© О.З. Габараев, Н.А. Сабанов, А.В. Логачев, О.В. Петрова, А.Х. Ногаев, 2008

УДК 622.227

О.З. Габараев, Н.А. Сабанов, А.В. Логачев, О.В. Петрова, А.Х. Ногаев

ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОДРАБОТАННЫХ ВКРАПЛЕННЫХ РУД

Опыт отработки вкрапленных руд на руднике «Комсомольский» показывает, что в результате первоочередной выемки богатых руд подработанная кровля имеет весьма неравномерное распределение напряжений и деформаций. Это создает условия для неравномерного распределения опорного давления и деформаций оседания разрабатываемого массива впереди очистного фронта. При неуправляемом поведении толщи налегающих пород это может приводить к трудно прогнозируемым последствиям, в первую очередь в зоне очистных работ при выемке подработанных руд. В этих условиях оптимальны технологии, которые обеспечивают надежную устойчивость подработанного рудовмещающего массива при минимальных затратах на производство очистных работ, независимо от нарушенности и глубины ведения работ.

Для инженерно-геологического районирования месторождения в поле рудника проведены комплексные исследования, которые показали, что подработанный массив вкрапленных руд необходимо рассматривать как дискретную среду, сложенную блоками по меньшей мере пяти порядков, отличающимися размерами, геометрией, сцеплением по границам раздела и характером напряженного состояния блоков; деформационные процессы протекающие в ранее заложенном пространстве увеличивают трещиноватость массива вкрапленных руд, тем самым снижая прочность массива; вблизи подработанного пространства и тектонических нарушений существуют области пониженных прочностных и упругих характеристик, в которых прочность рудного массива в 2-5 раз ниже, а модуль упругости в 2-3 раза меньше, чем в центральных частях блоков.

В пределах рассматриваемого поля извлекаются запасы подстилающей залежи сплошных руд, залегающей на глубине 550-600 м. Выемка производится системами с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, прочностью 4-6 МПа.

Пролет подработки залежи очистными работами по сплошным рудам составил более 600 м. С увеличением пролета подработки расширяется зона максимальных смещений, в которой продолжаются определяемые временем оседания кровли. Сдвижения достигли поверхности и величина их здесь растет. Наибольшим деформациям подвержены породы в интервале до 40-60 м от кровли сплошных руд. Такое деформирование способствует развитию в рудном массиве растягиваю-

Таблица 1

Распределение напряжений над зоной очистных работ

Параметры напряжений, МПа	**Удаление от центра отработки залежей, м**						
	в левую сторону от линии простирания						
	100	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**
Горизонтальная составляющая							
а) исходное состояние	15,2	15,7	15,9	16,0	16,0	16,0	16,0
б)в процессе работ	19,0	18,7	18,0	17,5	17,0	16,5	16,1
Вертикальная составляющая							
а) исходное состояние	16,6	16,2	16,0	15,3	14,8	14,7	14,7
б) в процессе работ	27,9	22,2	18,6	17,0	16,0	14,9	14,4
	в правую сторону от линии простирания						
	100	200	300	400	500	600	700
Горизонтальная составляющая							
а) исходное состояние	14,5	14,0	13,8	13,6	13,5	13,4	13,3
б) в процессе работ	8,0	5,1	12,8	16,0	15,0	14,1	13,8
Вертикальная составляющая							
а) исходное состояние	17,7	18,2	18,6	18,9	18,8	19,4	20,0
б) в процессе работ	5,0	4,0	18,0	29,4	22,5	21,9	21,9

щих по горизонтали напряжений, что заметно снижает устойчивость рудных обнажений.

Определение параметров поля напряжений выполнялось численным моделированием методом конечных элементов. Для оценки достоверности численного анализа использовались данные наблюдений ВНИМИ за сдвижениями подработанного массива и результаты определения давления в закладочном массиве.

На рис. 1 представлены расчетные эпюры напряжений в закладочном массиве при пролетах подработки вкрапленных руд, соответственно, 350, 450 и 600 м.

Давление в центральной части закладочного массива при пролете отработки сплошных руд 600 м составляет 10,7-11,4 МПа. Закладочный массив начинает воспринимать нагрузку на расстоянии 40-50 м от очистного фронта, что согласуется с данными натурных наблюдений.

Напряженно-деформированное состояние подработанного массива, которое сформировалось в результате отработки залежи богатых руд, представлено в табл. 1.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что давление в центральной части подработанной зоны происходит уменьшение напряжений, на границе отработки залежи богатых руд значительно возрастают вертикальная и горизонтальная компоненты напряжений.

Исследования показали, что в условиях выемки подработанной залежи перераспределение напряжений, вызванное расширением выработанного пространства, будет сопровождаться в первую очередь оседанием разрабатываемого массива впереди очистного фронта за счет податливости слоя закладки в почве. Величина оседания с максимумом у линии забоя определится компрессионной характеристикой закладочного массива и мощностью его, а па-

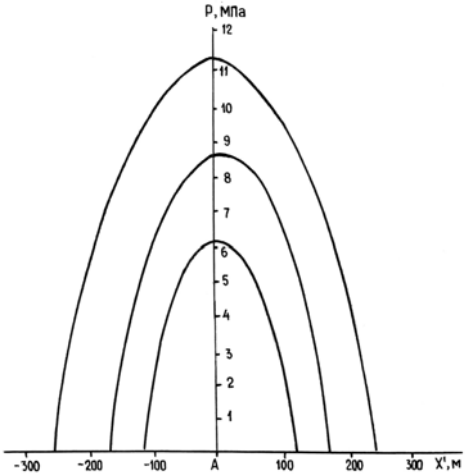


Рис. 1. Расчетные эпюры давления на закладку при различных пролетах отработки сплошных руд: *1* – пролет 350 м; *2* – 450 м; *3* – 600 м.

раметры перегиба – деформационными свойствами налегающей толщи.

Напряженное состояние массива горных пород в зависимости от поддерживающих свойств закладочных материалов исследовано на моделях из оптически-активных материалов методом фотоупругости. Изготовлены три серии моделей, различающихся состоянием пустот.

Таблица 2

Параметры напряжений при отработке моделей, МПа

Модель	Левая сторона		Правая сторона	
	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y
I,1	5,1	3,1	5,0	2,9
I,2	6,8	6,0	5,9	4,5
II,1	2,0	1,8	2,2	1,9
II,2	4,5	3,5	3,6	2,6
II,3	1,8	1,4	1,7	1,3
II,4	3,4	2,9	2,9	1,8
II,5	1,7	1,22	1,7	1,3
II,6	3,6	2,6	2,9	2,2
III,1	3,1	2,5	3,1	2,4
III,2	4,4	3,6	4,0	3,2
III,3	2,8	2,1	2,7	2,2
III,4	4,0	3,2	3,4	2,6

В первой серии пустоты оставили незаполненными, во второй пустоты заполнены разно-прочными смесями, в третьей - комбинированно с вариантами опережающего заполнения малопрочной и прочной закладкой.

На основе сопоставления параметров напряжений в структурно нарушенной и в однородной моделях проведена оценка влияния зоны подработки на характер распределения и величину напряжений.

Динамика изменения напряжений в элементах геомеханической системы представлена в табл. 2.

Результаты моделирования на эквивалентных материалах показали, что напряженное состояние массива существенно различается в зависимости от степени его нарушенности и состояния пустот, в зависимости от этих факторов границы изменения величины напряжений довольно широки: от 1,22 до 6,8 МПа; наиболее безопасны варианты с заполнением пустот прочным материалом, варианты заполнения только прочным или комбинированным по прочности материалом различаются несущественно, что позволяет расценивать закладку разнопрочными составами как потенциальный способ управления напряженно-деформированным состоянием рудовмещающих массивов в зоне подработки.

При заполнении выработанного пространства закладкой, массив начинает работать как несущий конструктивный элемент геомеханической системы и находится в условиях объемного сжатия. Поддерживающий эффект искусственного массива развивается постепенно по мере того, как горные породы деформи-

Таблица 3

Характеристика закладки нижней части камер (нормативная прочность 2 МПа)

Камера	26	27	28	30	31	32	33
Заложенный объем каме-ры, $м^3$	4509	4208	4389	4669	4501	4830	4496
Прочность образцов, МПа	4.6	5,0	5,1	5,3	5,6	6,1	5.22
Коэффициент упрочнения смеси	2,3	2,5	2,55	2,65	2,8	3,05	2,61

Таблица 4

Характеристика технологии закладки кровли камер (нормативная прочность 4 МПа)

Камера	25	27	28	30	31	32	33
Заложенный объем каме-ры,$м^3$	4509	4208	4389	4669	4501	4830	4496.
Прочность образцов, МПа	6,4	5,6	6,0	6,3	5,6	5,7	6.2
Коэффициент упрочнения смеси	1,6	1,4	1,5	1,58	1,4	1,42	1,55

руются в достаточной степени и выдавливаются в заполненное пространство.

Для установления величины упрочнения массива из твердеющей закладки при объемном сжатии проведены исследования в промышленных условиях. Качество твердеющей закладки определялось испытанием контрольных кубов в возрасте 28 суток, изготовленных из раствора, взятого на сливе смесителя и испытанием керна из массива закладки. Для определения прочности закладочного массива из-за изолирующих перемычек выбуривали керн, из которого изготовляли образцы цилиндра с высотой, близкой к диаметру, которые испытывали при одноосном сжатии. Отбор керна для определения величины упрочнения закладочного массива произведен по 7 камерам, которые были отработаны сплошной камерной системой разработки с твердеющей закладкой. Результаты исследований представлены в табл. 3 и 4.

Из табл. 3 и 4 видно, что прочность массива твердеющей закладки превышает нормативную. Приращение прочности по сравнению с нормативной обеспечивается вводом искусственных массивов из твердеющей закладки в режим объемного сжатия.

Исследования закономерностей взаимодействия разрушенных геоматериалов и рудовмещающих массивов позволили разработать технологические решения, обеспечивающие эффективное управление состоянием рудовмещающего массива при вовлечении в отработку ранее подработанных руд. Основу рекомендуемых технологий составляют высокопроизводительные варианты сплошных камерных систем разработки с наклоном стенок камер на нетронутый массив и с закладкой выработанного пространства разнопрочными составами.

В основу варианта с наклоном стенок камер на рудный массив положена зависимость размеров камер от угла наклона стенок (рис. 2).

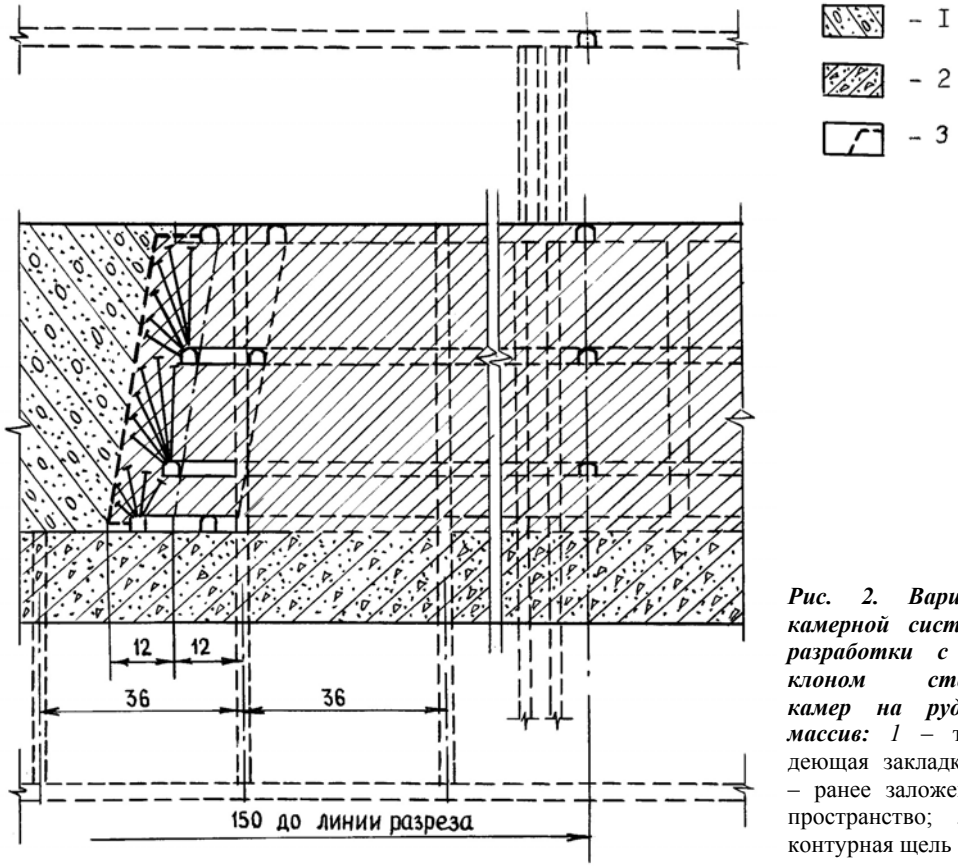


Рис. 2. Вариант камерной системы разработки с наклоном стенок камер на рудный массив: *1* – твердеющая закладка; *2* – ранее заложенное пространство; *3* – контурная щель

Наклоняя стенку на массив под углом 75-80°, увеличивают длину и высоту камеры без снижения устойчиво сти. Оконтуривание камеры по плос кости стенки и по кровле производитс: взрыванием контурных скважин. Кон турные щели длиной 15-20 м распола гают параллельно через 0,8-0,9 м по границе камеры. Щель служит экра ном, снижающим сейсмическое влия ние взрывов на стенки камер.

Сплошная разработка камер с твер деющей закладкой с наклоном стенок н: нетронутый массив позволяет повысит устойчивость массива и снизить разу боживание руды закладкой в среднем н: 2,7-4,6 %. Вариант системы разработк не нарушает условий сплошной выемки не снижает концентрацию и интенсивность очистных работ.

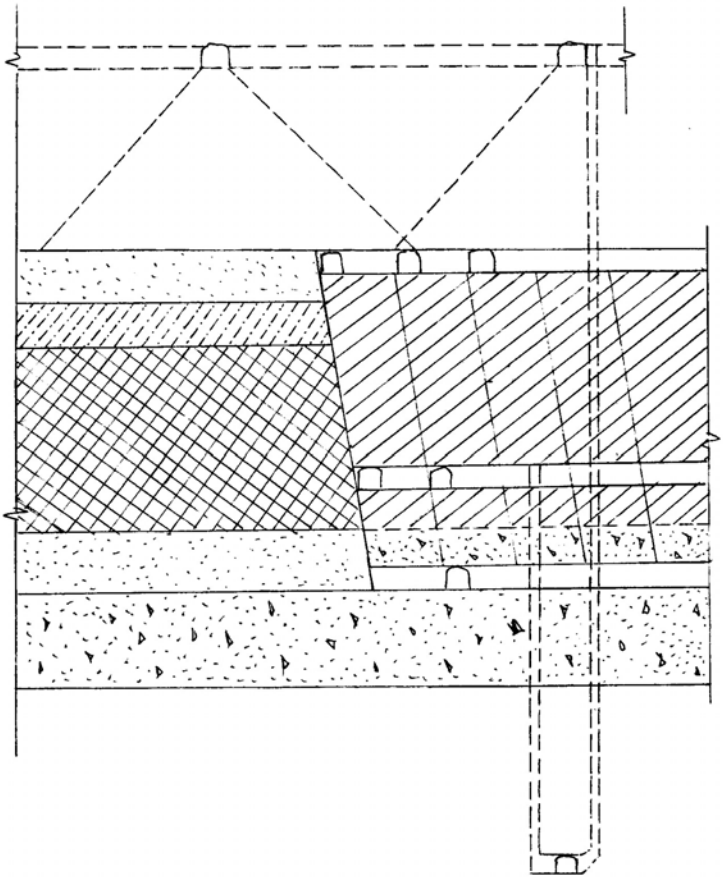
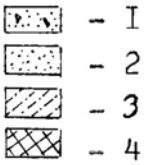


Рис. 3. Технология с погашением выработанного пространства разнопрочными закладочными смесями: *1* – ранее заложенное пространство; *2* – твердеющая – прочная закладка; *3* – твердеющая – слабопрочная закла
лопр



Очистные работы ведут с опережением выемки нижележащего подэтажа вышележащим. После отбойки и выпуска запасов подэтажей и отработки целиков днища приступают к погашению выработанного пространства. Первоначально формируют искусственный массив из твердеющей закладки в основании камер. Затем по условию обеспечения поддерживающих свойств рассчитывают параметры выработанного пространства, которое подлежит заполнению малопрочным закладочным составом. Заполнив необходимый объем камеры породой, приступают к закладке оставшейся части цементно-породной смесью. Грансостав пород подбирают с расчетом наибольшей пустотности для более эффективного проникновения песчано-цементного раствора.

Разработанная технология позволяет создавать прочные массивы в местах наибольших напряжений в приконтактной зоне и менее прочные во внутренних зонах закладочного массива.

Оценку эффективности применения рекомендуемых вариантов систем разработки с закладкой выработанного пространства производим на основе критерия удельной прибыли за расчетный период времени по общепринятой методике. Результаты сравнительной экономической оценки базовой и рекомен-

Таблица 5

Технико-экономические показатели вариантов систем разработки

Наименование показателей	Ед. изм.	сплошная камерная	рекомендуемые варианты со сплошной выемкой руды	
		базовый вариант	с наклоном стенок камер	с разно-прочной закладкой
Разубоживание руды	%	16,2	13,4	17,3
Потери руды при добыче	%	5,6	4,6	6,9
Себестоимость добычи 1т руды	руб.	1047	1024,9	914,2
Затраты на 1т металла в концентрате	руб.	101187	98195	96943
Эффективность на 1т металла	руб.		5992	7244

дуемых технологий отработки приведены в табл. 5.

Применение в опытно-промышленных условиях разработанных вариантов сплошной камерной системы обеспечило снижение затрат на закладку выработанного пространства за счет замены до 25-30 % объема твердеющей смеси на цементной основе на более дешевые низкопрочные составы, повысить интенсивности ведения очистных работ и производительности труда в среднем на 15-17 %, с сохранением качественных показателей добычи на достигнутом уровне.

Коротко об авторах

Габараев О.З. – профессор, доктор технических наук, СКГМИ (ГТУ),
Сабанов Н.А. – начальник технического отдела Таланхского рудоуправления,
Логачев А.В. – докторант, СКГМИ (ГТУ),
Петрова О.В. – аспирант, СКГМИ (ГТУ),
Ногаев Алан-Бек Хаджи-Муратович – аспирант, СКГМИ (ГТУ).

Статья представлена Северо-Кавказским горно-металлургическим институтом (Государственным технологическим университетом).