

УДК 622.013.364

Ю.В. Волков, И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ
СООТНОШЕНИЙ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ
ПРИ ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ
С ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМИ ЦЕЛИКАМИ**

Разработана методика определения эффективных соотношений потерь и разубоживания, разработанная для условий Гайского подземного рудника.

Ключевые слова: камера, разубоживание, руда, добыча, рудные целики, отбойка, обогащение.

Ранее проведенными исследованиями установлена техническая возможность и экономическая целесообразность повышения эффективности камерной выемки за счет снижения разубоживания путем оставления предохранительных рудных целиков [1]. Задачей планирования и проектирования отработки камеры в конкретных условиях является определение такого соотношения величин потерь и разубоживания, которое будет наиболее экономически эффективным и технически рациональным.

Методика определения эффективных соотношений потерь и разубоживания, разработанная для условий Гайского подземного рудника, состоит в последовательном выполнении семи этапов:

1. Методом экспертной оценки по геолого-маркшейдерской документации выбирается проектируемая камера, условия отработки которой по традиционной технологии (без предохранительных целиков) вызовут значительное увеличение разубоживания руды относительно среднего по этажу. При этом устанавливаются гео-

метрические параметры и показатели извлечения камеры (без предохранительных целиков):

- ширина B ;
- длина L ;
- высота H ;
- потери Π (средние по этажу);
- разубоживание P (потенциально высокое);
- содержание меди в балансовых запасах данной камеры s .

2. По рабочему проекту отработки данной камеры устанавливается фактор, в результате которого происходит значительное увеличение разубоживания. Такими факторами являются:

- низкая устойчивость вмещающих пород всячего бока, обусловленная их физико-механическими свойствами и размерами обнажения;
- низкая устойчивость искусственного массива в кровле камеры, обусловленная прочностью несущего слоя закладочного массива вышележащей камеры;
- время обнажения всячего бока и закладочного массива в кровле камеры, определяемое продолжительностью периода от начала очистной выемки до начала закладочных работ.

В зависимости от установленного фактора принимается место формирования предохранительных целиков (ПЦ):

- у висячего бока;
- в кровле камеры;
- у висячего бока и в кровле камеры.

3. Определяется эффективность возможных соотношений P и R с учетом c . Для этого используем методику расчета прибыли Pr , отнесенную на 1 т погашенных балансовых запасов камеры.

3.1. В общем виде функция Pr имеет вид:

$$Pr = (Ц_{изв.} - З) \rightarrow \max, \text{руб./т}, \quad (1)$$

где $Ц_{изв.}$ – извлекаемая ценность добытой руды, руб./т; $З$ – эксплуатационные затраты на добычу и обогащение рудной массы, руб./т.

3.2 Извлекаемая ценность определяется:

$$Ц_{изв.} = Z \cdot c \cdot (1 - П) \cdot \epsilon_o, \text{руб./т} \quad (2)$$

где Z – цена 1 т металла в концентрате, руб.; c – содержание металла в балансовых запасах камеры, дол. ед.; $П$ – коэффициент потерь руды при добыче, дол. ед.; ϵ_o – коэффициент извлечения металла в концентрат при обогащении, дол. ед. Определение ϵ_o в зависимости от содержания меди в добытой руде а осуществляется по уравнению

$$\epsilon_o = 12,759a^2 + 55,728a + 27,163, \%, \quad (3)$$

где $a = c(1 - P)$ – содержание металла в добытой рудной массе, %; P – коэффициент разубоживания руды, дол. ед.

3.3. Эксплуатационные затраты включают в себя удельные затраты на добычу и обогащение, отнесенные на 1 т добытой руды, входящие в структуру затрат по комбинату:

- на подготовительно-нарезные работы спнр,
- отбойку сотб.,
- выпуск и доставку свып.,
- закладку сзак.,
- конвейерный транспорт ск.т.,

- внутришахтный транспорт свшт,
- подъем по стволу спод.,
- транспорт до обогатительной фабрики стр..о.ф.,
- обогащение соб.,
- прочие затраты $c_{пр.}$

$$З = (c_{пнр} + c_{отб} + c_{вып} + c_{закл.} + c_{к.т.} + c_{вшт.} + c_{под.} + c_{тр.о.ф.} + c_{об.} + c_{пр.}) \cdot \frac{(1 - П)}{(1 - r)}, \text{руб./т} \quad (4)$$

Исходные данные для расчета $Ц_{изв.}$ и $З$ д.о. принимаются по данным экономической службы ГОКа за соответствующий период.

3.4. Диапазон изменения возможных значений P и R представлен ниже.

Наименование показателей	Величина показателей		Шаг изменения
	мин.	макс.	
Потери, %	2,0	16,0	2,0
Разубоживание, %	2,0	16,0	2,0

4. Устанавливается область экономически эффективных соотношений величин P и R . Из теории линейного программирования известно, что целевая функция достигает своего максимального значения в крайних точках многоугольника допустимых планов. В нашем случае, область экономически эффективных соотношений P и R представляет собой треугольник с вершинами в точках 1, 2 и 3. Координатами точки 1 являются:

- $\min P$ (принимаются средние по этажу согласно п. 1 или наименьшие по п. 3.4);

- $\max R$ (принимается потенциально высокое согласно п. 1 или наибольшее по п. 3.4).

Координатами точки 2 являются:

- $\min P$ (принимаются средние по этажу согласно п. 1 или наименьшие по п. 3.4);

- $\min R$ (принимается наименьшее по этажу или наименьшее по п. 3.4).

Координатами точки 3 являются:

- $\max P$ (принимаются наибольшие по п. 3.4);

Таблица 1

Изменение Pr в зависимости от соотношений P и R

Показатели извлечения	Потери, %									
	2,0	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	
Разубоживание, %	2,0	Pr1.1	Pr1.2	Pr1.3	Pr1.4	Pr1.5	Pr1.6	Pr1.7	Pr1.8	Pr1.9
	4,0	Pr2.1	Pr2.2	Pr2.3	Pr2.4	Pr2.5	Pr2.6	Pr2.7	Pr2.8	Pr2.9
	6,0	Pr3.1	Pr3.2	Pr3.3	Pr3.4	Pr3.5	Pr3.6	Pr3.7	Pr3.8	Pr3.9
	8,0	Pr4.1	Pr4.2	Pr4.3	Pr4.4	Pr4.5	Pr4.6	Pr4.7	Pr4.8	Pr4.9
	10,0	Pr5.1	Pr5.2	Pr5.3	Pr5.4	Pr5.5	Pr5.6	Pr5.7	Pr5.8	Pr5.9
	12,0	Pr6.1	Pr6.2	Pr6.3	Pr6.4	Pr6.5	Pr6.6	Pr6.7	Pr6.8	Pr6.9
	14,0	Pr7.1	Pr7.2	Pr7.3	Pr7.4	Pr7.5	Pr7.6	Pr7.7	Pr7.8	Pr7.9
	16,0	Pr8.1	Pr8.2	Pr8.3	Pr8.4	Pr8.5	Pr8.6	Pr8.7	Pr8.8	Pr8.9

Таблица 2

Толщина рудного предохранительного целика в кровле

Ширина камеры B , м	20	25	30
Толщина предохранительного целика, T_k , м	7,4	10,4	13,9

• $\min P$ (принимается наименьшее по этажу или наименьшее по п. 3.4).

Соединив эти точки, ограничиваем область экономически эффективных соотношений величин P и R (табл. 1).

Оптимальное соотношение P и R находится путем их совместной оптимизации по рассмотренным ниже геомеханическим (п.5), технологическим (п. 6) и экономическим (п. 7) условиям.

5. Определяются устойчивые размеры предохранительных целиков.

5.1. Толщина рудного целика, оставляемого у всячего бока.

Приближенные значения устойчивых пролетов рудных обнажений можно определить по методике Н. Бартона или по данным практики. Рассчитанное значение $Q = 14,2$, соответствует ширине максимального незакрепленного пролета $L_n = 20 - 30$ м. Гайский подземный рудник имеет опыт выемки камер с оставлением временных рудных целиков расположенных по высоте камеры с целью предотвращения обрушения пород. Фактическая толщина целиков в отработанных камерах этажа

670/750 м составила от 4,5 до 7,5 м (в среднем 6 м).

5.2. Толщину рудного предохранительного целика, оставляемого в кровле камеры можно рассчитать по формуле, предложенной Б.П. Юматовым или принять по данным практики. Расчетная толщина ПЦ, оставляемого в кровле камеры, для различных пролетов камер представлена в табл. 2 и хорошо согласуется с данными практики.

Параметры ПЦ должны уточняться по результатам опытно-промышленных испытаний.

6. Рассчитываются величины P и R в зависимости от вида и размеров ПЦ и геометрических параметров камеры в соответствии с методиками расчета показателей извлечения, принятыми на Гайском руднике.

7. Определяется оптимальное соотношение P и R , лежащее в области экономически эффективных соотношений (табл. 3). Для его нахождения:

7.1. Устанавливаем область технически невозможных (труднореализуемых) соотношений P и R , определяемую величиной P , обусловленных

Таблица 3

Изменение Pr в зависимости от соотношений P и R

Показатели извлечения	Потери, %									
	2,0	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	
Разубоживание, %	2,0	$Pr_{1.1}$	$Pr_{1.2}$	$Pr_{1.3}$	$Pr_{1.4}$	$Pr_{1.5}$	$Pr_{1.6}$	$Pr_{1.7}$	$Pr_{1.8}$	$Pr_{1.9}$
	4,0	$Pr_{2.1}$	$Pr_{2.2}$	$Pr_{2.3}$	$Pr_{2.4}$	$Pr_{2.5}$	$Pr_{2.6}$	$Pr_{2.7}$	$Pr_{2.8}$	$Pr_{2.9}$
	6,0	$Pr_{3.1}$	$Pr_{3.2}$	$Pr_{3.3}$	$Pr_{3.4}$	$Pr_{3.5}$	$Pr_{3.6}$	$Pr_{3.7}$	$Pr_{3.8}$	$Pr_{3.9}$
	8,0	$Pr_{4.1}$	$Pr_{4.2}$	$Pr_{4.3}$	$Pr_{4.4}$	$Pr_{4.5}$	$Pr_{4.6}$	$Pr_{4.7}$	$Pr_{4.8}$	$Pr_{4.9}$
	10,0	$Pr_{5.1}$	$Pr_{5.2}$	$Pr_{5.3}$	$Pr_{5.4}$	$Pr_{5.5}$	$Pr_{5.6}$	$Pr_{5.7}$	$Pr_{5.8}$	$Pr_{5.9}$
	12,0	$Pr_{6.1}$	$Pr_{6.2}$	$Pr_{6.3}$	$Pr_{6.4}$	$Pr_{6.5}$	$Pr_{6.6}$	$Pr_{6.7}$	$Pr_{6.8}$	$Pr_{6.9}$
	14,0	$Pr_{7.1}$	$Pr_{7.2}$	$Pr_{7.3}$	$Pr_{7.4}$	$Pr_{7.5}$	$Pr_{7.6}$	$Pr_{7.7}$	$Pr_{7.8}$	$Pr_{7.9}$
	16,0	$Pr_{8.1}$	$Pr_{8.2}$	$Pr_{8.3}$	$Pr_{8.4}$	$Pr_{8.5}$	$Pr_{8.6}$	$Pr_{8.7}$	$Pr_{8.8}$	$Pr_{8.9}$

размерами ПЦ меньше устойчивых. Данная область, выделенная красным цветом, далее не рассматривается;

7.2. В области технически возможных соотношений P и R устанавливаем подобласть нерациональных соотношений, определяемую величиной P , обусловленных размерами ПЦ больше минимально допустимых. Исключаем из рассмотрения данную подобласть, выделенную голубым цветом;

7.3. Оптимальное соотношение P и R находится в подобласти рациональных соотношений по наибольшему значению Pr (выделено зеленым цветом). Оптимальному соотношению P и R соответствуют оптимальные параметры ПЦ.

В качестве примера рассмотрена отработка камеры в этаже 670/750 м с геометрическими параметрами и показателями извлечения: $B = 20$ м; L

$= 40$ м; $H = 80$ м; $P = 2,5$ % (средние по этажу); $R = 16$ % (потенциально высокое со стороны висячего бока); условное $c = 1,32$ %.

Минимально допустимая толщина ПЦ, оставляемого у висячего бока, определена $T_b = 4$ м. При этом расчетные величины P и R по камере составили 12,2 и 4,1 %, соответственно.

Оптимальное соотношение P и R находится в подобласти рациональных соотношений по наибольшему значению $Pr_{2.7}$.

Таким образом, установлено, что применение технологии с оставлением ПЦ у висячего бока ($Pr_{2.7}$) позволяет повысить эффективность отработки камерных запасов по сравнению с традиционной технологией ($Pr_{8.2}$) за счет снижения разубоживания $Pr_{2.7} > Pr_{8.2}$ более чем в 1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин Ю.Г. Научно-методическое обоснование эффективного соотношения показателей потерь и разубоживания для

условий Гайского подземного рудника // Проблемы недропользования. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007 г. – С. 54–60. **VIAB**

Коротко об авторах

Волков Ю.В. — профессор, доктор технических наук, зав. лабораторией,
Соколов И.В. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Смирнов А.А. — старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
Антипин Ю.Г. — ведущий инженер
ИГД УрО РАН, лаборатория подземной геотехнологии, e-mail: geotech@igd.uran.ru