освоения месторождений в условиях напряженно-деформированного состояния горного массива. С этой целью выполнены исследования, связанные с установлением влияния масштаба очистных работ на интенсивность динамических явлений, выемки рудных залежей и блоков на закономерности геомеханических процессов в массиве горных пород. Особое место занимают исследования по определению рациональных параметров технологии буровзрывных работ, по разработке и обоснованию систем с массовым обрушением блоков на зажатую среду и компенсационные пространство, обеспечивающих эффективность и безаварийные условия ведения горных работ.

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ УДАРООПАСНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Разработана программа, которая основана на конечно-разностном методе Уилкинса, позволяющая определять перераспределение полей напряжений в массиве горных пород при массовых взрывах на удароопасных железорудных месторождениях Западной Сибири. Установлено, что зоны максимальных напряжений сжатия в массиве горных пород распространяются в направлении, ортогональном расположению наиболее протяженных границ технологических блоков (рис. 1) [1, 2].

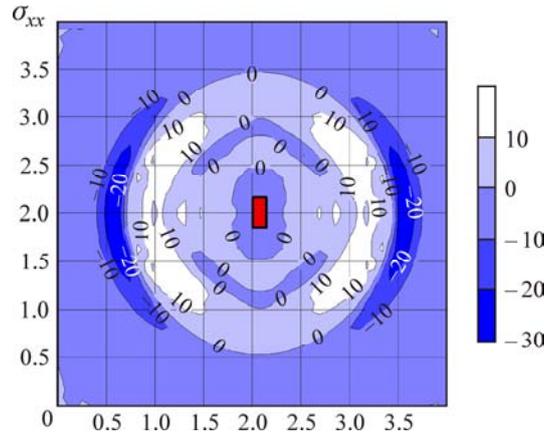


Рис. 1. Распределение напряжения σ_{xx} при массовом взрыве: $0 \div 50$ — растягивающие напряжения, $10 \div -100$ сжимающие напряжения

Получено новое решение задачи о перераспределении напряжений в обрушаемых технологических блоках, показывающее, что основным фактором, позволяющим эффективно использовать при разрушении энергию статического поля напряжений, является геометрия и взаиморасположение свободных от усилий поверхностей, образованных на различных этапах короткозамедленного взрывания концентрированных зарядов, при которых достигается качественное дробление горной массы (рис. 2, 3)¹ [3].

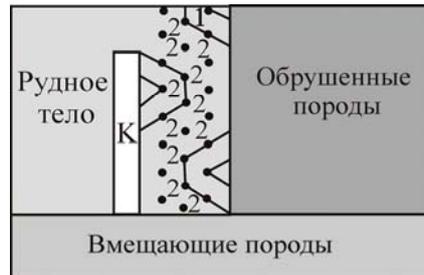


Рис. 2. Схема расположения зарядов ВВ и последовательность их взрывания в технологическом блоке: К — компенсационная камера; 1, 2 — очередность взрывания

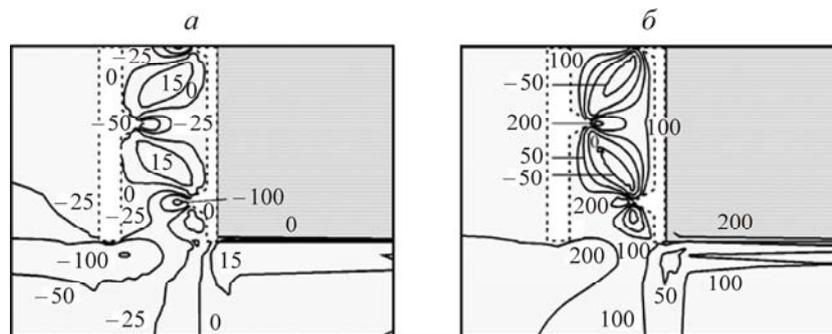


Рис. 3. Распределение главного напряжения σ_1 (а) и параметра K , характеризующего возможность разрушения по условию Кулона–Мора (б), после первого этапа отбойки технологического блока: $-50 \div 10$ — значения напряжений σ_1 , МПа; $0 \div 300$ — значения параметра

$$K = \sigma_2 - \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_1 - c_1 \frac{2 \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \text{ МПа, где } c_1 \text{ — сцепление; } \varphi \text{ — угол внутреннего трения}$$

¹Расчеты выполнены д. т. н. В. М. Серяковым.

Проведен расчет процесса деформирования и разрушения налегающей толщи для условий взрывной отработки в одном из слепых рудных тел месторождений. Получены конфигурации областей разрушения, отвечающие различным значениям предела прочности горных пород на растяжение σ_p . Показано, что при значениях $\sigma_p < 1$ МПа обрушение пород может достичь земной поверхности (рис. 4) [4].

Выполнено геомеханическое обоснование сближенных рудных участков и блоков для условий удароопасных железорудных месторождений. Оценка геодинамического состояния массива горных пород показала, что при отработке блоков в предохранительных целиках в слепых рудных телах зоны неупругих деформаций в области влияния очистного пространства не распределяются до шахтных стволов и не достигают границ зоны опасных деформаций и мульды сдвига (рис. 5)².

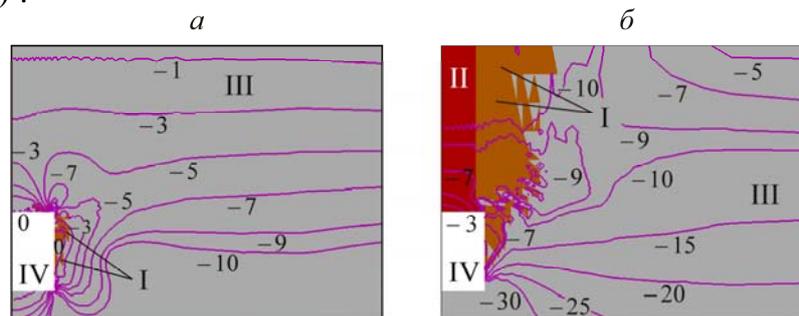


Рис. 4. Характер распределения главных напряжений в окрестности отработанного пространства и развитие областей разрушения в налегающих породах при действии тектонических напряжений $\sigma_x = 2gH$: а — σ_1 ; б — σ_2 ; I — область разрушения; II — область обрушения; III — вмещающие породы; IV — выработанное пространство; $-0 \div -30$ — значения напряжений, МПа

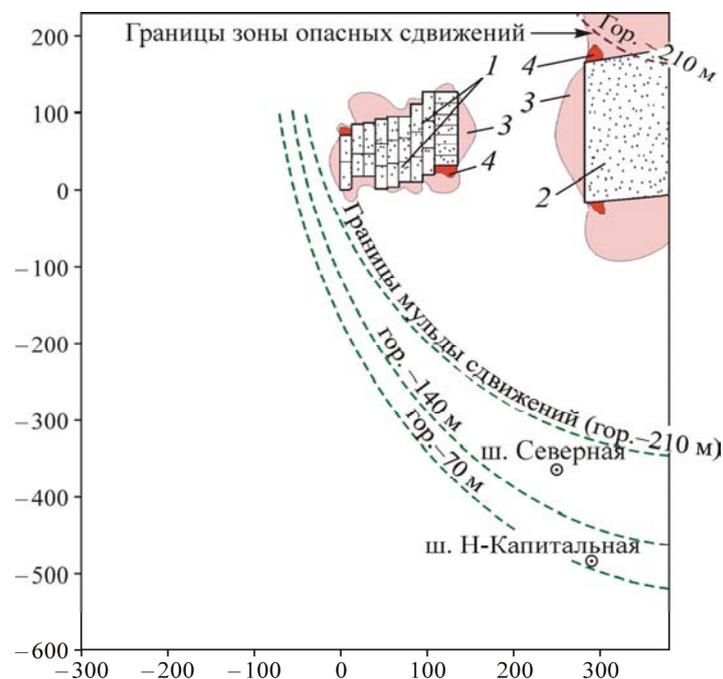


Рис. 5. Распределение неупругих деформаций в области влияния очистного пространства при отработке блоков № 04–1 в этаже $(-210) \div (-140)$ м и на северном фланге Восточного участка: 1 — блоки № 04–1 с закладкой; 2 — выработанное пространство; 3 — зоны неупругих деформаций для малопрочных пород; 4 — то же для прочных пород

²Расчеты выполнены Л. Н. Гаховой.

Проведена оценка геомеханического состояния горного массива при отработке подкарьерных запасов трубки “Удачная” в Якутии, которая показала, что отработка трех этажей на гор. –290 ÷ –580 м приведет к дальнейшему увеличению сжимающих и касательных напряжений во вмещающих породах на флангах месторождения: σ_2 до –30, τ_{\max} до 10 МПа. Возрастут размеры областей проявления растягивающих напряжений в основании бортов карьера, однако их уровень не превысит критических значений (рис. 6) [5].

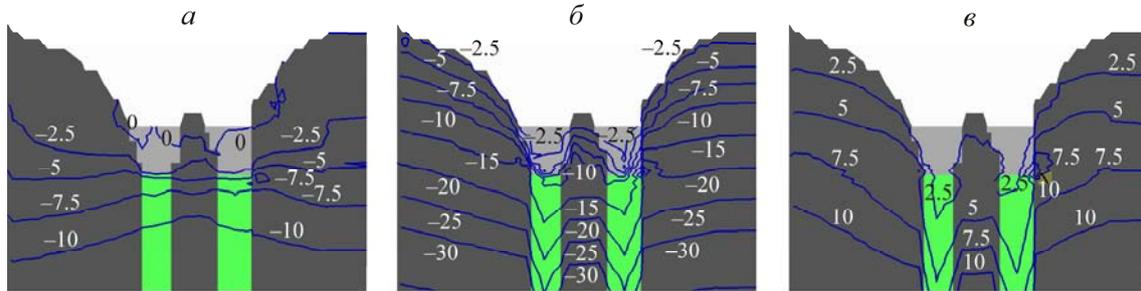


Рис. 6. Обрушение руды в этажах (–290) ÷ (–380), (–380) ÷ (–480) и (–480) ÷ (–580) м: σ_1 (а), σ_2 (б) и τ_{\max} (в); 0.333...2000 — расстояние от выбранной точки отсчета, м; –30...10 — значения напряжений, МПа

Установлено влияние отработки рудных участков и блоков на формирование зон концентрации напряжений и динамических явлений. При последовательной выемке слепых и сближенных рудных тел в условиях повышенных горизонтальных напряжений (3–5 γH) системами разработки с обрушением руды после массовых взрывов в районе блоков возникают микроудары и горные удары с сейсмической энергией от 10^5 до 10^8 Дж, в кровле и бортах выработанного пространства происходят толчки с энергией 10^2 – 10^4 Дж; зоны концентрации напряжений удалены от границ выработанного пространства в днище и бортах блока на расстояние до 100 м, в кровле — до 150 м [6, 7].

Определены условия формирования зон концентрации напряжений при выемке рудных участков, опасных по горным ударам. При нисходящей отработке крутопадающих рудных тел в условиях действия высоких горизонтальных напряжений на глубине 600–900 м от дневной поверхности в районе выработок днища вводимого в эксплуатацию этажа формируются зоны концентрации напряжений в опорном слое на расстоянии 20–60 м от вышележащего горизонта, которые зависят от мощности рудного тела, угла внутреннего трения и сцепления горных пород с учетом роста объема выемки рудных запасов [7].

Выявлены условия формирования удароопасной ситуации на рудных участках после массовых технологических взрывов на Таштагольском месторождении (рис. 7). При массовых технологических взрывах зоны концентрации динамических явлений с энергетическим классом 5–7 формируются на Восточном участке 4 раза, а с энергетическим классом 2–7 на Юго-Восточном участке при отработке слепого рудного тела — 5 раз (рис. 8) [8].

С целью снижения уровня сейсмического воздействия на окружающий массив горных пород исследована реакция среды на взрывы. Установлены распределения динамических явлений с различной сейсмической энергией в массиве в зависимости от энергии взрывов и очередности взрывания. Снижение интенсивности динамических явлений достигается периодичностью проведения крупномасштабных взрывов, а также последовательностью и скоростью выпуска горной массы на рудных месторождениях в Алтае-Саянской горной области (рис. 9) [1, 9]. Поддерживать состояние массива, отвечающее безопасному уровню ведения горных работ, рекомендуется путем проведения одного взрыва в течение 1–3 мес.

Установлены функциональные зависимости распределения ударов горно-тектонического типа при технологических взрывах и показатель сейсмической угрозы для шахты, расположенной на сейсмоопасной территории рудного месторождения, который включает частоту динамических явлений в квартал, площадь зоны действия горных ударов с интенсивностью, превышающей 10^2 Дж, и площадь сейсмоопасной территории как в шахте, так и на дневной поверхности.

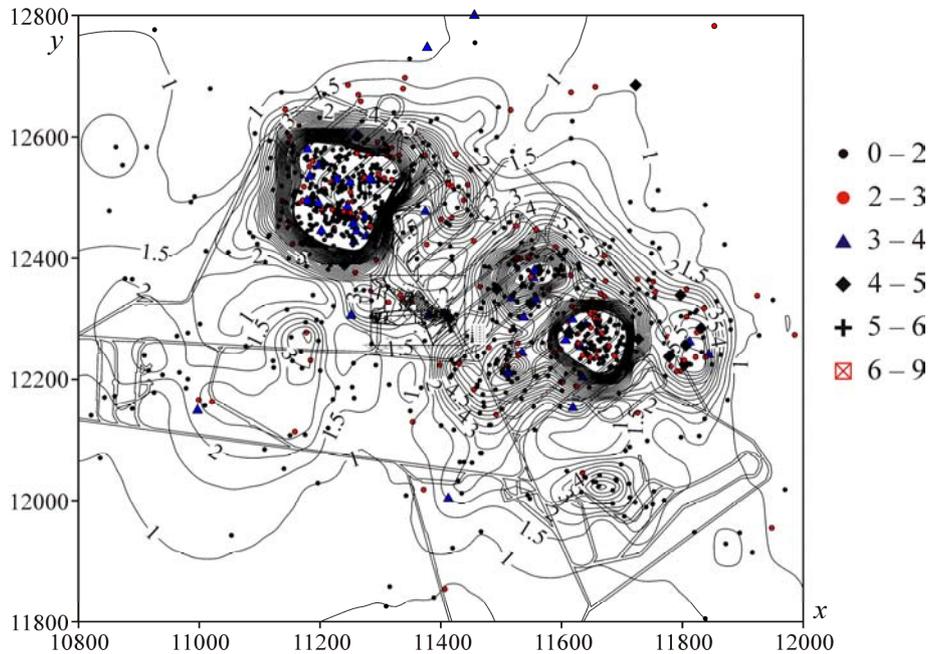


Рис. 7. Распределение зон концентрации динамических явлений при ведении горных работ на Восточном рудном участке месторождения

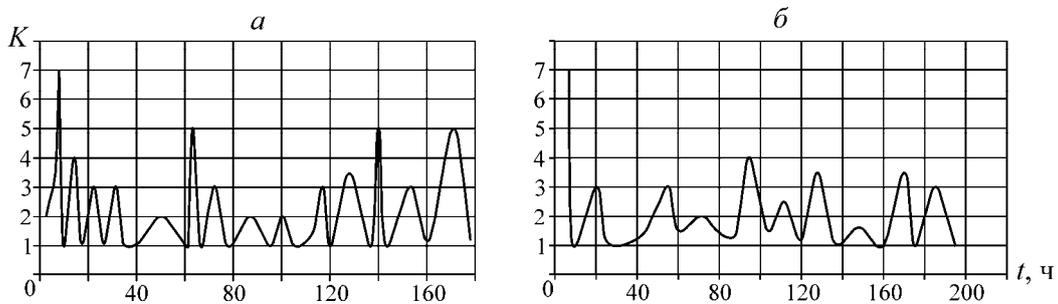


Рис. 8. Изменение энергетического класса толчков K после массовых технологических взрывов на Восточном (а) и Юго-Восточном (б) участках месторождения

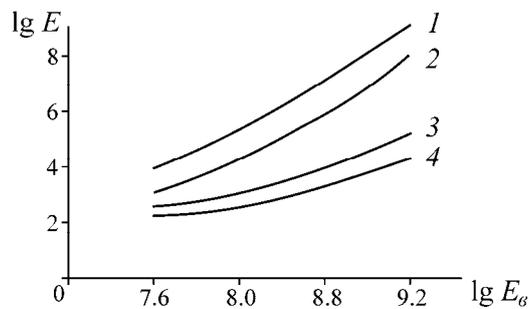


Рис. 9. Изменение сейсмической энергии динамических явлений при крупномасштабных взрывах с различной энергией: 1 ÷ 4 — соответственно при взрывах на Таштагольском, Шерегешевском, Абаканском и Казском месторождениях

Установлен критерий удароопасности, в качестве которого принято отношение сейсмической энергии, накопленной в массиве горных пород, к потенциальной энергии, заключенной во взрыве заряда ВВ (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Критерии удароопасности на месторождениях Горной Шории

Критерий удароопасности		Заключение о состоянии массива	Тип динамических явлений
K_1	K_2		
$K_1 < 10^{-5}$	$K_2 > 1$	Массив горных пород склонен к накоплению упругой энергии и реализации ее в виде микроразрушений	Толчки
$10^{-5} < K_1 < 1.7 \cdot 10^{-4}$	$0.5 < K_2 < 1$	Локальная концентрация напряжений в выработках	Толчки, стрельяние, интенсивное заколообразование
$1.7 \cdot 10^{-4} < K_1 < 10^{-3}$	$K_2 < 0.1$	Удароопасное	Горные удары, микроудары, толчки
$K_1 \geq 10^{-3}$	$K_2 < 0.1$	Удароопасное на площади более 400 м ²	Удары горно-тектонического типа, горные удары

Выявлено, что при отработке слепых рудных тел удароопасность вмещающего массива горных пород проявляется в зависимости от скорости изменения объема выработанного пространства и производством массовых взрывов (рис. 10). Разработан регламент ведения горных работ.

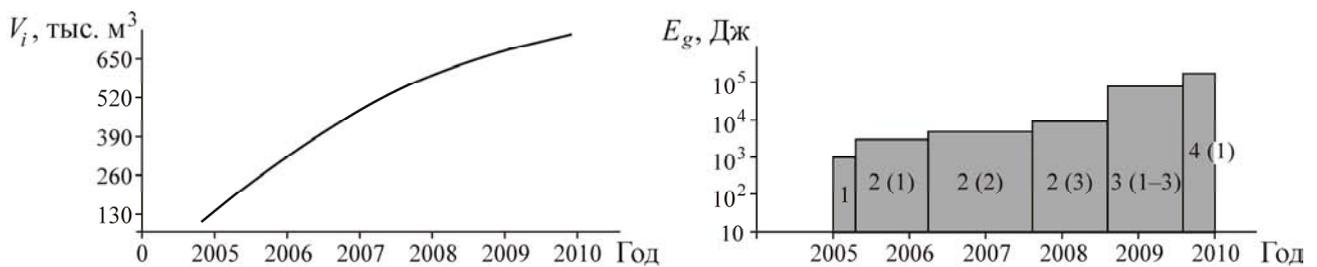


Рис. 10. Изменение суммарной сейсмической энергии динамических явлений E_g при увеличении объема выработанного очистного пространства V_i на Юго-Восточном участке Таштагольского месторождения: 1–4 — номера блоков (слоев)

Определены рациональные размеры целиков между камерами при отработке блоков на Артемьевском и Орловском месторождениях (Казахстан), которые колеблются от 10 до 15 м, позволившие повысить безопасность ведения очистных работ (рис. 11) [10].

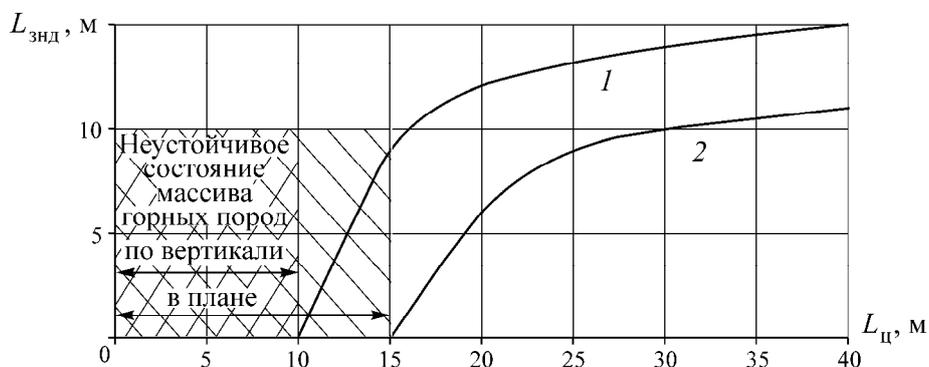


Рис. 11. Изменение зоны неупругих деформаций $L_{знд}$ в целиках и во вмещающем массиве горных пород на Артемьевском месторождении: 1, 2 — распределение зон в плане и по вертикали

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, СКЛОННЫХ И ОПАСНЫХ ПО ГОРНЫМ УДАРАМ

Разработаны параметры геотехнологии разработки слепых и сближенных рудных участков и блоков и выполнено технико-экономическое обоснование для условий удароопасных железорудных месторождений. Установлено, что увеличение и поддержание производительности более 20 млн т сырой руды в год на Таштагольском месторождении на период 2011–2020 гг. достигается путем отработки запасов руды в охранных целиках под стволы и реку Восточного и Северо-Западного участков технологией с твердеющей закладкой выработанного пространства, а также доработкой свободных от целиков запасов руды на участке Восточный до гор. – 350 м и Юго-Восточный системой разработки с обрушением руды. При этом прибыль составила более 7800 млн руб. (рис. 12).

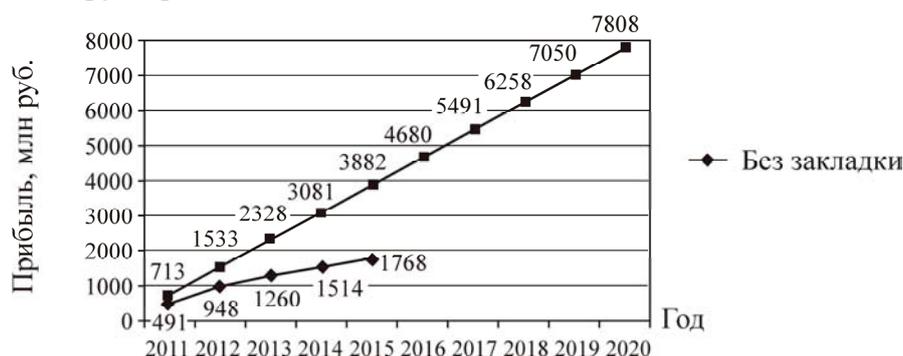


Рис. 12. Прибыль от реализации вторичного концентрата с нарастающим итогом, млн руб.

Научно обоснованы и разработаны варианты схем подготовки глубоких горизонтов при циклично-поточной технологии, включающие совмещение процессов выпуска, доставки, дробления и транспортирования руды. Поточность выпуска руды на подземных горных работах осуществляется при условии свободного выпуска руды, применения для доставки руды конвейерного транспорта, использования на концентрационном горизонте непрерывной погрузки и разгрузки руды или магистральных конвейеров, что позволяет обеспечить интенсификацию горных работ за счет рационального распределения грузопотоков и совмещения во времени основных процессов со снижением объема горно-капитальных и подготовительных работ в 1.3–1.5 раза (рис. 13) [6].

Разработаны и реализованы варианты выемки запасов Юго-Восточного участка в слепом рудном теле Таштагольского месторождения. Особенностью технологии является отработка блоков, которые разделяются на секции на трех горизонтах с созданием компенсационных камер и перепускных щелей, встречной взрывной отбойкой на компенсационные камеры с частичным магазинированием и последующим перепуском руды на концентрационный горизонт (рис. 14).

Создан и реализован технологический регламент варианта одностадийной системы разработки этажного обрушения с отбойкой слоями скважинными зарядами ВВ увеличенного диаметра на зажатую среду на Абаканском филиале ОАО «Евразруда» (рис. 15). Отработка блоков по этому варианту геотехнологии позволила улучшить качество дробления горной массы с увеличением производительности труда на выпуске руды в 1.2–1.3 раза, снизить объем подготовительно-восстановительных работ в 1.3–1.5 раза и динамическое воздействие на вмещающий породный массив.

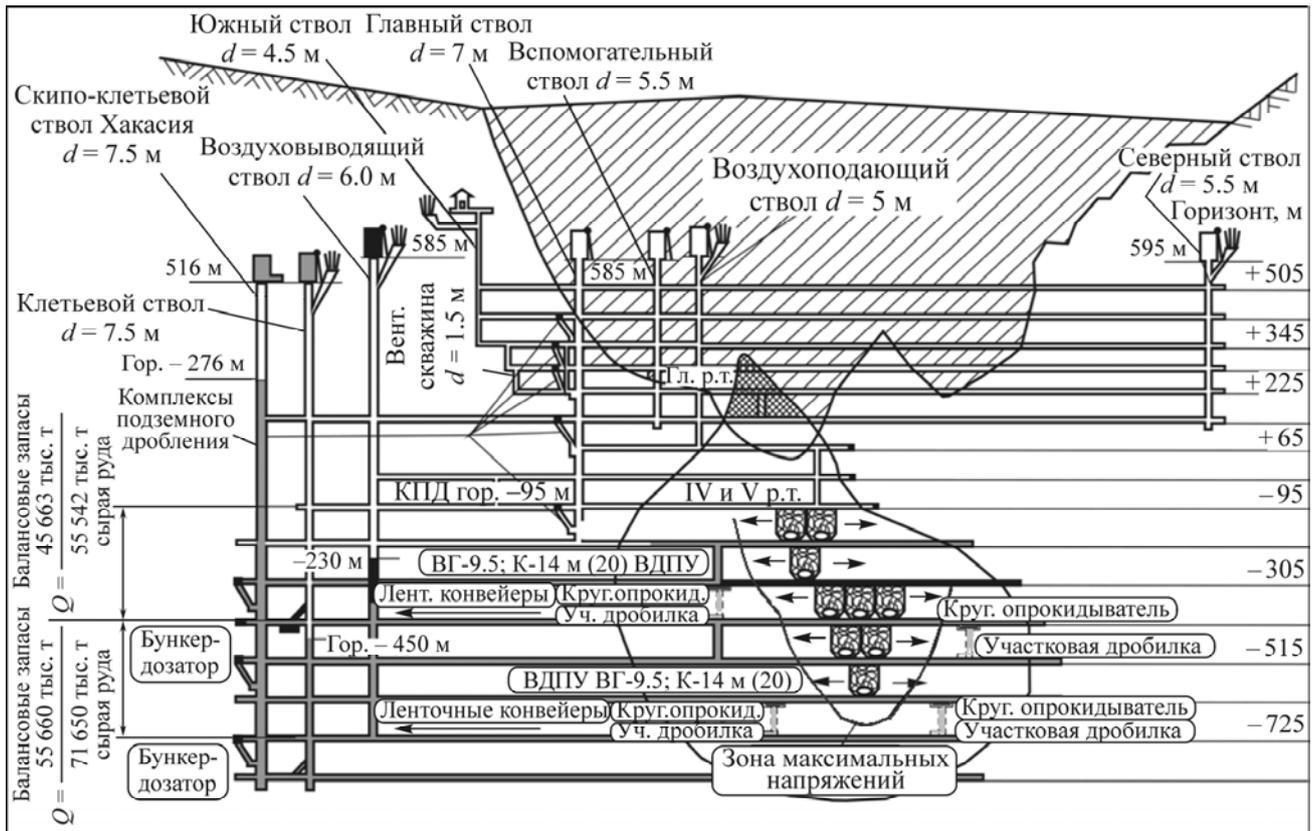


Рис. 13. Технологическая схема обработки месторождения на глубине 700 – 1500 м

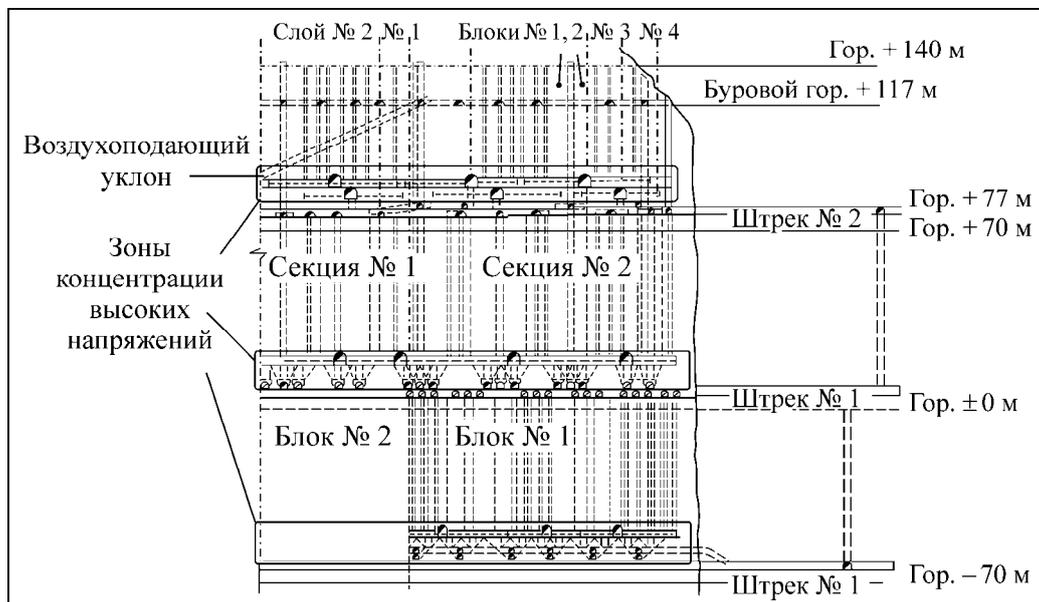


Рис. 14. Технология выемки слепого рудного тела Юго-Восточного участка Таштагольского месторождения

Установлены новые конструктивные параметры геотехнологии, включающие подготовку камер круглой формы в блоках больших объемов (более 25 тыс. м³) вкrest простирания рудных тел, которые позволяют повысить интенсивность очистной выемки и безопасность за счет снижения в 1.2 – 1.3 раза протяженности подготовительно-нарезных работ (рис. 16).

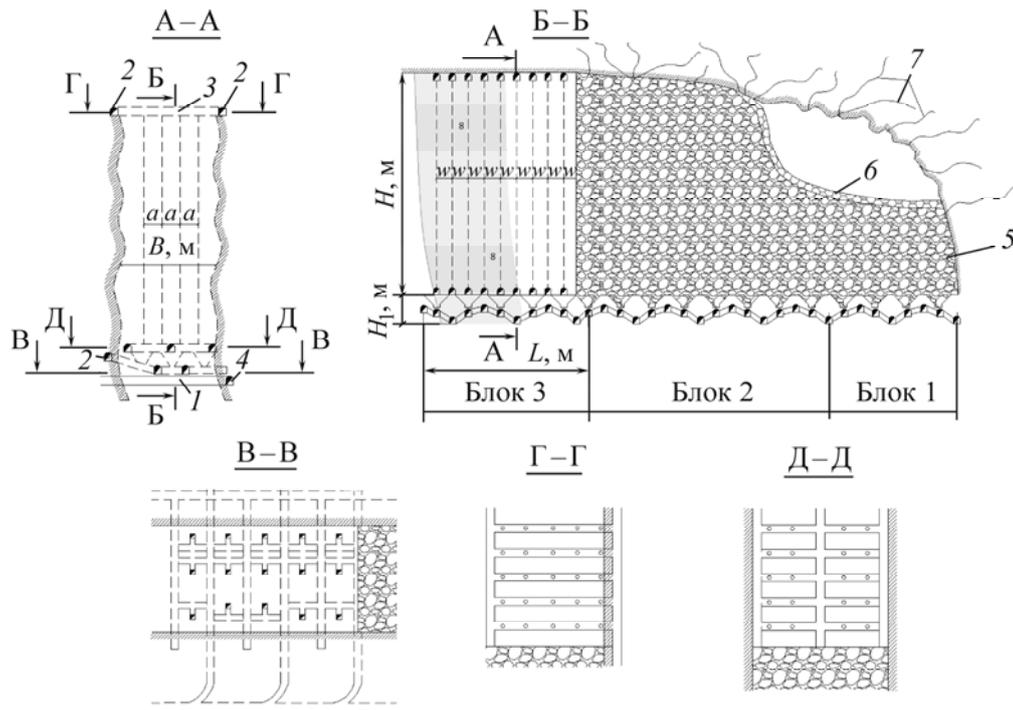


Рис. 15. Схема одностадийной системы разработки этажного обрушения с отбойкой руды слоями скважинами $\varnothing 250$ мм на зажатую среду: 1 — орт; 2 — штрек; 3 — буровой орт; 4 — полевой штрек; 5 — отбитая руда; 6 — обрушенные горные породы и бедные руды; 7 — техногенная трещиноватость; 8 — зона предельного состояния массива горных пород; H — высота блока, м; H_1 — высота днища, м; B — ширина блока, м; L — длина блока, м; w — линия наименьшего сопротивления; a — расстояние между скважинами в ряду

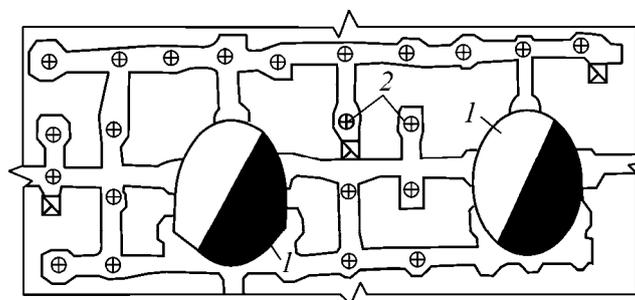


Рис. 16. Расположение компенсационных камер в технологическом блоке: 1 — камеры; 2 — пучки сближенных скважин

Разработан и реализован вариант системы разработки, позволяющий повысить безопасность и эффективность горных работ в условиях отработки удароопасных месторождений в Горной Шории. Сущность данного способа заключается в том, что до проведения комплекса выработок в днище блока взрывают основной массив блока на зажатую среду и компенсационные камеры (рис. 17) [7].

На основе установленных закономерностей перераспределения главных нормальных напряжений в массиве горных пород вне и в зоне очистных работ, выявленных категорий устойчивости горных пород на удароопасном железорудном месторождении разработана и реализована методика определения параметров комбинированных облегченных крепей для горных выработок, включающая следующие виды крепей: набрызг-бетон, набрызг-бетон – анкеры и набрызг-

бетон – анкеры – сетка (табл. 2). Показано, что рассмотренные виды крепей, соответствующие горно-геологическим условиям месторождения, являются надежным средством поддержания выработок на участках, опасных по горным ударам [11]. Достигнуто снижение объема нарезных работ в 1.25 раза и удельного расхода ВВ в 1.2 раза.

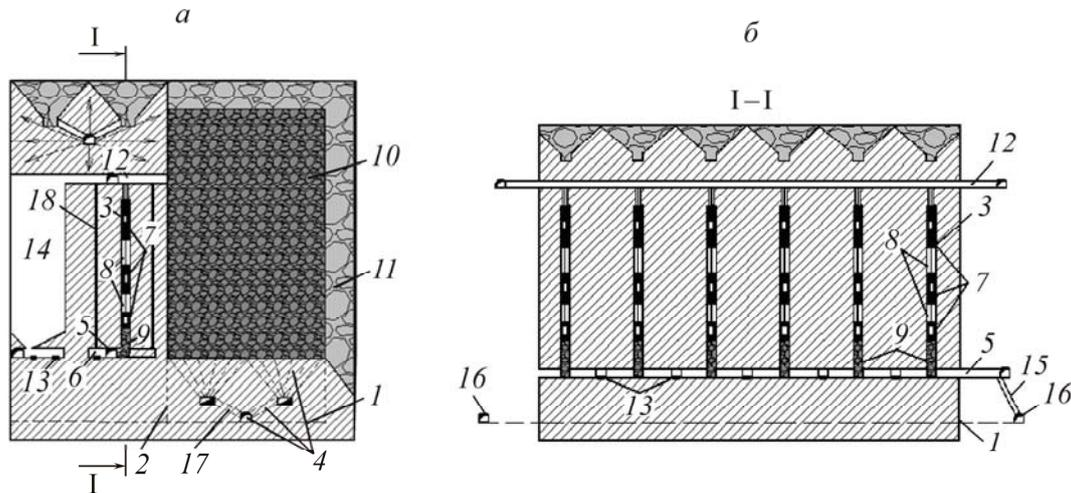


Рис. 17. Схема отработки блока вкрест простирания (а) и по простиранию рудного тела (б): 1 — транспортный горизонт; 2 — граница блока; 3 — восстающая выработка; 4 — днище блока; 5 — горизонтальная минная выработка; 6 — заходки (колодцы); 7 — ВКЗ; 8 — инертные промежутки; 9 — забойка; 10 — отбитая руда; 11 — зажатая среда; 12 — буровой штрек; 13 — минные заряды; 14 — компенсационная камера; 15 — рудоспуски; 16 — транспортный штрек; 17 — доставочные выработки (ВДПУ); 18 — пучки параллельно-сближенных скважин $\varnothing = 105$ мм или $\varnothing = 250$ мм

ТАБЛИЦА 2. Категории устойчивости и рекомендуемые виды крепей для условий горнорудных предприятий ОАО “Евразруда”

Степень устойчивости	Категория устойчивости	Коэффициент устойчивости	Допустимое время обнажения	Рекомендуемый вид крепи
Весьма устойчивые	1	> 1	Не ограничено	Набрызг-бетон; без крепи
Устойчивые	2	$1 - 0.65$	До 30 сут	Набрызг-бетон – анкеры; набрызг-бетон – анкеры – сетка
Средней устойчивости	3	$0.65 - 0.45$	До 10 сут	Набрызг-бетон – анкеры – сетка; металлическая арочная
Неустойчивые	4	< 0.45	Не более 1 сут	Набрызг-бетон – анкеры – сетка – набрызг-бетон; металлическая арочная

Впервые разработаны рациональные параметры технологии освоения запасов богатых руд в предохранительных целиках под промышленными и водными объектами, учитывающие сочетание систем разработки и их конструктивных элементов, порядок выемки, распределение зон концентрации напряжений и динамических явлений на удароопасных месторождениях (рис. 18, 19) [7, 12, 13].

Разработана инструкция по нормированию потерь руды в эксплуатационных блоках подземных рудников Горной Шории и Хакасии на основе учета горно-геологических, горнотехнических условий, экономического сравнения технически возможных вариантов отработки камер, целиков и блоков, позволяющая на разных стадиях технологического процесса добычи снизить потери руды на 2–3 % (рис. 20).

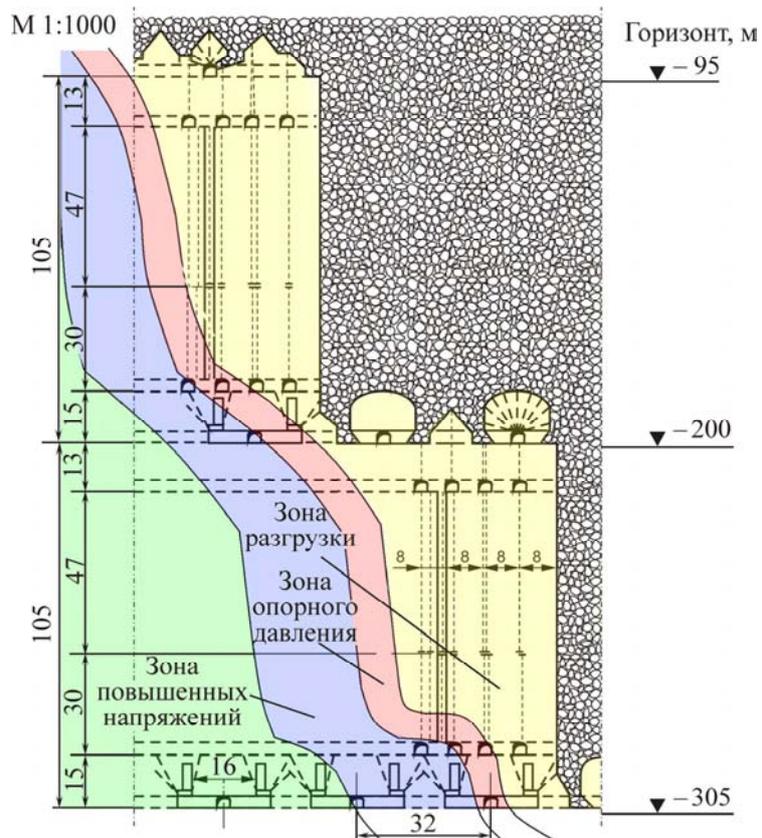


Рис. 18. Вариант системы разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды на зажатую среду в условиях высоких напряжений

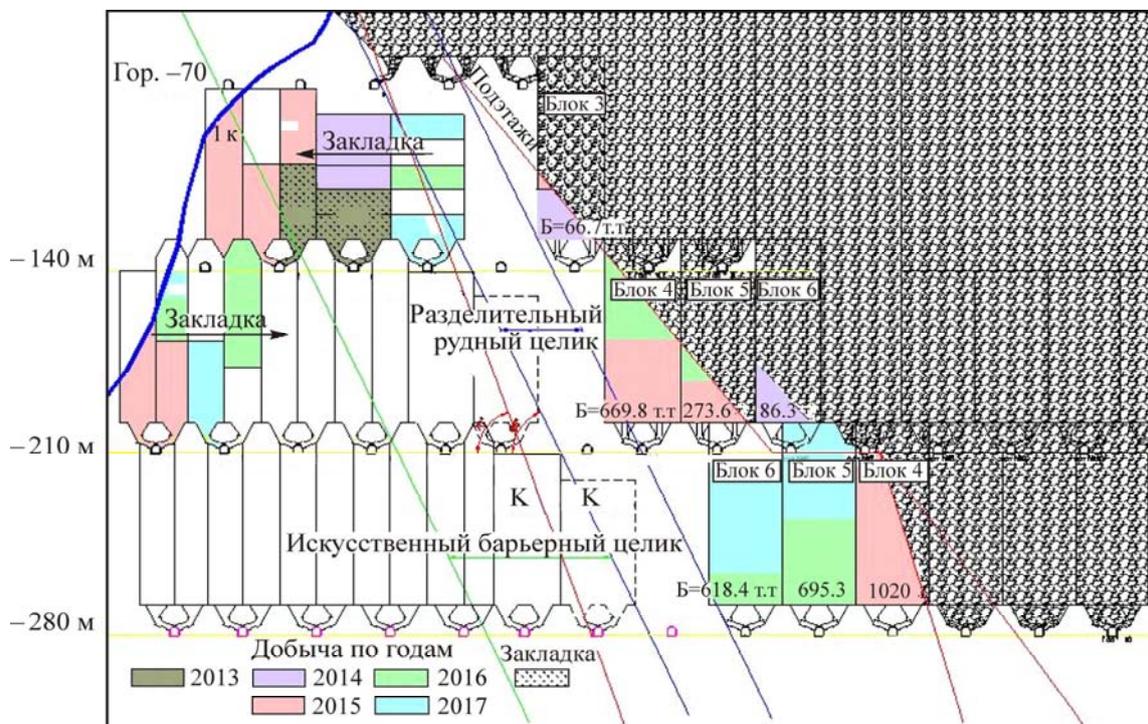


Рис. 19. Технологическая схема отработки предохранительного целика под реку на удароопасном месторождении: К — камеры по простиранию



Рис. 20. Классификация потерь полезного ископаемого для условий рудников Горной Шории и Хакасии

Разработан и обоснован вариант геотехнологии на Ждановском полиметаллическом месторождении (Кольский полуостров), включающий массовое обрушение рудных запасов блоков на всю высоту этажа со взрывной отбойкой на компенсационные камеры и зажатую среду, позволяющий повысить безопасность и эффективность очистных работ (рис. 21) [14].

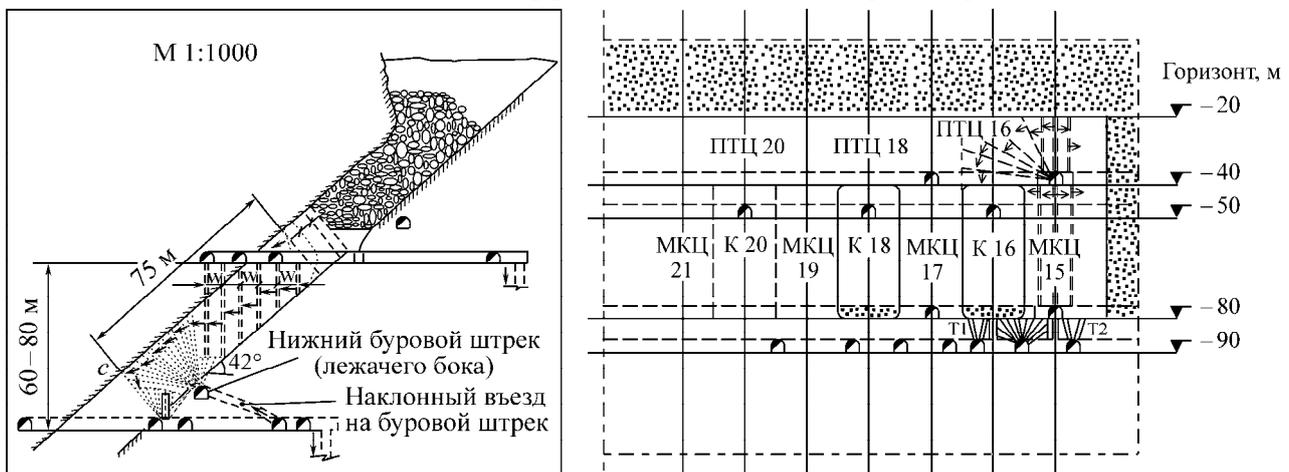


Рис. 21. Вариант этажно-камерной системы разработки со взрыводоставкой: ПТЦ — потолочный целик; МКЦ — междуканнерный целик

Разработан технологический регламент и предложен рациональный вариант камерной системы разработки для трубки “Удачная” (Якутия), позволяющий сочетать элементы открытых и подземных работ, возможность использования горных выработок из карьера или из шахты в карьер, сократить сроки строительства подземного рудника и вести в переходной зоне подготовительные, нарезные и частично очистные работы с последующим вводом в эксплуатацию стволов и квершлагов (рис. 22).

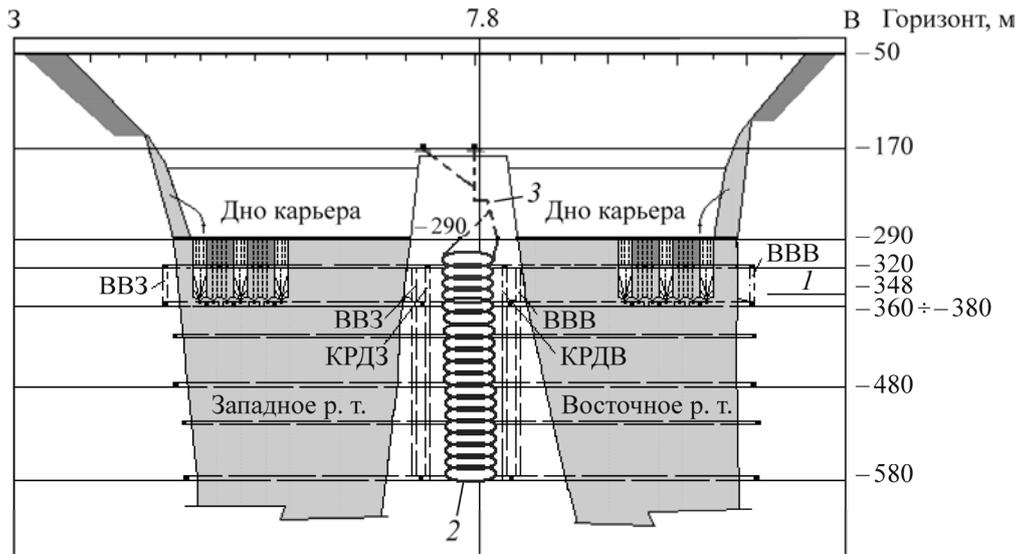


Рис. 22. Схема выемки рудных тел камерно-целиковой системой разработки с обрушением прибортовых запасов руды в карьере: ВВЗ — вентиляционный восстающий западный; ВВВ — вентиляционный восстающий восточный; КРДЗ — капитальный рудоспуск западный; КРДВ — капитальный рудоспуск восточный; 1 — предохранительная подушка; 2 — спиральный съезд; 3 — наклонный съезд

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

На современном этапе развития горнодобывающей промышленности буровзрывные работы должны гарантировать дробление массива с получением кусков горной массы заданных размеров. Решение этой проблемы невозможно без постановки исследований, направленных на повышение КПД использования энергии взрыва при одновременном получении больших объемов горной массы с такой степенью дробления, которая во многом определяла бы результаты работы всего технологического цикла, полноту извлечения полезных ископаемых из недр, эффективность добычи. При переходе горных работ на глубины 600–1000 м и ниже условия эксплуатации железорудных месторождений Сибири в Горной Шории и Хакасии резко ухудшаются ввиду проявления горного давления в динамической форме.

Создание новых геотехнологий с более совершенными методами разрушения крепких руд при подземной добыче является стратегическим направлением в повышении эффективности работы горных предприятий. В связи с этим разработаны, всесторонне исследованы и реализованы новые технологии ведения взрывных работ с существенным увеличением масштабов взрывной подготовки горного массива к выемке. В новых технологиях опробованы различные масштабы увеличения объемов взрывания, вплоть до использования варианта, при котором одним массовым взрывом подготавливается к последующей выемке полугодовой объем добычи горной массы на руднике.

Увеличение масштабов взрывов потребовало решения ряда принципиальных задач управления процессами перехода энергии взрывчатого вещества к окружающему массиву. В разработанных технологиях использован новый принцип расчета зарядов при крупномасштабной отбойке. Он основан на учете масштабного эффекта, под которым понимается нелинейность связи между геометрическими и энергетическими параметрами отбойки, обеспечивающими одинаковую степень дробления горной массы.

Установлен механизм разрушения горных пород при взрывании сближенными, параллельно-сближенными и вертикальными концентрированными зарядами ВВ (ВКЗ) в условиях напряженного состояния массива, основанный на геометрическом подобии размеров зарядов ВВ, а также величин и формы зон разрушения, учитывающий критерии масштабности отбойки (рис. 23, 24). Показано, что с учетом влияния масштабности взрыва и формы отбиваемого массива удельный расход ВВ определяется по формуле [15]

$$q_{\text{ВКЗ}} = K_m K_\phi q_n,$$

где $K_m = (W_{\text{ВКЗ}} / W_n)^2$ — коэффициент масштабности, $W_{\text{ВКЗ}}$ — ЛНС концентрированных зарядов, W_n — ЛНС пучковых скважинных зарядов; $K_\phi = S_1 p / S^1 p = 0.25 - 3.0$ — коэффициент формы отбиваемого массива, $S_1 p$ — площадь зоны предельных растягивающих напряжений при отбойке на одну свободную поверхность, $S^1 p$ — площадь зоны растягивающих напряжений при наличии свободных поверхностей вокруг заряда; q_n — удельный расход ВВ для условий железорудных месторождений.

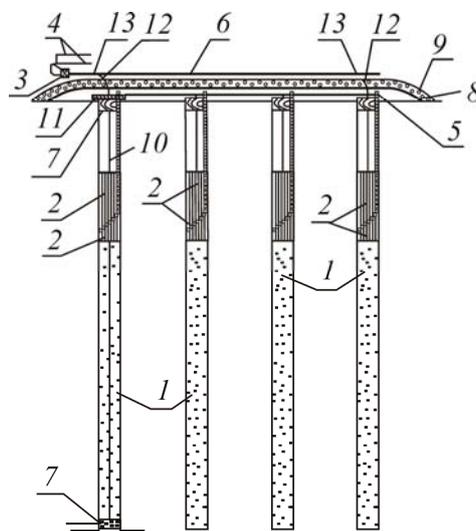


Рис. 23. Конструкция параллельно-сближенных зарядов ВВ: 1 — гранулированное ВВ; 2 — патрон-боевик; 3 — электродетонатор; 4 — магистральный провод; 5 — кольцо из ДШ; 6 — магистраль ДШ; 7 — деревянная пробка; 8 — бумага; 9 — буровой шлам; 10 — шпагат для удержания пробки или патрона; 11 — заряд ВВ 500 мм; 12 — СИВ-Ш; 13 — изоляционная лента

Разработана Mass Project программа расчета параметров буровзрывных работ, написанная в среде визуального программирования Borland Delphi7, включающая определение геологической характеристики блока, массы зарядов ВВ, тип ВВ, сетку расположения скважин, предполагаемую крупность дробления горной массы, величину безопасного расстояния и др.

Предложен механизм действия зарядов ВВ, который позволил разработать рациональные параметры буровзрывных работ в условиях массовой отбойки руд на месторождениях с обеспечением снижения энергоемкости разрушения, интенсивность сейсмических и динамических явлений [16].

Разработаны новые схемы расположения, взрывания и конструкции ВКЗ и параллельно-сближенных зарядов увеличенного диаметра на зажатую среду и компенсационные камеры при соотношении массы ВВ 1 : 3 и удельным расходом ВВ на отбойку 0.5–0.6 кг/т со снижением объема нарезных выработок в 1.25 раза, бурения скважин в 1.3 раза и удельного расхода ВВ в 1.2 раза (рис. 25).

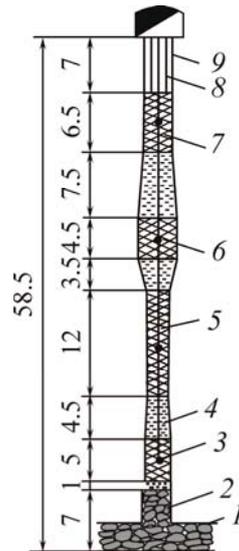


Рис. 24. Конструкция вертикального концентрированного заряда: 1 — плоская подсечка; 2 — породная забойка; 3 — восстающая выработка; 4 — инертный промежуток; 5 — взрывчатое вещество; 6 — промежуточный детонатор; 7 — детонирующий шнур; 8 — коммутационные и зарядные скважины; 9 — породный целик

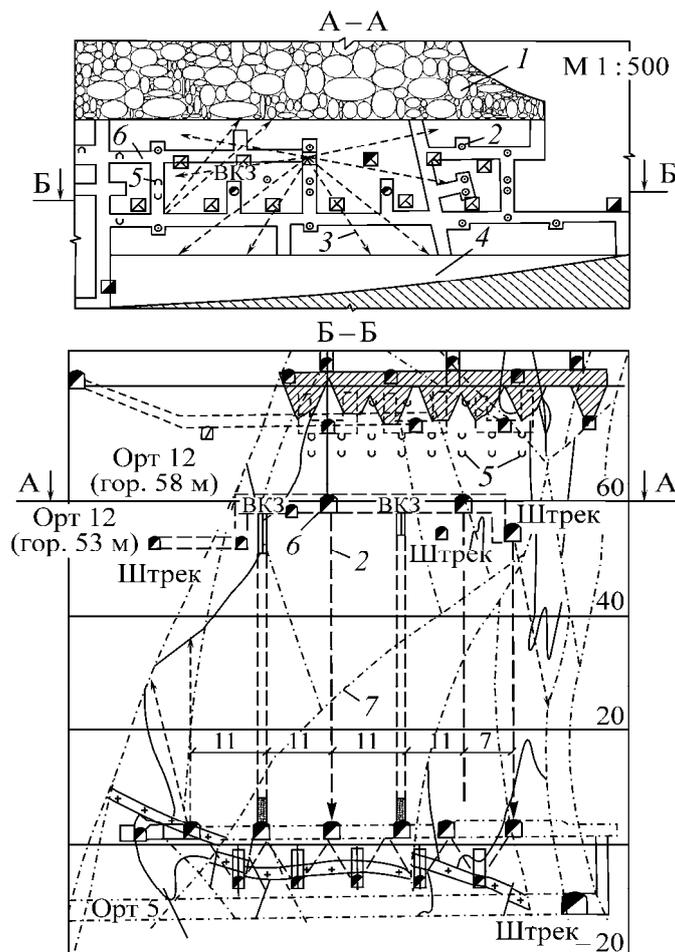


Рис. 25. Схема расположения зарядов ВВ в технологическом блоке: 1 — зажатая среда; 2 — скважины диаметром 250 мм; 3 — наклонные скважины; 4 — компенсационная камера; 5 — пучки сближенных скважин; 6 — буровая выработка; 7 — геологические нарушения; -20 ÷ 60 — подэтажи; 7, 11 — расстояние между зарядами ВВ, м

Проведены экспериментальные исследования техногенной сейсмичности, возникающей при выполнении технологических взрывов в процессе разработки удароопасных железорудных месторождений. Установлено, что амплитуда сейсмической волны при короткозамедленном взрывании определяется максимальной массой ВВ, взрываемой мгновенно, или наибольшей массой ВВ в группе. Определена амплитуда продольных волн от взрывов в условиях удароопасного месторождения, которая описывается зависимостью [17] $V_p = 3500 (\sqrt[3]{Q/l})^{1.5}$, где Q — наибольшая масса заряда ВВ в группе; l — эпицентральное расстояние. На основе полученных данных разработано техническое задание на создание автоматизированной системы непрерывного контроля напряженного состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений на месторождениях Горной Шории.

Экономическая эффективность от внедрения взрывных технологий на подземных железорудных предприятиях Горной Шории и Хакасии составила более 700 млн руб., а объем добычи руды превысил 100 млн т.

ВЫВОДЫ

Основным направлением решения рассматриваемой проблемы является создание эффективной геотехнологии с комплексом машин, обеспечивающих поточность и повышающих производительность труда в условиях роста глубины разработки месторождений на подземных рудниках, сопровождающегося увеличением напряжений в массиве, горными ударами и соответственно усилением применения горной техники и безопасной технологии очистных работ.

Опыт разработки технологии освоения рудных месторождений позволит обеспечить развитие научно-технического и технологического горнодобывающего комплекса с увеличением полноты добычи качественной руды, а также социально ориентированное устойчивое и безопасное производство на основе реализации инновационных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области. — Новосибирск: Наука, 2009.
2. Серяков А. В. Влияние массовых взрывов на распределение динамических явлений и афтершоков Кочуринского землетрясения в Горной Шории: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2006.
3. Серяков В. М., Волченко Г. Н. Перераспределение напряжений в рудном блоке при отбойке // ФТПРПИ. — 2003. — № 1.
4. Серяков В. М. Расчет развития зон обрушений в налегающих породах при отработке рудных месторождений Горной Шории // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010.
5. Еременко А. А., Клишин В. И., Еременко В. А., Филатов В. Н. Обоснование геотехнологии освоения подкарьерных запасов трубки “Удачная” // ФТПРПИ. — 2008. — № 3.
6. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Совершенствование геотехнологии освоения железорудных удароопасных месторождений в условиях действия природных и техногенных факторов. — Новосибирск: Наука, 2008.

7. **Еременко В. А.** Обоснование параметров геотехнологии освоения удароопасных железорудных месторождений Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011.
8. **Еременко А. А., Еременко В. А., Ерусланов А. П.** Отработка глубоких горизонтов железорудных месторождений в условиях формирования зон концентрации напряжений и динамических явлений // ГИАБ. — 2013. — № 8.
9. **Еременко А. А., Еременко В. А., Щетинин Е. В., Шултаев С. К.** Опыт проведения массового взрыва с применением параллельно-сближенных зарядов ВВ увеличенного диаметра // Горн. журн. — 2013. — № 3.
10. **Еременко А. А., Еременко В. А., Доев Р. А., Коврыгин О. А.** Исследование геомеханического состояния породного массива при выемке полиметаллических руд системой разработки с закладкой // ГИАБ. — 2013. — № 7.
11. **Еременко А. А., Федоренко А. И., Копытов А. И.** Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений. — Новосибирск: Наука, 2008.
12. **Еременко А. А., Еременко В. А., Башков В. И., Александров А. Н., Татарников Б. Б.** Опыт отработки камеры с закладкой выработанного пространства на Таштагольском месторождении // ГИАБ. — 2013. — № 10.
13. **Еременко А. А., Еременко В. А., Александров А. Н., Колтышев В. Н., Штирц В. А., Шипеев О. В., Щептев Е. Н., Беляев В. С.** Экспериментальные исследования по уменьшению последствий динамических явлений на рудных месторождениях, опасных по горным ударам // ГИАБ. — 2013. — № 10.
14. **Еременко А. А., Еременко В. А., Потапов Е. В., Павлов Д. А. и др.** Геомеханическая оценка состояния массива при ведении горных работ на Ждановском месторождении подземным способом // ГИАБ. — 2010. — № 11.
15. **Викторов С. Д., Еременко А. А., Закалинский В. М. и др.** Технология крупномасштабной взрывной отбойки на удароопасных рудных месторождениях Сибири. — Новосибирск: Наука, 2005.
16. **Еременко А. А.** Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 2013.
17. **Еременко А. А., Куликов В. И., Гончаров А. И., Шултаев С. К.** Технология отработки слепого рудного тела на Шерегешевском месторождении // ГИАБ. — 2012. — № 4.

Поступила в редакцию 21/VI 2014