

УДК 622.273.217.4

Ю.В. Волков, И.В. Соколов

ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Показано влияние удаленности подземных выработок от карьерного пространства на показатели подземной технологии. Установлена величина коэффициента изоляции при разных способах изоляции. Предложен подход к оценке эффективности подземной технологии, учитывающий действие специфических факторов. Рассмотрен пример обоснования подземной технологии разработки подкарьерных запасов трубки «Удачная».

Ключевые слова: комбинированный способ разработки, подземная геотехнология, степень и способ изоляции, коэффициент изоляции, предохранительный слой руды.

Исчерпание потенциала открытой геотехнологии при освоении многих рудных месторождений актуализирует переход к подземному способу разработки, при этом некоторый период времени разработка ведется комбинированным способом, то есть с применением одновременно открытого и подземного способов разработки, как правило, по взаимосвязанным технологическим схемам. При этом по степени совмещения открытых (ОГР) и подземных горных работ (ПГР) во времени комбинированная разработка месторождения группируется на совместную (параллельную) и последовательную. Нужно отметить, что такое разделение достаточно условно. Анализ опыта разработки более 60-ти месторождений комбинированным способом показал, что практически на каждом месторождении реализуется совмещение открытого и подземного способа. Так, на медноколчеданных месторождениях Урала период совместной разработки составил: на Гайском – более 30 лет, Учалинском – 13 лет; Молодежном и Александринском – 1

год (табл. 1). На Сибайском месторождении был разрыв в добыче около 2 лет. На кимберлитовых месторождениях Якутии (трубки Интернациональная, Айхал, Мир, Удачная) реализуется практически «чистая» последовательная разработка.

Подземные технологии, применяемые при комбинированном способе разработки месторождений, весьма разнообразны; их выбор зависит от постоянных и переменных горно-геологических, горнотехнических, экономических и геоэкологических факторов. Определенной закономерности в применении классов систем при последовательной и параллельной разработке не обнаружено, так, доля применения систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород практически одинакова – 44 и 43 %, соответственно (табл. 2).

При последовательной разработке подземная технология (рассматриваемая в качестве объекта исследования) реализуется в условиях непосредственной близости от открытого пространства, образованного ОГР или комбинированными технологиями,

которое можно считать главным элементом внешней среды и основным формальным признаком объекта. Только близость или удаленность (изолированность) подземного блока от открытого пространства является причиной возникновения и действия на объект специфических факторов, таких как:

— потенциальная возможность использования выработок и оборудования ОГР для целей подземной технологии;

— повышенное горное давление, действующее в подкарьерной части горного массива (в конструктивных элементах подземного блока и сопряженных с ним барьерных целиках);

— высокая вероятность образования активных аэродинамических (ААС) и гидравлических связей между подземными выработками и открытым пространством карьера.

Параллельная разработка в данном контексте характеризуется значительной или достаточной удаленностью (изолированностью) подземных горных выработок от открытого пространства карьера, специфические факторы действуют в меньшей степени, что позволяет более полно реализовать преимущества подземного способа по сравнению с последовательной разработкой. Примеры совместной разработки открытым и подземным способом Гайского и Учалинского (северный фланг) месторождений свидетельствуют об этом.

Обоснование рационального варианта подземной технологии необходимо производить с учетом этих факторов, целенаправленно снижая влияние отрицательных и используя положительные. Полностью исключить влияние этих факторов не пред-

ставляется возможным, поскольку невозможно устранить порождающую их причину. Уместно заметить, что на месторождении переход от ОГР к ППР нельзя считать завершённым практически пока не будет снижено до приемлемого уровня действие отрицательных факторов, теоретически – подземные очистные выработки не приобретут устойчивый замкнутый контур поперечного сечения.

Данные выводы аргументируются результатами исследований, посвященных обоснованию комбинированной технологии разработки уральских медноколчеданных месторождений. На основании анализа отечественного и зарубежного опыта было установлено, что отработка подкарьерных блоков на многих рудниках приводила к ухудшению технико-экономических показателей (ТЭП). Было сделано предположение о связи удаленности или изолированности подземного блока от открытого пространства и изменением ТЭП его отработки. Степень изоляции оценивали качественно: высокую, среднюю и низкую. Сгруппировав случаи разработки запасов под дном карьера была исследована статистическая выборка $n = 48$ и установлена статистически значимая связь (тетракорический коэффициент сопряженности Пирсона $r_b = 0,52$, уровень значимости $\alpha = 0,05$) между степенью изоляции подземного блока от карьерного пространства и изменением ТЭП. Сделан вывод о том, что низкая и средняя степень изоляции отрицательно влияет на ТЭП его отработки.

Степень изоляции можно оценить и количественно, понимая под ней *отношение объема подземного блока извлеченного путем формирования подземных очистных выработок $V_{и}$ к*

общему объему подземного блока V . Тогда степень изоляции можно описать коэффициентом изоляции $k_{и} = V_{и}/V$. Коэффициент изоляции может изменяться от 0 до 1.

Низкая степень изоляции имеет место, когда в процессе очистной выемки весь объем выработанного пространства подземного блока становится частью общего с карьером пространства. При этом подземная очистная выработка становится по сути открытой, т.е. имеет незамкнутый контур поперечного сечения. $k_{и}$ при этом изменяется от 0,05 до 0,15 в зависимости от применяемой системы разработки. Численно он равен удельному объему подготовительно-нарезных выработок (ПНВ) $q_{пнв}$ проходимых по руде, поскольку только они проходятся с полной изоляцией.

Высокая степень изоляции отвечает случаю, когда в процессе очистной выемки весь объем подземного блока извлекается из недр посредством формирования подземной очистной выработки, имеющей замкнутый контур поперечного сечения. $k_{и}$ при этом близок, но не равен 1, в силу того, что полную изоляцию подземных выработок осуществить невозможно из-за наличия в разделяющем массиве трещин, скважин и т.д.

Очевидно, что средняя степень изоляции характеризует промежуточные случаи, например, когда выработанное пространство подземного блока отделено от карьерного пространства не устойчивым целиком (естественным или искусственным), а массивом разрыхленных руд (при системах разработки с открытым очистным пространством) или пород (при системах разработки с обрушением руды и вмещающих пород). Тогда, количественно степень изоляции можно

определить величиной некоторого объема пустот в разделительном массиве разрыхленных пород, т.е. их пустотностью $k_{п}$ или связанным с ней коэффициентом разрыхления породы $k_{р} = 1 + k_{п}$. Чем больше $k_{п}$ или $k_{р}$, тем больше аэродинамических и гидравлических связей имеется с карьерным пространством, следовательно, тем ниже уровень изоляции подземных выработок и наоборот. Известно, что для разных технологических видов разрыхленных пород $k_{р}$ изменяется от 1,2 до 2,0. Допуская, что коэффициент изоляции связан с коэффициентом разрыхления $k_{и} = f(1/k_{р})$ с учетом $q_{пнв}$ приближенно можно записать

$$k_{и} = 1/k_{р} + q_{пнв} \quad (1)$$

В данном случае $k_{и}$ может изменяться от 0,55 до 0,98.

Степени изоляции соответствует определенный способ: рудным или породным монолитным массивом; искусственным монолитным массивом; массивом руд или пород в разрыхленном состоянии; специальными инженерными сооружениями. Возможна отработка подкарьерных блоков и без изоляции.

Каждому способу изоляции можно поставить в соответствие определенный класс систем разработки (табл. 3).

От способа изоляции зависят также и показатели извлечения подземной технологии. Например, оставление рудных целиков ведет к повышенным потерям, а использование в качестве способа изоляции пустых пород в разрыхленном состоянии приводит к увеличению разубоживания.

Таким образом, можно определить $k_{и}$ как *технико-экономический показатель показывающий долю запасов подземного блока, обрабатываемых с полной изоляцией*. При оценке вариантов подземной технологии на стадии

Таблица 1

Освоение месторождений комбинированным способом

Способ освоения	Месторождение			
	Гайское	Учалинское	Молодежное	Сибайское
Открытые горные работы				
Проект, год	1958	1954	1975	1947
Начало, год	1963	1958	1981	1949
Окончание, год	1998	2006	2003	1999
Подземные горные работы				
Проект, год	1958	1986	2003	1986
Начало, год	1961	1993	2003	2002
Период совмещения, лет	35	13	1	-
Схема разработки месторождения	Параллельная	Параллельнопоследовательная	Последовательная	Последовательная

Таблица 2

Системы подземной разработки, применяемые при комбинированном способе

Система подземной разработки, %	Схема комбинированной разработки	
	Параллельная	Последовательная
Камерная с твердеющей закладкой	44	19
Горизонтальные слои с закладкой	-	10
Этажное принудительное обрушение	44	21
Подэтажное обрушение	-	22
Подэтажные штреки	-	28
Камерно-столбовая	12	-
Итого	100	100

Таблица 3

Изменение k_d при разных способах изоляции и классах систем разработки

Класс систем разработки	Способ изоляции			
	Монолитным массивом руд или пород	Специальными инженерными сооружениями	Массивом пород в разрыхленном состоянии	Без изоляции
С открытым очистным пространством	≈1,0	≈1,0	0,55- 0,98	0,05 — 0,15
С обрушением руды и пород	0,55 — 0,98	Не имеет смысла	0,55 — 0,98	0,05 — 0,15
С закладкой выработанного пространства	≈1,0	≈1,0	0,55 — 0,98	0,05 — 0,15

Таблица 4

Толщина предохранительной подушки

Факторы, определяющие необходимую толщину подушки	Горизонт выпуска			
	- 365 м	- 465 м	- 565 м	- 665 м
Действие динамического удара	17	23	26	28
Действие УВВ	25	40	55	70
Предотвращение ААС	30	45	50	55
Термоизоляция подземных выработок	30	30	30	30
Принятая толщина подушки	30	45	55	55

изыскания или проектирования, зная величину k_i и изменение эксплуатационных затрат при отработке подземных блоков под воздействием специфических факторов ΔC , достаточно легко можно выбрать наилучший вариант по показателям эффективности: извлекаемой ценности $U_{изв}$, эксплуатационным затратам на добычу без воздействия специфических факторов C (чисто подземным способом) и прибыли Pr .

$$Pr = [U_{изв} - (k_i C + (1 - k_i)(C + \Delta C))] V, \text{ руб.} \quad (2)$$

После преобразований получим

$$Pr = [U_{изв} - (C + \Delta C (1 - k_i))] V, \text{ руб.} \quad (3)$$

Величины $U_{изв}$ и C определяются по известным методикам или аналогам. ΔC можно определять по авторской методике, основанной на учете изменения себестоимости технологических процессов (проходка ПНВ, отбойка, выпуск и доставка, проветривание) под влиянием специфических факторов путем введения соответствующих коэффициентов [1].

В качестве примера можно привести обоснование подземной технологии с обрушением при последовательной разработке кимберлитового месторождения «Удачное», выполненное ИГД УрО РАН в 2008—09 г.г. При этом были рассмотрены:

Система подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды является достаточно эффективной и универсальной. Ее особенность – послойная отбойка рудного массива на обрушенную породу. Происходит подвижка слоя отбитой руды в сторону зажимающего материала и заметное уплотнение последнего (до $k_p = 1,2$). При вероятном увлажнении кимберлита и снижении его сыпучести, зона выпуска отбитого слоя резко сужается

и ограничивается зоной относительно разрыхленной руды вблизи массива. Фигура выпуска приобретает форму трубы, выходящей на поверхность разрыхленного слоя с нарушением изоляции подземных выработок. Традиционными недостатками данной технологии является нарушение торцевой части («козырька») выпускной выработки, трудность проветривания очистных забоев.

Система этажного принудительного обрушения со скважинной отбойкой достаточно больших объемов руды и площадным выпуском ее на траншейное днище позволяет сгладить эти проблемы и удовлетворить все требования безопасности:

1) Опережающее проведение основных выработок буровых подэтажей и горизонта выпуска по всей площади трубки позволяет осуществить предварительное дренирование и дегазацию запасов этажа.

2) Значительный объем массовых взрывов позволяет существенно сократить их количество и приурочить к нерабочим дням.

3) Возможность выпуска руды на больших площадях практически в любой точке днища позволяет предотвратить образование сплошного водонепроницаемого слоя (смерзшегося или заиленного), обеспечить достаточное разрыхление отбитого слоя руды ($k_p \geq 1,25$) и сохранить способность его к дренированию атмосферных осадков или подземных вод. Кроме того отработка под рудной подушкой позволяет сократить потери и разубоживание с обычных для систем с обрушением 15-25 до 5-7 %.

В условиях трубки «Удачная» при субвертикальном падении рудных тел проблема изоляции подземных выработок технологически наиболее про-

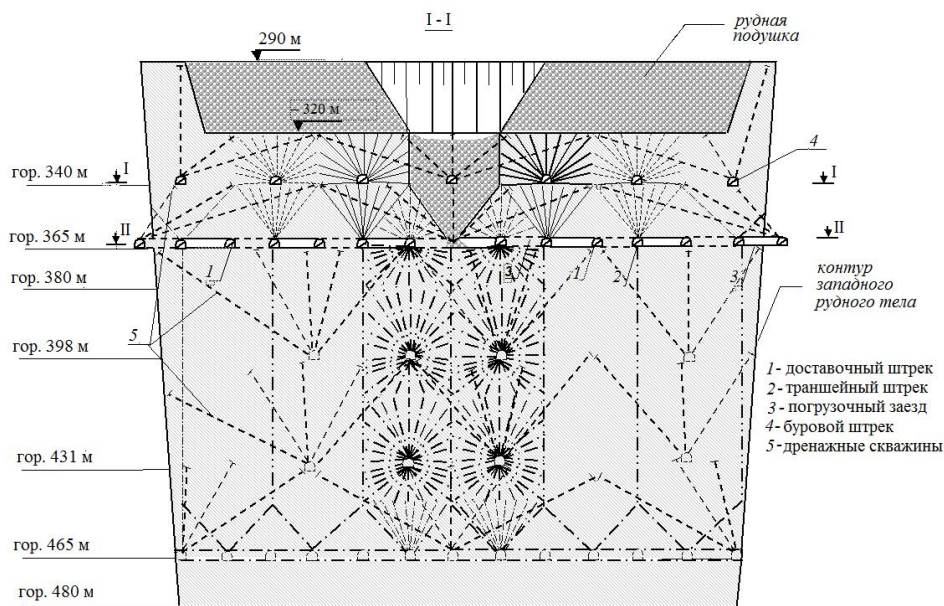


Рис. 1. Вариант этажного принудительного обрушения с одностадийной выемкой

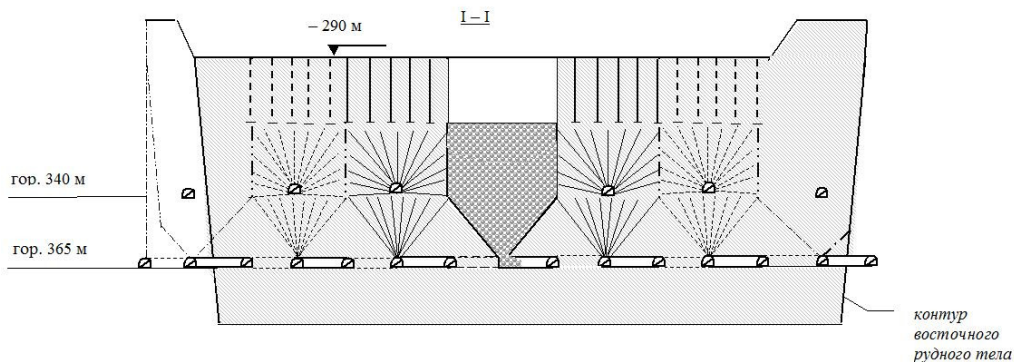


Рис. 2. Вариант этажного принудительного обрушения с использованием карьерного бурового оборудования

сто и эффективно решается путем создания предохранительного слоя («подушки») из предварительно отбитой и не выпускаемой руды.

Предохранительная подушка наряду с функцией изоляции подземного пространства должна обеспечивать и безопасность горных работ в случае внезапного обрушения вышележащих бортов карьера. Вследствие этого ее толщина определена по факторам

предотвращения ААС, динамического удара обрушивающихся пород, образовавшейся при этом ударной воздушной волны (УВВ) и термоизоляции подземных горных выработок (табл. 4). Расчеты произведены по известным методикам.

Таким образом, для отработки подкарьерных запасов трубки «Удачная» рекомендована система этажного принудительного обрушения с одно-

стадийной выемкой и отбойкой в зажатой среде под рудной предохранительной подушкой (рис. 1). Возможно использование буровых станков для ОГР при бурении верхней части подземных блоков (рис. 2).

Уточнение параметров системы разработки и предохранительной подушки предполагается выполнить в ходе опытно-промышленных работ.


Для условий рудника Удачный величина $k_{и}$ составляет 0,82 (при $k_{р} = 1,3$ и $q_{пнв} = 16 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$). Это означает, что 82 % запасов будет отработано с затратами, соответствующими подземной технологии с полной изоляцией C , а 18 % – с затратами увеличенными на ΔC под воздействием отрицательных специфических факторов. При этом относительная величина ΔC при толщине подушки, например 45 м, в соответствии с методикой [1] составляет 1,7. Общее увеличение участковой себестоимости отработки подкарьерных блоков составит около 30 %.

При обосновании подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений одним из основных является вопрос

изоляции подземных горных выработок от карьера; мероприятия по изоляции требуют достаточно больших финансовых, материальных и временных затрат, что отрицательно сказывается на ТЭП подземной разработки. Целесообразность применения систем разработки с обрушением определяется учетом действующих, в том числе специфических, факторов. Предлагаемый подход позволяет более объективно оценить эффективность технологии, своевременно на стадии изыскания или проектирования скорректировать ее в сторону уменьшения, тем самым придать большую экономическую надежность горному предприятию.

Исследования проведены в рамках Программы №14 Президиума РАН «Научные основы эффективности природопользования, развития минерально-сырьевых ресурсов, освоения новых источников природного и техногенного сырья» по проекту ИГД УрО РАН «Научное обоснование и разработка новых методов эффективного и экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений Урала».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Ю.В. Методика выбора эффективного варианта геотехнологии отработки подкарьерных запасов / Ю.В. Волков, И.В. Соколов – Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2001. — № 4. — С. 124 — 127. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Волков Юрий Владимирович — доктор технических наук, профессор, зав. лаборатории,
Соколов Игорь Владимирович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН, лаборатория подземной геотехнологии, geotech@igd.uran.ru

