

УДК 622.281:622.267

А. И. Копытов, М. Д. Войтов, С. С. Морозов

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

На протяжении нескольких десятилетий в Горной Шории и Хакасии разрабатываются Таштагольское, Шерегешевское, Казское, Абаканское месторождения [1]. Все перечисленные месторождения перешли к разработке рудных тел на больших глубинах и отнесены к склонным и опасным по горным ударам (табл. 1).

По степени удароопасности участки рудного и породного массивов, прилегающие к выработкам, подразделяются на 3 категории:

1 категория - с повышенной опасностью проявления горных ударов;

2 категория - опасные по проявлению горных ударов, интенсивного заклообразования и стреляния горных пород;

3 категория - не представляющие непосредственной опасности проявления горного удара. Выработка может эксплуатироваться без применения профилактических мероприятий.

Таштагольское месторождение вскрыто пятью стволами, один из которых (Сибиряк) находится в стадии строительства. На Таштагольском месторождении горные работы проводятся на горизонтах в шахте (гор. $(\pm 0) + (-350)$ м), очистные работы достигли глубины 900 м, горно-капитальные –

1050 м. В течение года добывается в среднем 1,7 млн т руды.

Шерегешевское месторождение вскрыто четырьмя стволами (рисунок 2). Очистные работы достигли глубины 470 м (гор. +185 м), горно-капитальные – 600 м. Объем добычи руды составляет более 1,9 млн т в год.

Казское месторождение вскрыто четырьмя стволами (рис.3). Основная добыча производится на глубине более 500 м (гор. -90 м, -160 м, -230 м) от земной поверхности и составляет более 1,5 млн т руды в год.

Абаканское месторождение вскрыто тремя стволами: воздухопадающим, клетьевым и скрипоплетьевым на глубину около 1000 м. Очистные работы достигли глубины 400–600 м (гор. -15 м, -95 м), горно-капитальные -1100 м; добывается около 2 млн т руды в год.

В связи с увеличением глубины разработки и усложнением горно-геологических условий возросли объемы крепления горных выработок. Выбор рациональной конструкции крепи для создания безопасных условий труда в процессе строительства горно-капитальных выработок, подготовки и нарезки очистных блоков необходимо осуществлять

Таблица 1. Критическая глубина удароопасности

Месторождение	Породы и руды, склонные к крупному разрушению	Критическая глубина по условию удароопасности
Абаканское	Железная руда, агломератовые туфы, песчаники, кератофирсы	600
Казское	Диориты, роговики	600
Таштагольское	Сиениты, скарны, туфо-сланцы, железная руда	400
Шерегешевское	Сиениты, граниты, роговики, альбитофирсы	600

Таблица 2. Параметры гравитационно-тектонического поля напряжений на месторождениях Горной Шории и Хакасии

Месторождение, участок	Вне зоны влияния очистных работ				В зоне влияния очистных работ			
	σ_1	$\sigma_2 = \sigma_{\max}$	σ_3	$A_{\sigma_{\max}}, ^\circ$	σ_1	$\sigma_2 = \sigma_{\max}$	σ_3	$A_{\sigma_{\max}}, ^\circ$
Абаканское	2.5 γH	2 γH	γH	315–325	3 γH	4.5 γH	γH	315–325
Казское	0.4 γH	2.4 γH	γH	85	2.5 γH	3.7 γH	γH	80
Таштагольское - до глубины 890 м - на гор. -350 м	1.3 γH	2.5 γH	γH	320±20	3.5 γH	5 γH	γH	45±15
- на гор. -350 м	1.8 γH	3 γH	γH	341–356				
Шерегешевское	1.4 γH	2.6 γH	γH	330±15	3.8 γH	5.2 γH	γH	46–50

лять на основании расчета устойчивости массива горных пород, который данные выработки пересекают.

В соответствии с методикой ИГД СО РАН для оценки устойчивости, необходимо выделить местоположение выработки, находится вне или в зоне влияния очистных работ (таблица 2), определить направление действия главных составляющих поля напряжений, трещиноватость массива и задать площадь поперечного сечения выработки. Прочность вмещающих пород, окружающих горную выработку определяется действующими напряжениями на срез [3]. В боках и кровле выработок напряжения на срез могут быть определены из выражения:

$$\tau_{\text{cp}} = 0,5(\sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp} + \frac{a}{h}\sigma_{\parallel}),$$

где σ_{\parallel} – величина горизонтальной составляющей напряжения в массиве, действующей вдоль оси выработки; σ_{\perp} – величина горизонтальной составляющей напряжения в массиве, действующей перпендикулярно оси выработки; a – ширина вы-

работки; h – высота выработки.

Например, необходимо рассчитать устойчивость и выбрать рациональную конструкцию крепи выработки, которую необходимо пройти на шахте Шерегешевского месторождения на гор +185 (глубина равна 400 м) по породам с коэффициентом крепости по М. М. Протодьяконову, равном 10. Объемная масса пород $\rho = 2,7 \text{ т}/\text{м}^3$. Коэффициент структурного ослабления $K_c = 0,8$. Сечение выработки в проходке $S = 8,2 \text{ м}^2$ (ширина $a_w = 3,0 \text{ м}$, высота $h = 3,2 \text{ м}$). Направление выработки относительно максимальной горизонтальной составляющей $\theta = 90^\circ$. Выработка приходится вне зоны очистных работ.

Для данных условий компоненты главных напряжений вне зоны влияния очистных работ равны: вертикальная составляющая $\sigma_3 = \gamma H$, максимальная горизонтальная составляющая $\sigma_2 = 2,6\gamma H$ и направлена по простираннию рудного тела. Минимальная горизонтальная составляющая $\sigma_1 = 1,4\gamma H$ и направлена перпендикулярно простираннию рудного тела.



Рис. 1. Устойчивость на Абаканском руднике в железной руде (а) и песчанике (б)

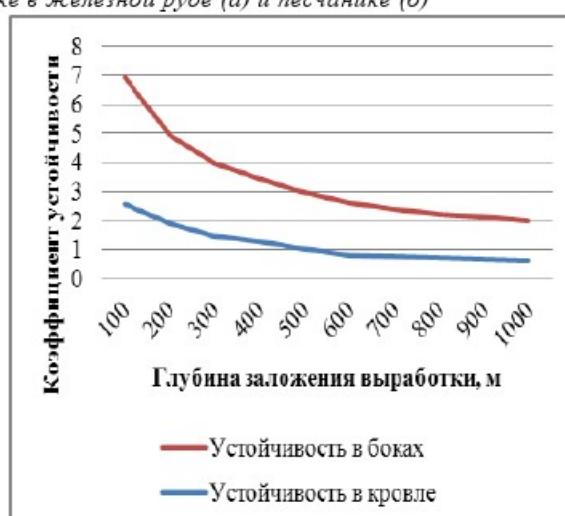
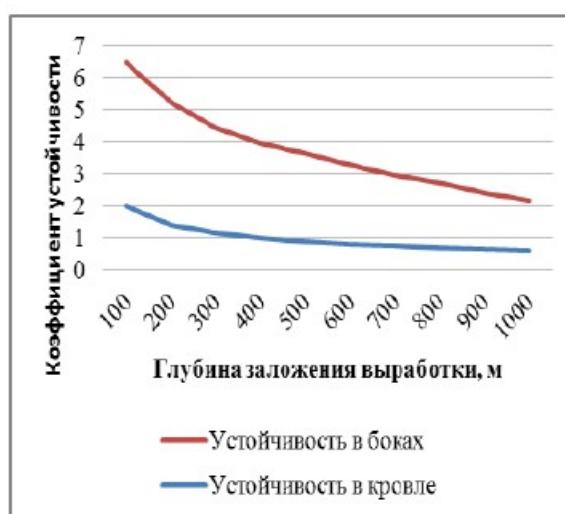


Рис. 2 . Устойчивость на Казском руднике в диоритах (а) и железной руде (б)

Таблица 3. Категория устойчивости и рекомендуемые виды крепей для условий горнорудных предприятий

Степень устойчивости	Категория устойчивости	Коэффициент устойчивости	Допустимое время обнажения	Рекомендуемые виды крепей
Весьма устойчивые	1	>1	Не ограничено	Набрызгбетон, без крепи
Устойчивые	2	1–0,65	До 30 сут	набрызгбетон – анкеры; набрызгбетон – анкеры – сетка
Средней устойчивости	3	0,65–0,45	До 10 сут	набрызгбетон – анкеры – сетка; металлическая арочная
Неустойчивые	4	<0,45	Не более суток, крепление вслед за обнажением	набрызгбетон – анкеры – сетка – набрызгбетон, металлическая арочная; монолитная бетонная, железобетонная

Определяем действующие касательные направления в кровле и боках выработки:

$$\begin{aligned}\tau_{\text{cp}}^{\text{K}} &= \left(\sigma_2 - \gamma H + 2 \frac{h}{a_{\text{ш}}} \sigma_2 \right) 0,5 = \\ &= (2,6 \cdot 0,027 \cdot 400 - 0,027 \cdot 400 + \\ &+ 2 \cdot \frac{3,2}{3,0} \cdot 2,6 \cdot 0,027 \cdot 400) \cdot 0,5 = 38,6 \text{ МПа};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{\text{cp}}^{\text{K}} &= \left(\gamma H - \sigma_2 + 2 \frac{h}{a_{\text{ш}}} \gamma H \right) 0,5 = \\ &= (0,027 \cdot 400 - 2,6 \cdot 0,027 \cdot 400 + \\ &+ 2 \cdot \frac{3,0}{3,2} \cdot 0,027 \cdot 400) \cdot 0,5 = 2,1 \text{ МПа}\end{aligned}$$

$$[\tau_{\text{cp}}] = K_c [\sigma_{\text{сж}}] 0,3 = 0,8 \cdot 100 \cdot 0,3 = 24 \text{ МПа};$$

коэффициент устойчивости кровли и боков выработки

$$K_y^{\text{K}} = \sqrt{\frac{[\tau_{\text{cp}}]}{\tau_{\text{cp}}^{\text{K}}}} = \sqrt{\frac{24}{38,6}} = 0,6;$$

$$K_y^{\delta} = \sqrt{\frac{[\tau_{\text{cp}}]}{\tau_{\text{cp}}^{\text{K}}}} = \sqrt{\frac{24}{2,1}} = 3,38.$$

По табл. 3, согласно полученным коэффициентам устойчивости, определяем категорию устойчивости. Кровля выработки относится к средней устойчивости, т. е. составляет 3 категорию устойчивости. Бока выработки по степени устойчивости являются весьма устойчивыми и составляют 1 категорию устойчивости.

При выборе типа крепи в условиях проявления горного давления в динамической форме предпочтение следует отдать крепям, взаимодействующим с приконтурным массивом и особенно комбинированным крепям (штанговая крепь с набрызгбетоном, штанговая крепь с металлической сеткой, штанговая крепь с металлической

сеткой и набрызгбетоном и др.).

Согласно таблице, принимаем для кровли комбинированный вид крепи набрызгбетон – анкера – сетка – набрызгбетон и для боков – набрызгбетон.

При расчете крепи величина действующего сжимающего напряжения на контуре выработки определяется из выражения

$$\sigma_{\text{д}} = \frac{\lambda \gamma a_{\text{ш}}}{f K_c} = \frac{2,6 \cdot 0,027 \cdot 3}{10 \times 0,8} = 0,026 \text{ МПа}.$$

где λ – коэффициент бокового распора

$$\lambda = \sigma_1 / \sigma_3,$$

длина штанги

$$l_a = l_b + 1,5l_3 + l_k,$$

где l_3 – глубина заделки анкера в ненарушенном массиве (0,3 – 0,4 м);

l_k – длина выступающей в выработку части штанги (0,1 – 0,16 м).

$$l_b = \frac{\lambda a_{\text{ш}}}{f K_c} = \frac{2,6 \times 3}{10 \times 0,8} = 1 \text{ м};$$

$$l_a = 1 + 1,5 \cdot 0,4 + 0,15 = 1,75 \text{ м}.$$

При длине анкера 2,0 м и диаметре штанг 22 мм, расстояние между анкерами

$$A = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2 [\sigma_{\text{ср}}]}{4 \sigma_{\text{д}} \cdot n \cdot K_{\text{сп}}}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 0,022^2 \cdot 500}{4 \cdot 0,026 \cdot 4 \cdot 1,15}} = 110 \text{ м}.$$

где d – диаметр штанги, м² (диаметр штанги принимается на основе практических данных); $\sigma_{\text{ср}}$ – предел прочности штанги при растяжении, МПа; n – коэффициент запаса ($n = 2–4$); $K_{\text{сп}}$ – коэффициент повышения сцепления породы свода обрушения за счет натяжения металлической сетки, равный 1,1 – 1,2.

Принимаем расстояние между анкерами 100 см. Первый слой набрызгбетона принимаем равным 30 мм. Толщину второго слоя набрызгбетона определяем по формуле:

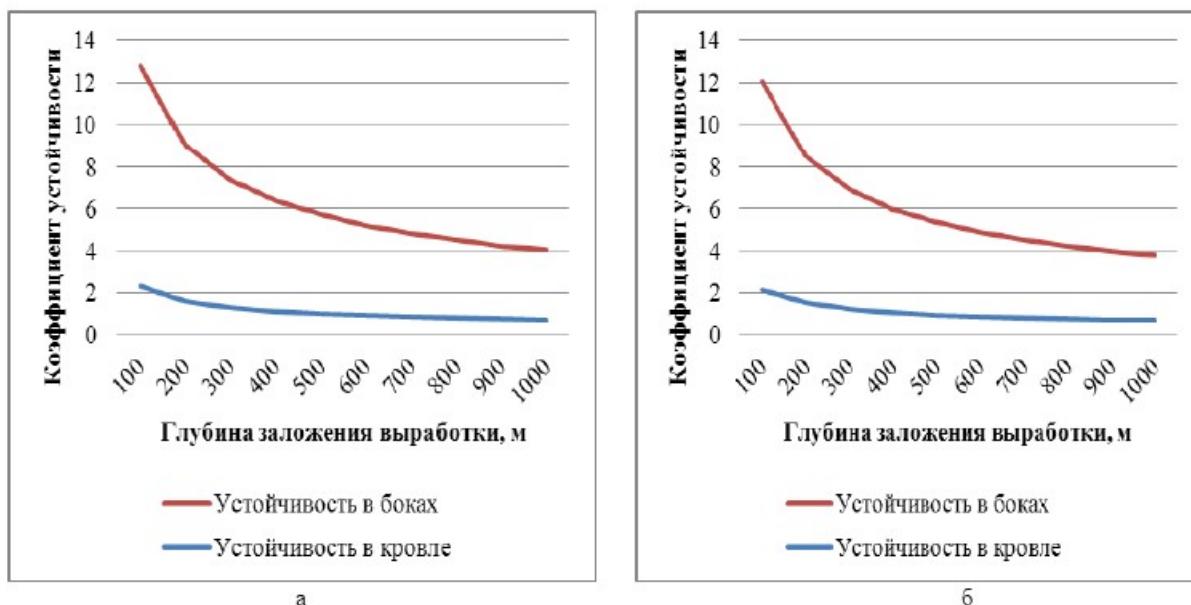


Рис.3. Устойчивость на Таштагольском руднике в скарнах (а) и сиенитах (б)

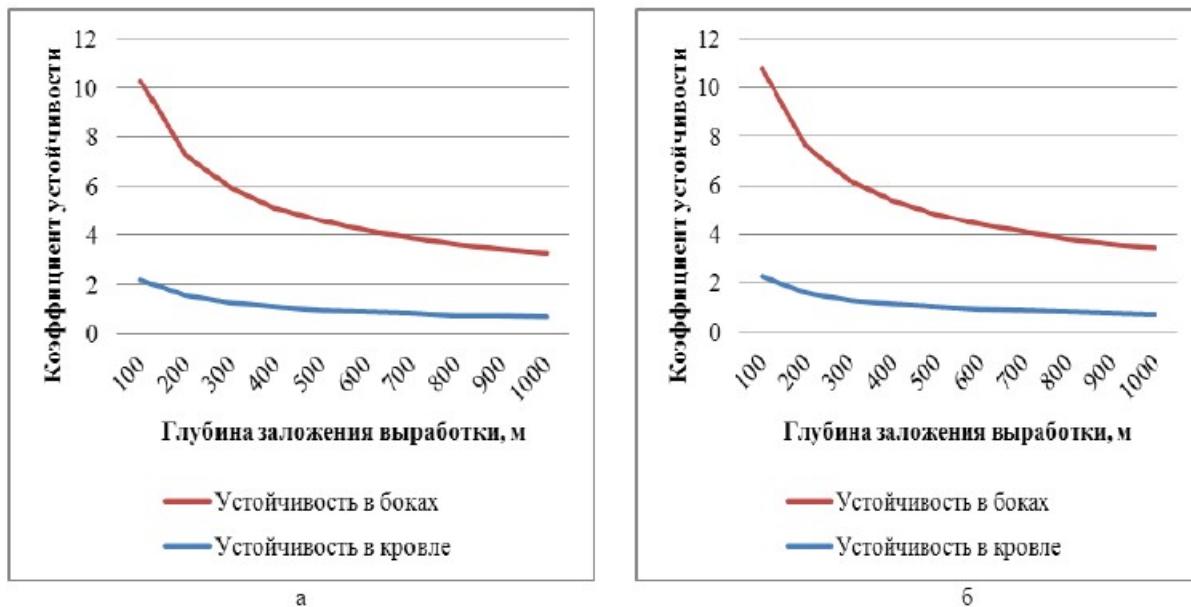


Рис.4. Устойчивость на Шерегешском руднике в скарнах (а) и гранитах (б)

$$\delta = \sqrt{\frac{0.11 \cdot n \gamma A}{[\sigma_{\text{ск}}^x]}} = \sqrt{\frac{0.11 \cdot 3 \cdot 0.027 \cdot 1}{2.5}} = 5.9 \text{ см.}$$

где $[\sigma_{\text{ск}}^x]$ – предел прочности набрызгбетона при одноосном сжатии, МПа.

Принимаем толщину набрызгбетона по кровле выработки 60 мм. Так как первый слой уже имеет толщину 30 мм, то по кровле наносится слой набрызгбетона толщиной 30 мм.

При комбинированной крепи набрызгбетон-анкер-сетка-набрызгбетон первый слой набрызгбетона наносится по всему периметру выработки, второй слой на сетку только по своду выработки. Толщина его может быть различной в зависимости от категории устойчивости.

Конструкция анкерной крепи должна обеспечивать быстрое вступление в работу и сохранять

расчетную несущую способность в течение всего срока работы крепи.

Согласно выполненному расчету устойчивости и параметров крепи горных выработок составляется паспорт крепления.

На основании данной методики нами установлены зависимости устойчивости породного массива выработки от расположения их относительно направления действия главных составляющих поля напряжений и поперечного сечения выработок на рудниках Горной Шории и Хакасии.

С увеличением глубины разработки подземных рудников ОАО «Евразруд» (рис. 1- 4) устойчивость горных выработок уменьшается. Она во многом зависит от поперечного сечения, глубины заложения и от расположения их относительно направления действия главных составляющих

поля напряжений и физико-механических свойств горных пород.

На основании анализа материалов многолетних исследований, выполненных институтами ВостНИГРИ, ИГД СО РАН, СФ ВНИМИ, КузНИИШахтострой, СибГИУ, КузГТУ, НИЦ «Геомеханика», изучения их рекомендаций, методических указаний, опыта крепления различных видов

крепи на рудниках ОАО «Евразруд» и других железорудных предприятиях, в том числе зарубежных, разработана структура программного комплекса по расчету устойчивости и выбору рациональной конструкции крепи для условий железорудных месторождений Горной Шории и Хакасии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железорудные месторождения Сибири / А. С. Калугин, Т. С. Калугина, В. И. Иванов и др. – Новосибирск: Наука, 1981. – 238 с.
2. Тектоника и глубинное строение Алтае-Саянской складчатой области / В. С. Сурков, О. Г. Жеро, Д. Ф. Уманцев и др. – М.: Недра, 1973. – 14 с.
3. Еременко, А.А. Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений / А.А. Еременко, А.И. Федоренко, А.И. Копытов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 236 с.
4. Оценка эффективности элементов удароопасной технологии на Таштагольском руднике / Б. В. Шрепп, А. В. Мозолев, П. Т. Гайдин и др. // Горн. журнал. – 1989. – № 12. – С. 43-46.
5. Булычев Н. С., Фотиева Н. Н. Об оценке устойчивости пород вокруг горных выработок в поле тектонических напряжений. – В кн.: Устойчивость и крепление горных выработок. Межвуз. сб., вып. 5. Л.: ЛГИ, 1978. – С. 10-15.

□ Авторы статьи:

Копытов
Александр Иванович,
докт. техн. наук, проф. каф. строительства подземных и шахт КузГТУ,
Тел. 8(3842)39-63-78

Войтов
Михаил Данилович,
канд. техн. наук, проф. каф. строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ,
Тел. 8(3842)39-63-78

Морозов
Семен Сергеевич,
студент гр. СГ-071 КузГТУ.
Тел. 8-905-077-93-33,
Email: Patriot_kemerovo@mail.ru

УДК 622.235

К.А. Голубин , А.А. Сысоев

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО ПРОФИЛЯ РАЗВАЛА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВСКРЫШНЫХ УСТУПОВ НА РАЗРЕЗАХ

Геометрические параметры развода породы при взрывной подготовке вскрышных пород на карьерах являются информацией необходимой для проектирования технологических схем выемочно-погрузочных работ и паспортов забоев работы экскаваторов. Основными параметрами развода являются высотные характеристики по ширине развода и непосредственно его ширина. В частности при разработке вскрыши по транспортной технологии эти параметры определяют количество проходов экскаватора вдоль развода как по ширине, так и по высоте.

Для расчета ожидаемой ширины развода в настоящее время применяется два основных подхода. Первый из них основан на решении уравнений баллистики, описывающих движение кусков породы из откольной зоны уступа, второй – на статистических закономерностях изменения ширины развода, главным образом, от высоты взрываемого блока при рациональных значениях удельного расхода взрывчатого вещества и других параметрах буровзрывных работ.

Использование уравнений баллистики наибо-

лее оправдано, на наш взгляд, при короткозамедленном взрывании продольными рядами, когда после одновременного инициирования скважинных зарядов первого ряда движение породы начинается со стороны всей плоскости взрываемого уступа. С ужесточением требований к сейсмической безопасности промышленных взрывов и воздействию ударно-воздушной волны такие схемы в настоящее время фактически не применяются.

В большинстве случаев применяется межскважинное замедление с использованием соответствующих средств взрывания, где ширина развода определяется углом устойчивости его откоса, который составляет около 40° . По результатам анализа фактических данных о ширине развода, показывает что ожидаемое ее значение может быть определено в соответствии с формулой

$$B_p = A + 5,5\sqrt{H} \quad ,(1)$$

где B_p – ширина развода, м. A – ширина буровзрывной заходки, м; H – высота взрываемого уступа, м.