

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.235.622.8

А. И. Копытов, В. В. Першин, Г. К. Клюкин, М. Д. Войтов

МЕТОДИКА ВЫБОРА КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОАО «ЕВРАЗРУДА»

Подготовка исходных данных

Выбор типа и конструкции крепи обусловлен горно-геологическими условиями на трассе проходки горной выработки. Многолетняя практика показывает, что основными параметрами, влияющими на выбор крепи являются: устойчивость породного и рудного массивов, коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова f , коэффициент структурного ослабления K_{co} , среднее расстояние между трещинами L_{cp} , размер зоны неупругих деформаций контурного массива l_b . Устойчивость горных пород и руд определяется прочностными характеристиками литологических разностей, интенсивностью трещиноватости и первоначальным напряженным состоянием горного массива [1].

Основные исходные параметры определяются геологической службой. При этом устанавливаются основные изменения трещиноватости пород и руд, распространение систем трещин, приуроченность их к определенным литологическим разностям. Степень устойчивости в районах ослаблений дизьюнктивного типа обусловлена зонами дробления, смятия и рассланцевания. Особенно опасны (неустойчивы) зоны разломов со слабой цементацией (глинистый материал, карбонаты, гидроокислы железа, хлорит).

При документировании геологической службы необходимо выделять участки ослабления пород, связанные с активно проявившимися наложенным метасоматическими процессами и низкотемпературным гидротермальным метаморфизмом (карбонатизация, хлоритизация, серитизация, гематитизация и развитие гидроокислов железа). Следует отметить, что окварцевание не снижает устойчивости горных пород.

Оценка трещиноватости массива

Устойчивость приконтурного массива находится в непосредственной зависимости от трещиноватости пород и руд. К основным типам сетей трещин относятся непрерывные, прерывные и хаотичные. В расчет следует принимать все трещины, разбивающие массив на блоки размером от десяти сантиметров до нескольких метров. Микротрещины в пределах блока не учитываются. Для оценки трещиноватости следует определять параметры основных систем трещин - ширина, тип заполнения (при наличии), угол падения [2].

По типу заполнителя трещины делятся на:

- закрытые и спаянные трещины, трещины с кварцевым и кварцкарбонатным заполнителем;
- заполнитель - продукты низкотемпературного гидротермального динамометаморфизма (хлорит, серицит, карбонат, гематит, гидроокислы железа);
- трещины в зонах разломов с тектонической глинкой трения; трещины в зонах дробления со слабой цементацией (глинистый материал особенно обводненный) и трещины в зонах смятия и интенсивного рассланцевания с милонитизацией и зеркалами скольжения.

Влияние трещиноватости на устойчивость приконтурного массива учитывается посредством коэффициента структурного ослабления K_{co} и среднего расстояния между трещинами L_{cp} .

Практически по всему шахтному полю фиксируется несколько систем трещин (не менее 2-3). Количество систем определяется в забое на трех различных участках по горизонтали и вертикали на отрезках длиной 2-3 м в зависимости от сечения выработки. Среднее расстояние между трещинами определяется по формуле

$$L_{cp} = \frac{1}{6} \left(\frac{L_1^e}{n_1^e} + \frac{L_2^e}{n_2^e} + \frac{L_3^e}{n_3^e} + \frac{L_1^s}{n_1^s} + \frac{L_2^s}{n_2^s} + \frac{L_3^s}{n_3^s} \right), \quad (1)$$

где L_1^e и L_1^s - расстояния между крайними трещинами на горизонтальном и вертикальном отрезках, м; n_1^e и n_1^s - количество трещин на горизонтальном и вертикальном отрезках. Как правило, среднее расстояние между трещинами принимается по наиболее интенсивной трещиноватости.

Замеры трещиноватости проводятся для всех литологических разностей пород и руды с расстоянием между участками до 30-40 м по простианию. В различных структурных блоках производятся дополнительные измерения. Результаты замеров заносятся в журнал по форме (табл. 1).

Для примера, руды и породы Шерегешевского месторождения по интенсивности трещиноватости характеризуются параметрами, приведенными в табл. 2.

Оценка состояния приконтурного массива

Переход к разработке рудных тел на больших глубинах и отнесения частей месторождений к

Таблица 1. Журнал для записи результатов замеров

Привязка участка	Характеристика пород, руд	Результаты замеров											
		L_1^e	n_1^e	L_2^e	n_2^e	L_3^e	n_3^e	L_1^s	n_1^s	L_2^s	n_2^s	L_3^s	n_3^s

Таблица 2. Классификация пород и руд по трещиноватости

Характеристика трещиноватости массива	L_{cp} , м	K_{co}
Интенсивная трещиноватость	до 0,1	$\leq 0,1$
Высокая трещиноватость	0,10-0,20	0,1-0,2
Средняя трещиноватость	0,20-0,50	02-04
Трещиноватость ниже средней, в основном закрытые трещины	0,50-0,60	0,5-0,7
Слабо развитая трещиноватость, редкие закрытые трещины или их отсутствие	$>0,60$	0,8-1,0

склонным и опасным по горным ударам обусловил необходимость решения принципиально новых задач по условиям применения различных типов и видов крепей [1].

По месторождениям различают выработки, находящиеся вне и в зоне влияния очистных работ. В зависимости от расположения выработок, относительно от направления действия главных составляющих поля напряжений, и устойчивость выработок будет различна.

Первоначально напряженное состояние массива горных пород в количественном выражении характеризуется величинами вертикальных и горизонтальных напряжений - по простирианию и вкрест простириания.

Месторождения характеризуются гравитационно-тектоническими полями напряжений, в которых значения горизонтальных составляющих напряжений больше вертикальных. Эти напряжения установлены на железорудных месторождениях (табл.3). Кроме того, каждому месторождению свойственен свой азимут главной горизонтальной составляющей напряжения. $A_{\sigma,max}$.

Прочность вмещающих пород, окружающих горную выработку, определяется действующими напряжениями на срез.

В боках и кровле выработок напряжения на срез могут быть найдены из выражения [1]:

$$\tau_{cp}^k = 0,5 \left(\sigma_{//} - \sigma_{\perp} + 2 \frac{a_{ш}}{h_b} \sigma_{//} \right), \quad (2)$$

где $\sigma_{//}$, σ_{\perp} - величины горизонтальной составляющей напряжения в массиве, действующей вдоль и перпендикулярно оси выработки, $a_{ш}$ - ширина выработки, м; h_b - высота выработки, м.

В случае, когда направление выработки совпадает с направлением максимальной горизонтальной составляющей напряжения, касательные напряжения в кровле и боках выработки рассчитываются соответственно из выражений

$$\tau_{cp}^k = 0,5 \left(\sigma_1 - \sigma_2 + 2 \frac{h_b}{a_{ш}} \sigma_1 \right); \quad (3)$$

$$\tau_{cp}^b = 0,5 \left(\sigma_2 - \sigma_3 + 2 \frac{a_{ш}}{h_b} \sigma_3 \right). \quad (4)$$

Когда направление выработки совпадает с направлением минимальной горизонтальной составляющей σ_1 , касательные напряжения в кровле и боках выработки рассчитываются соответственно из выражений

$$\tau_{cp}^k = 0,5 \left(\sigma_2 - \sigma_3 + 2 \frac{h_b}{a_{ш}} \sigma_2 \right); \quad (5)$$

Таблица 3. Параметры гравитационно-тектонического поля напряжений на месторождениях Горной Шории и Хакасии

Месторождения	Вне зоны влияния очистных работ				В зоне влияния очистных работ			
	σ_1	$\sigma_2 = \sigma_{max}$	σ_3	$A_{\sigma,max}$, град.	σ_1	$\sigma_2 = \sigma_{max}$	σ_3	$A_{\sigma,max}$, град.
Абаканское	2,5 γН	3γН	γН	315-325	3γН	4,5γН	γН	315-325
Казское	0,4γН	2,4 γН	γН	85	2,5γН	3,7γН	γН	85
Таштагольское - до глубины 890 м ниже 890 м	1,3 γН 1,8 γН	2,5 γН 3,0 γН	γН γН	320 350	3,5 γН	5 γН	γН	50
Шерегешевское	1,4 γН	2,6 γН	γН	330	3,8 γН	5,2 γН	γН	48

$$\tau_{cp}^6 = 0,5 \left(\sigma_2 - \sigma_3 + 2 \frac{\alpha_{\text{ш}}}{h_b} \sigma_3 \right), \quad (6)$$

где σ_1 - минимальная горизонтальная составляющая напряжения; σ_2 - максимальная горизонтальная составляющая напряжения, σ_3 - вертикальная составляющая напряжения; $\sigma_3 = \gamma H$.

Напряжение на срез для кровли и боков выработок, расположенных под углом к максимальной горизонтальной составляющей напряжения,

$$\tau_{cp} = \sqrt{\frac{\tau_{\text{min},cp}^2}{1 - \varepsilon^2 \cos^2(\theta)}}, \quad (7)$$

где $\tau_{\text{min},cp}$ - минимальное действующее напряжение на срез в кровле и в боку выработки; ε - эксцентриситет; θ - угол между максимальной горизонтальной составляющей напряжения и осью выработки (от 0 до 90°).

Эксцентриситет определяется раздельно для кровли и боков выработки из соотношения

$$\varepsilon^2 = 1 - \frac{\tau_{\text{min},ci}^2}{\tau_{\text{max},ca}^2}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{max},cp}$ - максимальное напряжение на срез, действующее в кровле или боках выработки.

В случае, когда ширина выработки равна высоте, минимальное действующее напряжение на срез для выработок, расположенных под углом к минимальной горизонтальной составляющей напряжения, определяется как

$$\tau_{cp} = \tau_{\text{max},ca} \cos(\theta). \quad (9)$$

Коэффициент устойчивости горных выработок определяется:

$$\text{по кровле как } K_{yc} = \sqrt{\frac{[\tau_{cp}]}{\tau_{cp}^k}}, \quad (10)$$

$$\text{по бокам как } K_{yc} = \sqrt{\frac{[\tau_{cp}]}{\tau_{cp}^b}}, \quad (11)$$

где $[\tau_{cp}]$ - предел прочности вмещающих пород на срез, $[\tau_{cp}] = K_{co} [\sigma] \mu$; τ_{cp}^k - действующее напряжение на срез в кровле выработки; τ_{cp}^b - действующее напряжение на срез в боках выработки; $[\sigma] = f \times 10$, МПа - предел прочности вмещающих пород на одноосное сжатие; μ - коэффициент Пуассона; K_{co} - коэффициент структурного ослабления, определяется в зависимости от расстояния между трещинами (табл. 4).

После расчета коэффициента устойчивости

горных пород (руд) определяется категория устойчивости горных пород (табл. 5), конструкция и параметры рудничной крепи.

Таблица 4. Зависимость коэффициента структурного ослабления K_{co} от трещиноватости пород (руд) L_{cp} .

Расстояние между трещинами L_{cp} , м	Коэффициент структурного ослабления K_{co}
> 1,5	0,9
1,5-1,0	0,8
1,0-0,5	0,6
0,5-0,2	0,4
< 0,2	0,2

При выборе крепи необходимо учитывать категорию удароопасности на месторождении.

По степени удароопасности месторождения или участки горного массива вокруг выработок разделяются на категории: «Опасно» и «Неопасно». Первая соответствует напряженному состоянию массива в приконтурной части выработки, при котором может произойти горный удар; вторая - неудароопасному состоянию и не требует проведения противоударных мероприятий.

Таблица 5. Категория устойчивости горных пород (руд)

Коэффициент устойчивости горных пород	Степень устойчивости	Категория устойчивости
> 1	весьма устойчивые	I
1,0-0,65	устойчивые	II
0,65-0,45	среднеустойчивые	III
0,45-0,25	неустойчивые	IV
> 0,25	весьма неустойчивые	V

На основании проведенных многолетних исследований, анализа многолетнего опыта проходки и эксплуатации горных выработок в условиях напряженно деформированного состояния и удароопасности месторождений ОАО «Евразруд», разрабатываемых подземным способом, выбор типа крепи и величины ее отставания в зависимости от глубины заложения, категории устойчивости пород и сечения выработки рекомендуется производить в соответствии с прикладной компьютерной программой «ЕвразрудаКрепь» [4].

При этом, для одинаковых глубин заложения, сечения горных выработок и категории устойчивости пород предусмотрено несколько типов крепей, разных по прочностным параметрам для выбора с учетом отнесения участков месторождения к склонным или опасным по горным ударам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Еременко А. А. Проведении и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных

месторождений / А. А. Еременко, А. И. Федоренко, А. И. Копытов. – Новосибирск : Наука, 2008. – 236 с.

2. Методические указания по определению устойчивости горного массива при проходке горных выработок, выбору вида крепи на месторождениях склонных к горным ударам и удароопасным в условиях шахт ОАО «Евразруд» – Новокузнецк, 2008. – 36 с.

3. Курленя М. В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М. В. Курленя, В. М. Серяков, А. А. Еременко. – Новосибирск : Наука, 2005. – 264 с.

4. Копытов А. И. Прикладная программа «ЕвразрудаКрепь» расчета устойчивости горного массива, выбору наиболее рациональной конструкции крепи на железорудных месторождениях ОАО «Евразрада» / А. И. Копытов, Г. К. Клюкин, С. С. Морозов, Т. Е. Трипус. – Кемерово : Вестник КузГТУ №6, 2012. – С. 52-53.

□ Авторы статьи

Копытов

Александр Иванович ,
докт. техн. наук, проф.
каф. строительства под-
земных сооружений и
шахт КузГТУ, президент
СО АГН,
e-mail: L01bdv@yandex.ru

Першин

Владимир Викторович,
докт. техн. наук, проф.,
зав. каф. строительства
подземных сооружений и
шахт КузГТУ,
тел. 8 (3842) 39-63-77

Клюкин

Геннадий Константинович,
кант. техн. наук, доц. каф.
строительства подземных
сооружений и шахт Куз-
ГТУ,
тел. 8 (3842) 39-63-78

Войтов

Михаил Данилович,
докт. техн. наук, проф.
каф. строительства под-
земных сооружений и
шахт КузГТУ,
тел. 8 (3842) 39-63-78

УДК 622.235

А. И. Копытов, А. А. Еременко, И. Ф. Матвеев

ВЫБОР БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ СКЛООННЫХ И ОПАСНЫХ ПО ГОРНЫМ УДАРАМ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОАО «ЕВРАЗРУДА»

С увеличением глубины разработки рудных тел с 600 до 1300 м может произойти осложнение геомеханической обстановки. Вследствие перераспределения напряжений при нарушении сплошности массива формируются зоны сжимающих напряжений, действующих вблизи контура по всему периметру обнажения отрабатываемого рудного участка. На значительных расстояниях от выработанного пространства наблюдаются смещения, из-за неравномерности которых происходит деформирование массива и изменение его напряженного состояния. Наибольшая концентрация действующих напряжений наблюдается в массиве на расстояниях 20-60 м от границы выработанного пространства, где значения напряжений приближены или выше предела прочности горных пород. Массив горных пород, расположенный на границе очистного и выработанного пространства и находящийся в запредельном состоянии, ранее уже подвергался значительному воздействию горных работ и тектонических напряжений. В нем произошли и происходят механические процессы в виде смещений, деформаций и др., вызванные действием высокого горного давления. Вследствие этого при проведении подготовительно-нарезных выработок и отработке блоков следует совершенствовать конструктивные элементы геотехнологии для управления геомеханическими процессами в удароопасных условиях с обеспечением эффективности и безопасности ведения очистных работ.

Основными концентраторами напряжений в

конструктивных элементах очистных блоков являются компенсационные камеры и большое количество нарезных выработок на горизонтах выпуска, подсечки и бурением.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что снизить негативное влияние указанных факторов, повысить эффективность и безопасность ведения горных работ при разработке рудных участков удароопасных месторождений на глубине более 600 м возможно при применении систем разработки с подэтажным обрушением руды и её доставкой с использованием самоходного оборудования [1].

Например, вариант с подэтажным обрушением и донным выпуском руды через траншею с применением самоходной техники (рисунок 1), который включает в себя следующие конструктивные элементы:

- доставочный орт с заездами, пройденный по почве камеры;
- буровой орт, пройденный по почве камеры;
- отрезной штрек, пройденный по почве камеры;
- технологическая ниша, пройденная по почве камеры (для возможности загрузки автосамосвала и разминовки самоходной техники);

– отрезной восстающий (служит компенсационный выработкой для отработки камер).

Днище в камерах - траншейное. Параметры камер:

- ширина - 18 м (одиночная камера), 36 (сдвоенная камера);