

УДК 622.013.364

Ю.В. Волков, И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.В. Антипин
ОБОСНОВАНИЕ ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ
РАЗРАБОТКИ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ
И ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ЦЕЛИКА
НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО
СООТНОШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Изложены результаты исследований по обоснованию целесообразности применения рудного предохранительного целика при этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой. На основе разработанной методики определено оптимальное соотношение показателей потерь и разубоживания для условий Гайского подземного рудника.

Ключевые слова: добыча, камерная выемка, предохранительный целик.

В настоящее время на Урале осуществляется подземная разработка Гайского, Узельгинского, Учалинского, Сибайского, Молодежного и Александринского медноколчеданных месторождений. Свыше 95 % запасов осваивается по этажно-камерной системе разработки с твердеющей закладкой. Особенностью горно-геологических условий является наличие неустойчивых вмещающих пород всякого бока, которые при подработке отслаиваются и обрушаются в очистное пространство камер (рис. 1). Например, на Гайском подземном руднике в этаже 670/750 м из 49 камер 18 было отработано в неустойчивых вмещающих породах. В итоге снижается безопасность горных работ, ухудшаются показатели извлечения, эффективности добычи и обогащения.

Проектом разработки этажа 670/750 м нормативные потери (P) установлены 2,5 %, разубоживание (R) – 10,0 %. С целью достижения нормативного показателя P , зачас-

тую вынуждены идти на значительное превышение нормативного R (до 20,1 %). Следует отметить, что нормативы P и R были установлены 20 лет назад и не в полной мере соответствует современным горно-геологическим и экономическим условиям.

В результате исследований установлено, что для условий Гайского месторождения (рассматриваемого в качестве примера) наиболее приемлемым способом снижения R является применение предохранительных целиков (ПЦ). Они не допускают обнажения неустойчивых пород и обеспечивают сохранение устойчивости очистного пространства весь период отработки камеры, что позволяет существенно повысить безопасность работ и снизить R без дополнительных затрат. Недостатком этой технологии является увеличение P , определяемых размерами ПЦ. Очевидно, что технология, предусматривающая оставление ПЦ, требует технико-экономического обоснования.

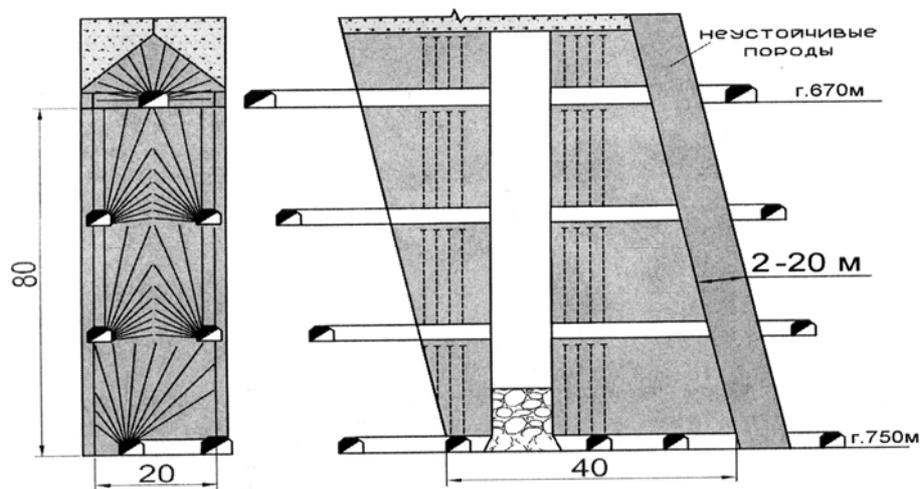


Рис. 1. Вариант этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой

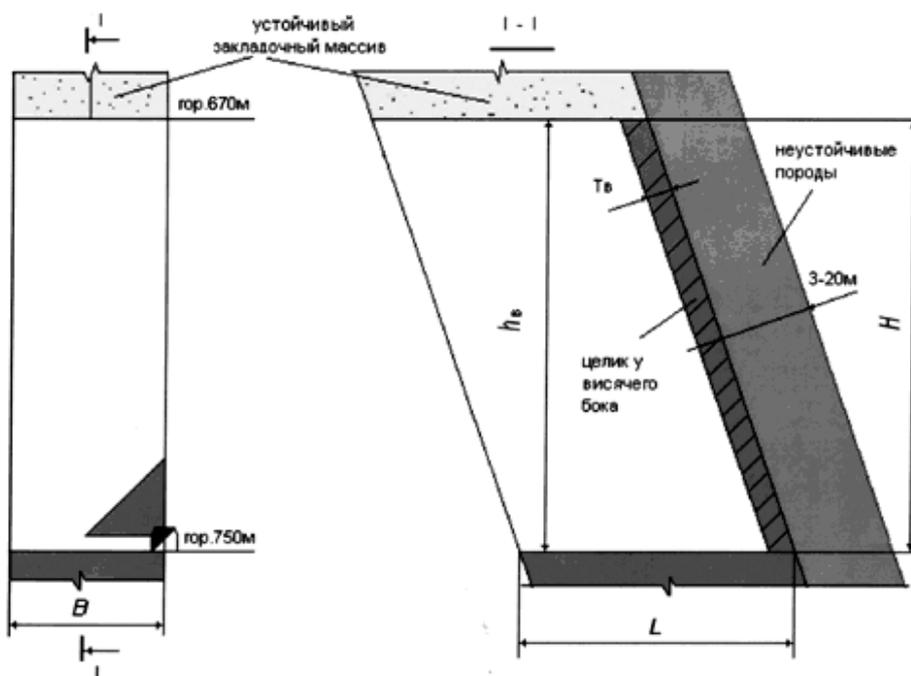


Рис. 2. Геометрическая интерпретация (модель) варианта отработки камеры с ПЦ у висячего бока

Геометрическая интерпретация варианта отработки камеры с ПЦ у висячего бока приведена на рис. 2.

Методика выбора оптимального соотношения Π и P основана на оп-

ределении области экономически эффективных соотношений, ее поэтапном структурировании и нахождении оптимума по критерию максимума прибыли. Величина прибыли

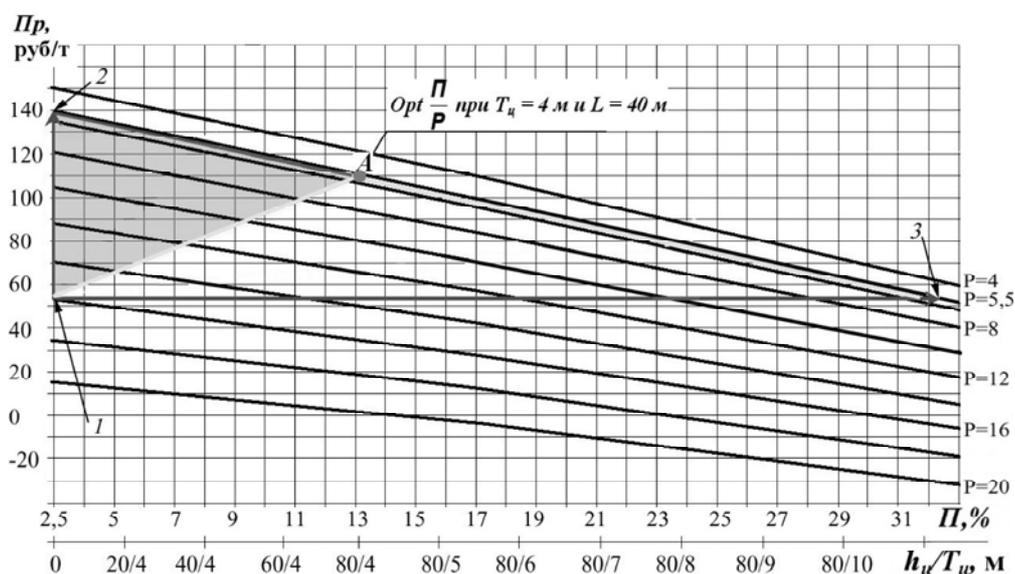


Рис. 3. Оптимизация технически возможных соотношений потерь и разубоживания в зависимости от высоты и толщины предохранительного целика

(Pr) в зависимости от величин Π и P устанавливалась на основе эмпирической формулы, полученной в результате экономико-математического моделирования:

$$Pr(\Pi, P) = 188,97 - 3,7\Pi - 7,02P + 0,02\Pi^2 + 0,1\Pi P - 0,07P^2 \quad (R^2 = 0,99). \quad (1)$$

Из теории линейного программирования известно, что целевая функция достигает своего максимума в крайних точках многоугольника допустимых планов. В нашем случае область экономически эффективных соотношений Π и P представляет собой треугольник с вершинами в точках 1, 2 и 3 (рис. 3).

Координатами точки 1 являются: $\min \Pi = 2,5\%$ (средние по этажу); $\max P = 16\%$ (фактическое по рассматриваемой камере). Pr в данной точке минимальна.

Координаты точки 2: $\min \Pi = 2,5\%$; $\min P = 5,5\%$ (наименьшее

по этажу). Pr в этой точке максимальна. Значения Pr , лежащие на отрезке 1 – 2, отражают Π и P , соответствующие традиционной технологии.

Координатами точки 3 являются: $\max \Pi = 32\%$ (наибольшие при технологии с ПЦ); $\min P = 5,5\%$. Здесь значение Π определяется опусканием перпендикуляра из точки 1 до пересечения с линией P (отрезок 1 – 3). Pr в данной точке минимальна, возможные соотношения Π и P ниже этого значения не рассматриваются.

Соединив три точки локализуем область эффективных соотношений Π и P (на рис. 3 показана красными линиями). Разумеется, что все соотношения Π и P , включенные в эту область, имеют значения Pr выше минимального. Данные значения соответствуют предлагаемой технологии с применением ПЦ.

Установленная область экономически эффективных соотношений со-

стоит из областей технически невозможных (труднореализуемых) и возможных соотношений P и R , в последней можно выделить подобласти нерациональных и рациональных соотношений. Область технически труднореализуемых соотношений определяется величиной P , обусловленных размерами ПЦ меньше устойчивых. Данная область выделена красным цветом. Соотношения P и R , лежащие вне данной области, составляют область технически возможных соотношений. Подобласть нерациональных соотношений определяется величиной P , обусловленных размерами ПЦ больше минимально допустимых. Следовательно, оптимальное соотношение P и R устанавливается в подобласти рациональных технически возможных соотношений.

Наиболее эффективным – оптимальным – является соотношение P и R , которое дает максимальную Pr . Можно считать, что размеры ПЦ, соответствующие данному соотношению, также являются оптимальными. Очевидно, что значения P и R зависят как от размеров ПЦ, так и от геометрических параметров камер. Технически возможные P и R в зависимости от толщины и высоты ПЦ определяются по формулам (2) и (3):

$$P = P_{const} + \left(\frac{T_{ц} h_{ц}}{L \sin \alpha H} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $P_{const} = 2,5\%$ – эксплуатационные потери без учета потерь в ПЦ. В данном случае, это нормативные потери для этажа 670/750 м, зависящие от горно-геологических и горнотехнических условий разработки; $\alpha = 70^\circ$ – угол падения рудного тела; L – длина камеры, 40 м; H – высота этажа (камеры), 80 м; $T_{ц}$ – минимально допустимая толщина ПЦ рассчитывается или принимается по данным практи-

ки, например, 4 м; $h_{ц}$ – высота ПЦ, м. Может принимать значения $h_{ц} = (0 \div 1) H$, изменяясь с шагом $1/12 H$.

$$P = P_{const} + \left[\frac{\left(1 - \frac{h_{ц}}{H} \right) \frac{m}{\sin \alpha} \gamma_{п}}{\left(1 - \frac{h_{ц}}{H} \right) \frac{m}{\sin \alpha} \gamma_{п} + L \gamma_{р}} \right] 100\% \quad (3)$$

где P_{const} – разубоживание по камере без учета разубоживания от отслаиваемых пород висячего бока, %. В данном случае, это нормативное разубоживание, рассчитываемое по действующей на руднике методике; $m_{п}$ – мощность отслаиваемых пород висячего бока, примешиваемых к руде в процессе очистной выемки, от 2 до 20 м; $\gamma_{п}$, $\gamma_{р}$ – плотность породы и руды, соответственно 2,7 и 3,6 т/м³.

В пределах исследуемой области определено оптимальное соотношение P и R в зависимости от $h_{ц}$ и $T_{ц}$ (см. рис. 3). Установлено, что с увеличением $h_{ц}$ от 0 до 80 м Pr возрастает и достигает наибольшей величины при $h_{ц} = H$ (точка А). При увеличении $T_{ц}$ от 4 до 11 м Pr снижается до минимального значения в точке З.

В результате доказано, что наибольшая Pr достигается при оставлении ПЦ на всю высоту этажа (камеры) при его минимальной толщине (точка А). Применение данной технологии значительно эффективнее традиционной – Pr повышается на 55 руб/т (таблица).

Учитывая, что по технологии с ПЦ целесообразно обрабатывать не все, а около четверти камер в этаже, то средняя величина потерь по этажу 670/750 м составит около 5%. Следует отметить, что эта величина потерь характерна для системы разработки горизонтальными слоями с закладкой,

ТЭП вариантов этажно-камерной системы разработки

Наименование показателя	Вариант отработка камер	
	по традиционной технологии	по технологии с ПЦ у всячего бока
1. Потери, %	2,5	13,0
2. Разубоживание, %	16,0	5,5
3. Затраты на добычу и обогащение, руб./т	586,5	496,2
4. Извлекаемая ценность, руб./т	640,3	605,0
5. Прибыль, руб./т	53,8	108,8

применяемой на рудниках Норильского ГМК. Весьма существенным обстоятельством для работы предприятия в современных экономических условиях является то, что себестоимость добычи и обогащения в среднем по этажу снижается на 90 руб./т.

Таким образом, применение технологии камерной выемки, предусматривающей оставление ПЦ, в условиях неустойчивых вмещающих пород обеспечивает наибольшую эффективность и безопасность по сравнению с традиционной технологией. Экономия по эксплуатационным за-

тратам, например, при годовой добыче по этажу 2 млн т составит более 40 млн руб. в год, а прибыль увеличится на 27 млн руб. в год.

В свете поставленной задачи по снижению себестоимости производства катодной меди до \$3 тыс. за тонну («УГМК пересматривает структуру себестоимости производства металлов, ИНТЕРФАКС, 24.11.08.») значимость внедрения технологии камерной выемки с ПЦ для подземных рудников, входящих в структуру УГМК, в условиях экономического кризиса весьма актуальна. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Волков Ю.В. — профессор, доктор технических наук, зав. лаборатории подземной геотехнологии,

Соколов И.В. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии,

Смирнов А.А. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии,

Антипин Ю.Г. — ведущий инженер лаборатории подземной геотехнологии, ИГД УрО РАН, e-mail: geotech@igd.uran.ru

