

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622. 231

ОБ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЯХ ВЫБОРА ТИПА КРЕПИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ РУДНИКА “ЗАПОЛЯРНЫЙ”

А. П. Тапсиев, В. А. Усков

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: atapsiev@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Изложены методические основы выбора типа крепи горизонтальной выработки при разработке вкрапленных руд рудника “Заполярный” Заполярного филиала ОАО “ГМК “Норильский никель”. Приведен пример расчета параметров анкерной крепи выработки в зоне влияния очистных работ.

Зона влияния очистных работ, крепь выработок, устойчивость пород, критерий устойчивости, выбор типа крепи, инженерный метод расчета анкерной крепи, параметры крепи

Перспективы развития рудника “Заполярный” определяются отработкой запасов поля прирезки к руднику № 7 и южной части месторождения Норильск-1 (рис. 1). Для расширения объемов добычи руды при ее относительно низкой извлекаемой ценности планируется увеличить производственные мощности с полным переходом на технологии с самоходным оборудованием [1 – 3]. В настоящее время вскрыты и подготавливаются к отработке запасы поля прирезки к руднику. Вскрытие выполнено из карьера “Медвежий ручей” автотранспортным и конвейерным уклонами (рис. 1).

Увеличение поперечного сечения выработок, обусловленное применением самоходного оборудования, создает определенные сложности для обеспечения устойчивости пород в обнажениях, особенно при отработке нарушенных руд на глубоких горизонтах.

На начальном этапе освоения Октябрьского и Талнахского месторождений выбор и расчет крепи выработок проводился в соответствии с методическими указаниями ВНИМИ [4] и временными методическими указаниями Ленинградского горного института [5]. В них рассмотрены условия поддержания выработок вне зоны влияния очистных работ, даны общие рекомендации по выбору вида и расчету параметров крепления капитальных выработок в соответствии с требованиями СНиП II-94-80 [6].

В настоящее время на руднике “Заполярный” действуют рекомендации по креплению выработок в зоне влияния очистных работ, основанные на опыте эксплуатации Норильских рудников [7 – 10], а технологические процессы крепления выработок регламентируются РТПП-043-2004 [11]. Все рекомендации основаны на оценке нарушенности пород, что существенно осложняет

выбор и расчет крепи, так как не учитывается влияние концентрации напряжений в зоне влияния очистных работ, угла падения залежи и систем трещин, динамического воздействия взрывных работ и другие факторы.

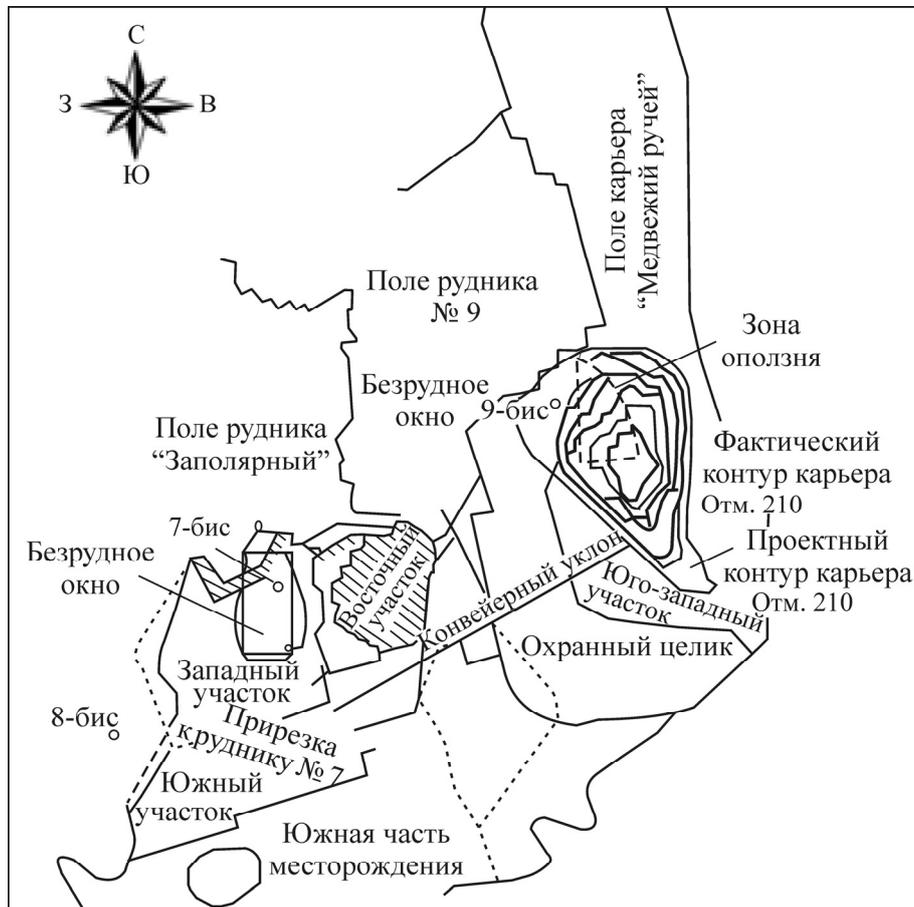


Рис. 1. Схема расположения шахтных полей месторождения Норильск-1

Учеными Санкт-Петербургского горного института предложено характеризовать устойчивость массива пород показателем напряженности [12]:

$$N = \frac{\sigma K_1 K_2 K_3 K_4 K_5}{R K_c K_y \varepsilon \psi}, \quad (1)$$

где σ — напряжение в нетронутым массиве, МПа; K_1 — коэффициент концентрации напряжений вследствие проходки данной выработки; K_2, K_3, K_4 — коэффициенты изменения напряжений в результате влияния: K_2 — других выработок; K_3 — очистных работ; K_4 — карьера; K_5 — коэффициент дополнительной концентрации напряжений от динамического воздействия (взрывных работ, горного удара); R — предел прочности образца на одноосное сжатие при кратковременном нагружении, МПа; K_c — коэффициент структурного ослабления массива; K_y — коэффициент упрочнения массива; ε — коэффициент длительной прочности, учитывающий снижение прочности под влиянием длительной нагрузки; ψ — коэффициент изменения сопротивления породы при динамическом нагружении и за счет усталостных явлений.

Неудобство использования данного показателя напряженности прежде всего связано с тем, что авторы применяют собственную классификацию по устойчивости пород, имеющую пять категорий устойчивости, не учитывающую величину ожидаемых смещений пород на контуре выработки за весь срок ее службы, в то время как в СНиП II-94-80 [6] категорий устойчивости только четыре, но ожидаемые смещения пород — главный критерий классификации.

При разработке методики выбора типа крепления подземных выработок в зоне влияния очистных работ сотрудниками ИГД СО РАН приняты категории устойчивости пород по СНиП II-94-80. Устойчивость закрепленной выработки обеспечивается при соблюдении условия $U_o < U_d$, где U_o и U_d — ожидаемые и предельно допустимые смещения пород на контуре выработки для применяемых видов крепи соответственно.

Для выработок, поддерживаемых в зоне влияния очистных работ, при выборе типа и параметров крепи необходимо учитывать предельно допустимые смещения для применяемых типов крепей. На руднике в зоне влияния очистных работ используются следующие анкерные типы крепей: железобетонные штанги (ЖБШ, $U_d = 60$ мм) и трособетонные анкеры (ТБА, $U_d = 250$ мм). Набрызг-бетонная крепь применяется только вне зоны влияния очистных работ ввиду малых предельно допустимых смещений для этого типа крепи ($U_d = 20 - 30$ мм). Комбинированные типы крепи в виде анкеров с металлической решеткой (АКР, $U_d = 120 - 170$ мм), анкеров с набрызг-бетоном (КК, $U_d = 90 - 145$ мм) и анкеров с металлической решеткой и набрызг-бетоном (УКК, $U_d = 100 - 220$ мм) применяют преимущественно в выработках большого сечения и на их сопряжениях. Податливую металлическую арочную крепь трехзвенную ($U_d = 300$ мм) и пятизвенную ($U_d = 800$ мм) используют в зонах разломов и в весьма сильно нарушенных породах.

Основанием для выбора способа поддержания и типа крепи горной выработки является геологическая характеристика и классификация массива горных пород по устойчивости согласно рассчитанному по критерию устойчивости пород K (табл. 1). Возводимая крепь в выработке должна предотвращать обрушение пород и сохранять необходимую площадь сечения выработки на протяжении всего срока ее службы, уменьшая интенсивность смещений U .

По результатам проведения исследований на 8 рудниках ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель” нами предложено определять критерий устойчивости пород K для выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, из условия

$$K = \frac{K_k K_b \gamma H \left(\cos^2 \alpha + \frac{\mu}{1 - \mu} \sin^2 \alpha \right)}{R K_\varphi K_t K_{co} K_\psi}, \quad (2)$$

где K_k — коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки; K_b — коэффициент влияния ширины выработки на устойчивость породного контура; γ — объемный вес налегающих пород, МПа/м; H — глубина отработки, м; α — угол падения залежи (или наиболее развитой системы трещин), град; μ — коэффициент Пуассона; R — среднее значение сопротивления пород в образце одноосному сжатию, МПа; K_φ — коэффициент влияния угла встречи φ оси выработки с наиболее развитой системой трещин; K_t — коэффициент длительной прочности; K_{co} — коэффициент структурного ослабления массива пород; K_ψ — коэффициент динамического воздействия взрывных работ.

В условиях рудника “Заполярный” для углов падения залежи $\alpha = 8 - 14^\circ$ значения выражения $\cos^2 \alpha + \frac{\mu}{1-\mu} \sin^2 \alpha = (0.99 \div 0.96) \approx 1$. Естественное поле напряжений в массиве характеризуется как гравитационное, и вертикальная составляющая тензора напряжений является максимальной.

Полученные опытным путем значения коэффициентов, входящих в формулу (2), сведены в табл. 2–6, а характерные зоны влияния очистных работ, полученные методом математического моделирования для отработки рудной залежи с обрушением налегающих пород, показаны на рис. 2: *А* — зона слабого влияния очистных работ; *Б* — зона существенного влияния очистных работ; *В* — зона существенного влияния надработки; *Г* — зона образования разрывов; *Д* — зона обрушения.

ТАБЛИЦА 1. Классификация горных пород по устойчивости для рудников ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель” по критерию устойчивости *K* и рекомендуемые типы крепи

Категория устойчивости пород	Оценка состояния устойчивости пород	Значение критерия <i>K</i>		Рекомендуемый тип крепи
		Осадочные породы (песчаники, аргиллиты, известняки и др.)	Изверженные породы (габбро-долериты, руды и др.)	
I	Устойчивое	До 0.5	До 0.4	Без крепи, набрызг-бетон, АК
II	Среднеустойчивое	0.5–1.0	0.4–1.0	АК, КК, АКР
III	Неустойчивое	1.0–2.1	1.0–2.0	АКР, УКК, АКР + ТБА
IV	Сильно неустойчивое	Свыше 2.1	Свыше 2.0	УКК + ТБА, арочная податливая крепь (3- и 5-звенная)

ТАБЛИЦА 2. Коэффициент длительной прочности K_t в зависимости от срока службы выработки и гидрогеологических условий

Срок службы выработки, лет	Значение K_t для пород	
	сухих	обводненных
До 5	1.0	0.95
5–10	0.9	0.8
Более 10	0.8	0.7

Методика выбора типа крепи и расчета параметров крепления применены для выработки, находящейся в зоне влияния очистных работ: транспортно-доставочного орта при разработке вкрапленных руд рудника “Заполярный”. Условия проведения выработки: глубина разработки $H = 390$ м в поле прирезки к руднику № 7 на горизонте +45 м (см. рис. 1). Система разработки: этажное обрушение руды с торцовым выпуском и использованием самоходного оборудования [13]. Ширина панели 100 м, высота этажа 14–25 м, расстояние между погрузочно-буровыми ортами 12.5 м, расстояние между транспортно-доставочными штреками 60–70 м, ширина целиков между транспортно-доставочными ортами 7.5–8.0 м (см. рис. 2).

ТАБЛИЦА 3. Значения K_{k1} для типовых сечений выработок рудника “Заполярный”

Шифр сечения	Назначение выработок	Ширина B , м	Высота H , м	Вид крепи	Площадь сечения, м ²		K_{k1}
					в свету	в проходке	
1–1	Заезды на рудоспуски, рудоперепуски	4.35	5.5	АКР, КК (набрызг-бетон 20–50 мм)	21.84	22.54	2.3
2–2	Разрезные выработки	6.0	4.0	АКР, КК (набрызг-бетон 20–50 мм)	20.75	21.36	2.3
3–3	Транспортные и разведочные выработки	5.0	4.5	АКР, КК, УКК (набрызг-бетон 20–50 мм)	20.04	20.67	2.3
					16.64		
4–4	Транспортные, разрезные выработки, технологические ниши	4.35	4.1	АКР, КК, УКК (набрызг-бетон 20–50 мм)	15.89	16.45	2.3
5–5	Разрезные выработки, технологические ниши, вентиляционные сбойки	4.1	3.6	АКР, КК (набрызг-бетон 20–50 мм)	13.03	13.53	2.3
6–6	Технологические ниши, вентиляционные сбойки	3.6	3.22	АКР, КК (набрызг-бетон 20–50 мм)	10.02	10.64	2.3

ТАБЛИЦА 4. Значения коэффициента K_{k2} для сопряжений и параллельных выработок

Тип сопряжения	θ , град	Пролет сопряжения L_{max} , м	K_{k2}
Остроугольные ответвления и ответвление по кривой	30	12.5	1.7
	45	13.2	1.6
	60	14.4	1.5
Прямоугольное ответвление	90	12.0	1.4
Прямоугольное пересечение	90	12.0	1.6
Развилка под углом и развилка по кривым	30–60	14.4	1.5
	60–90	15.0	1.4
	90–180	9.0	1.4
Остроугольное пересечение	30	12.5	2.2
	45	13.2	1.8
	60	14.4	1.6
Параллельные выработки на расстоянии $2B$	0	12.0	1.5
Параллельные выработки на расстоянии B	0	12.0	2.0

Применяемое самоходное оборудование: буровые машины Solo 710 и Boomer H282, погрузо-доставочная машина Sandvik LH409E с ковшем 4.6 м³. Отгрузка и доставка горной массы осуществляется в рудоспуски на откаточный горизонт +45 м и далее электровозным транспортом на тракт выдачи ствола 9 бис (см. рис. 1).

Транспортно-доставочный орт имеет площадь сечения в проходке $S = 20.7$ м², ширину выработки $B = 5.0$ м и высоту $H = 4.5$ м. Выработка проходится во вкрапленной руде с пределом прочности при одноосном сжатии $R = 156$ МПа. Объемный вес налегающих пород составляет $\gamma = 0.027$ МПа/м, угол падения залежи $\alpha = 12^\circ$, коэффициент Пуассона $\mu = 0.22$.

Значения коэффициента длительной прочности K_l выбираем из табл. 2 при сроке службы транспортно-доставочного орта 12 лет в сухих условиях ($K_l = 0.8$).

ТАБЛИЦА 5. Значения коэффициента K_{k3} для характерных зон при системе этажного обрушения с торцовым выпуском руды

Зона влияния очистных работ (рис. 2)	Характеристика влияния очистного пространства на величину концентрации горного давления	K_{k3}
Д	Обрушение пород, ограниченное углами обрушения мульды сдвижения	Запрещен допуск людей в пройденные выработки
Г	Образование разрывов в секторе, ограниченном углом разрывов и углом обрушения	1.2
Б	Существенное влияния очистных работ (до 40 м от очистного фронта)	1.4
В	Существенное влияние надработки (до 30 м вниз под 60° от почвы отработки)	1.2
А	Слабое влияние очистных работ (до 60 м от очистного фронта)	1.1

ТАБЛИЦА 6. Основные системы трещин в массиве гор. +45 м рудника “Заполярный” и коэффициенты структурного ослабления по ним вкрест простирания рудной залежи

Обозначение	Азимут, град		Угол падения, град	K_{co}
	простирания	падения		
L	10	100	14	0.9
A ₁	15	105	82	1.0
A ₂	183	273	70	0.6
Z ₁	63	153	72	0.7
Z ₂	285	15	84	1.0
B ₁	126	216	57	0.5
B ₂	332	62	70	0.6

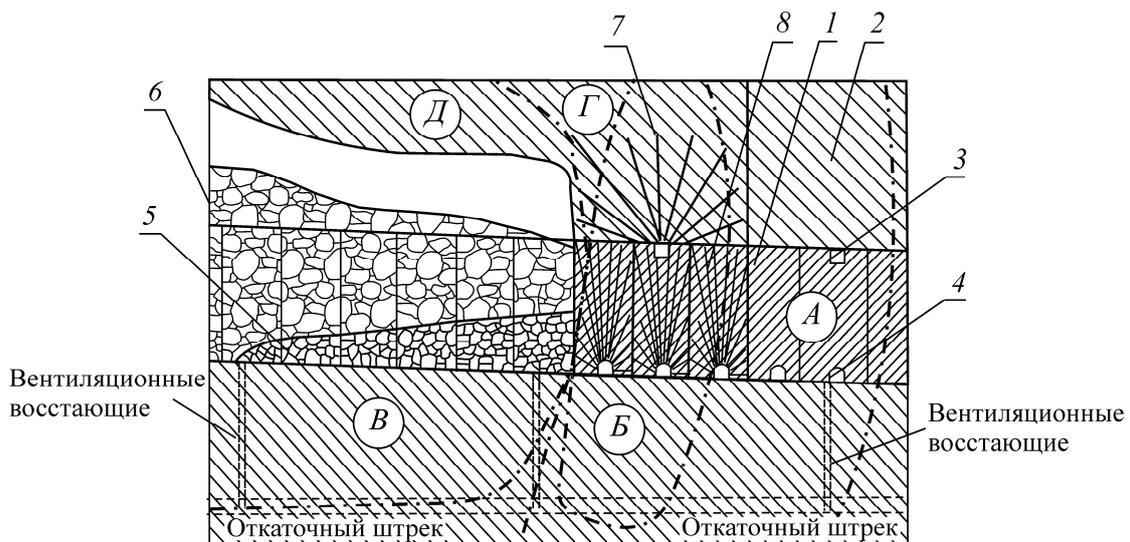


Рис. 2. Система этажного обрушения руды и налегающих пород с торцовым выпуском и использованием самоходного оборудования: 1 — рудное тело; 2 — породы налегающей толщи; 3 — выработки вентиляционно-бурового горизонта; 4 — выработки транспортно-доставочного горизонта; 5 — отбитая руда; 6 — обрушенные породы налегающей толщи; 7 — веера посадочных скважин; 8 — веера отбойных скважин

Коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки K_k характеризует действующее поле напряжений по следующим факторам: форма поперечного сечения выработки K_{k1} , влияние соседних и пересекающихся выработок K_{k2} , влияние очистного пространства K_{k3} :

$$K_k = K_{k1} \cdot K_{k2} \cdot K_{k3}. \quad (3)$$

Математическое моделирование методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния массива при гравитационном поле напряжений позволило определить коэффициенты K_{k1} , K_{k2} и K_{k3} . Сводчатая форма сечения 3–3 транспортно-доставочного орта (табл. 3) создает концентрацию напряжений $K_{k1} = 2.3$.

Значения коэффициента K_{k2} для типовых сопряжений и параллельных выработок приведены в табл. 4. В нашем случае для транспортно-доставочного орта при отсутствии влияния соседних и пересекающихся выработок $K_{k2} = 1$. Для транспортно-доставочного орта на сопряжении (прямоугольное пересечение со штреком в табл. 4) $K_{k2} = 1.6$.

Значения коэффициента K_{k3} , характеризующего влияние очистного пространства в характерных зонах при системе этажного обрушения с торцовым выпуском руды и использованием самоходного оборудования, приведены в табл. 5. Для транспортно-доставочного орта в зоне B существенного влияния очистных работ (рис. 2) при этажно-камерной системе разработки с выпуском руды из подконсольного пространства $K_{k3} = 1.4$.

Расчетный коэффициент концентрации напряжений на контуре транспортно-доставочного орта по формуле (3) составит $K_{k1} = 2.3$.

Расчетным путем по известной методике [14] получены значения коэффициента структурного ослабления для основных систем трещин массива габбро-долеритов (табл. 6). Для расчета выбрано наименьшее значение коэффициента структурного ослабления по наиболее опасной системе трещин $K_{co} = 0.5$.

Значение коэффициента влияния ширины выработки ($B = 5.0$ м) на устойчивость породного контура K_b (для $K_{co} = 0.5$) определяем согласно рис. 3, $K_b = 1.3$.

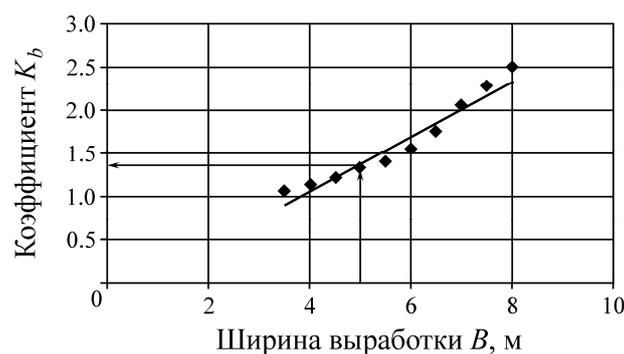


Рис. 3. Зависимость коэффициента K_b для пород II категории устойчивости рудника “Заполярный” от ширины выработки

Значение коэффициента K_φ , учитывающего влияние на устойчивость породного контура угла встречи φ оси выработки с наиболее опасной системой трещин, определяем согласно рис. 4, $K_\varphi = 1.2$.

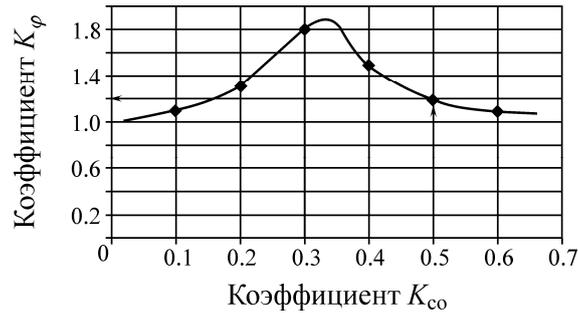


Рис. 4. Зависимость коэффициента K_{ϕ} от коэффициента структурного ослабления массива K_{co} при угле встречи оси выработки с наиболее развитой системой трещин $\phi = 57^{\circ}$

Значение коэффициента, учитывающего изменение предела прочности породы при динамических воздействиях взрывных работ на устойчивость породного контура, принимаем в зоне влияния очистных работ $K_{\psi} = 0.85$. Критерий устойчивости по формуле (1) определится как $K = 0.76$.

По табл. 1 изверженные породы в окрестности выработки по значению критерия устойчивости $K = 0.94$ относятся к II группе устойчивости пород (среднеустойчивые). Устойчивость выработки (рис. 5) обеспечивается при креплении железобетонными штангами ($U_0 = 53$ мм, $U_d = 60$ мм), так как соблюдается условие $U_0 < U_d$.

При тех же условиях по формуле (1) для сопряжения транспортно-доставочного орта со штреком ($K_{k2} = 1.6$, табл. 4) получим значение критерия устойчивости $K = 1.1$ и, следовательно, участок сопряжения необходимо отнести к III группе устойчивости пород (неустойчивые, табл. 1). Крепь для сопряжения должна соответствовать ожидаемым смещениям пород $U_d = 90$ мм (рис. 5, штриховая стрелка). Предельно допустимые смещения комбинированных типов крепи АКР ($U_d = 120 - 170$ мм) и КК ($U_d = 90 - 145$ мм) отвечают этому требованию. Практика показывает, что в зоне существенного влияния очистных работ (Б на рис. 2) набрызг-бетон на сопряжениях быстро разрушается под нагрузкой и во избежание ремонтных работ предпочтительнее следует отдать крепи АКР.

На рудниках Заполярного филиала ОАО “ГМК “Норильский никель” применяют железобетонные штанги из арматурного стержня периодического профиля № 16 – 18, закрепленного по всей длине в шпуре цементно-песчаным раствором [11].

Области применения типов крепи	Арочная 5-звенная																				
	Арочная 3-звенная																				
	КК			УКК				УКК + ТБА													
	АКР																				
Без крепления	ЖБШ																				
	Набрызг-бетон																				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	K
	20					100				200					300						$U, \text{мм}$
	I				II				III						IV						Категория устойчивости пород

Рис. 5. Пример выбора типа крепи по критерию устойчивости пород K для транспортно-доставочного орта (сплошная стрелка) и его сопряжения со штреком (штриховая стрелка)

Для составления паспорта крепления необходим инженерный расчет параметров крепи: длины анкера и расстояния между анкерами. Расчетная схема приведена на рис. 6.

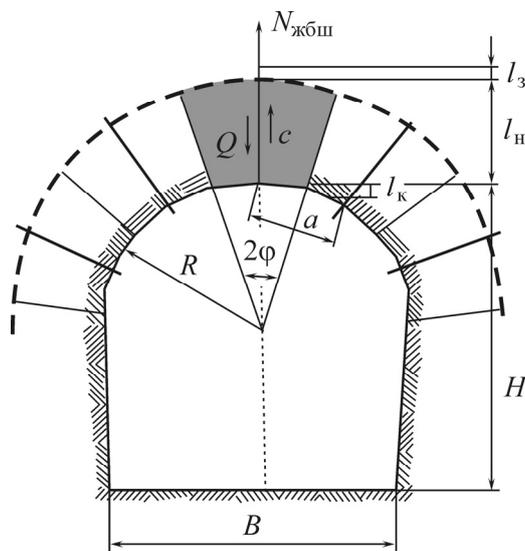


Рис. 6. Расчетная схема для определения параметров анкерной крепи

Длину анкера (рис. 6) определим по формуле

$$l_a = l_n + l_3 + l_k, \tag{4}$$

где l_n — глубина нарушенной зоны в массиве; l_3 — длина заделки анкера; l_k — длина выступающей из шпура части штанги.

Глубина нарушенной зоны [15, 16] находится по формуле

$$l_n = K_a \cdot B, \tag{5}$$

где K_a — коэффициент, зависящий от трещиноватости и крепости f пород [16] (при коэффициенте крепости $f = 5 - 8$: $K_a = 0.1$ — для слаботрещиноватых пород; $K_a = 0.2$ — для среднетрещиноватых пород; $K_a = 0.25$ — для сильнотрещиноватых пород); B — ширина выработки ($B = 5$ м). Рекомендуется принимать [16] $l_3 = 0.3l_n$.

В нашем случае $l_n = 1.0$ м, $l_3 = 0.3$ м. Конструктивно принимаем длину выступающей части анкера $l_k = 0.2$ м и длину анкера $l_a = 1.5$ м.

Определяем несущую способность железобетонного анкера. Несущая способность арматурного стержня $d = 18$ мм: $P_c = R_a$, $F_c = 81$ кН. Здесь $R_a = 320$ кПа — расчетное сопротивление стали растяжению; $F_c = 0.000254$ м² — площадь сечения стержня.

Несущая способность анкера из условия прочности закрепления бетона на стержне определится так: $P_3 = \pi d_a l_3 \tau_a = 86.4$ кН, где $d_a = 0.018$ м — диаметр стержня; $l_3 = 0.3$ м — длина заделки; $\tau_a = 5096$ кПа — удельная прочность закрепления стержня периодического профиля в возрасте 28 сут (при соотношении цемента и песка Ц : П = 1 : 3 [17]).

Несущая способность анкера по условию сцепления бетона со стенкой скважины [17]: $P_{сд} = \pi d_c l_3 \tau_{сд} = 186.1$ кН. Здесь $\tau_{сд} = 11200$ кПа — удельное сопротивление сдвигу бетонного столбика в возрасте 28 сут при соотношении цемента и песка Ц : П = 1 : 3 [17].

Из вычисленных трех значений несущей способности наименьшим является $P_c = 81$ кН, в связи с чем принимаем за расчетную величину несущей способности железобетонного анкера $N_{\text{жбш}} = 80$ кН.

Силу сцепления в массиве рассчитываем по эмпирической формуле [16]:

$$c = 0.003K_{\text{co}}R_o = 189 \text{ кН},$$

где K_{co} — коэффициент структурного ослабления массива ($K_{\text{co}} = 0.5$); R_o — предел прочности при одноосном сжатии в образце ($R_o = 126\,000$ кПа).

Предельное расстояние между анкерами при известной несущей способности анкера $N_{\text{жбш}}$ предлагается определять по формуле

$$a = \frac{\frac{N_{\text{жбш}}}{K_3 K_d} + c}{\varphi \gamma (2Rl_n + l_n^2)}, \quad (6)$$

где $l_n = 1.0$ — глубина нарушенной зоны, м; $\varphi = 38^\circ = 0.6$ рад — угол внутреннего трения массива; $a = 1.8$ — расстояние между анкерами, м; $\gamma = 27$ — объемный вес породы, кН/м³; $R = 3.5$ — радиус свода, м; $c = 189$ — сила сцепления в массиве, кН; $N_{\text{жбш}} = 80$ — несущая способность анкера ЖБШ, кН; $K_3 = 1.5$ — коэффициент запаса по нагрузке; $K_d = 1.2$ — коэффициент динамических нагрузок; $a = 1.8$ — расстояние между анкерами, м.

Необходимое количество анкеров в ряду находим по формуле

$$n = \frac{U_{\text{св}}}{a} + 1 = 5.$$

где $U_{\text{св}} = 7$ — периметр свода выработки, м; a — принятое расстояние между анкерами, м.

Таким образом, расчетные параметры железобетонной анкерной крепи составят: диаметр стержня $d_a = 0.018$ м, длина анкера $l_a = 1.5$ м, расстояние между анкерами и расстояние между рядами $a = 1.8$ м, количество анкеров в ряду $n = 5$, несущая способность анкера $N_{\text{жбш}} = 80$ кН.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования показали возможность оценки устойчивости пород в течение всего срока службы выработки в зоне влияния очистных работ посредством предложенного критерия устойчивости, который зависит от уровня концентрации напряжений на контуре выработки, ширины выработки, объемного веса налегающих пород, глубины отработки, коэффициента Пуассона, среднего сопротивления пород в образце одноосному сжатию, угла падения залежи или наиболее развитой системы трещин, угла встречи оси выработки с наиболее развитой системой трещин, длительной прочности массива, структурного ослабления массива и динамического воздействия взрывных работ.

Установлены области применения всех значений коэффициентов, входящих в формулу (2). Приведен пример инженерного расчета параметров железобетонной анкерной крепи выработки в зоне влияния очистных работ.

Тестовые расчеты в условиях рудника “Заполярный” показали, что выбор типа крепи по критерию устойчивости не противоречит ожидаемым смещениям пород на контуре выработки для применяемых видов крепи и категориям устойчивости СНиП II-94-80.

Рекомендуемые по критерию устойчивости расчетные типы крепи в одинаковых условиях совпадают с рекомендациями по креплению и поддержанию разведочных, подготовительных и нарезных выработок на руднике “Заполярный” и других рудников ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель”, основанными на многолетнем опыте крепления выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Опарин В. Н., Тапсиев А. П., Богданов М. Н., Бадтиев Б. П., Куликов Ф. М., Усков В. А.** Современное состояние, проблемы и стратегия развития горного производства на рудниках Норильска. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.
2. **Фрейдин А. М., Тапсиев А. П., Усков В. А., Назарова Л. А., Запорожцев А. А., Сергунин М. П.** О техническом перевооружении и развитии технологии добычи руды на руднике “Заполярный” // ФТПРПИ. — 2007. — № 3.
3. **Oparin V. N., Tapsiev A. P., Uskov V. A.** Challenges and new engineering solutions modernization of underground productive mines, Congress Proceedings of 21st World Mining Congress & Expo 2008, 7–11 September 2008, Poland, Krakow: Gospodarka Surowcami Minerflnymi, 2008, T. 24, No. 8/1.
4. **Методические указания** по управлению горным давлением при сплошных слоевых и камерных системах разработки с твердеющей закладкой на рудниках Норильского горно-металлургического комбината. — Л.: ВНИМИ, 1981.
5. **Временные методические указания** по проектированию крепи капитальных выработок в условиях Октябрьского и Талнахского месторождений. — Л.: ЛГИ, 1987.
6. **СНиП II-94-80.** Подземные горные выработки. — М.: Стройиздат, 1982.
7. **Рекомендации** по креплению, поддержанию и охране разведочных, капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработок на рудниках “Октябрьский”, “Таймырский” и “Комсомольский” ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель”. — Норильск, 2011.
8. **Рекомендации** по креплению и поддержанию разведочных, подготовительных и нарезных выработок на руднике “Заполярный” ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель”. — Норильск, 2012.
9. **Рекомендации** по креплению капитальных разведочных, подготовительных, нарезных и очистных выработок на руднике “Ангидрит” Управления нерудных горных предприятий ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель”. — Норильск, 2010.
10. **Рекомендации** по креплению горных выработок на шахте “Известняков” рудника “Кайерканский” ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель”. — Норильск, 2011.
11. **РТПП-043-2004.** Регламент технологических производственных процессов по возведению крепей на рудниках ЗФ ОАО “ГМК “Норильский никель”. — Норильск, 2005.
12. **Трушко В. Л., Протосеня А. Г., Матвеев П. Ф., Совмен Х. М.** Геомеханика массивов и динамика выработок глубоких рудников. — СПб.: СПГИ. 2000.
13. **Карелин В. Н., Марысюк В. П., Сергунин М. П., Наговицин Ю. Н., Тапсиев А. П.** Опыт внедрения систем разработки с применением самоходного оборудования на руднике “Заполярный” // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Т. II. Геотехнология. — Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН, 2010.
14. **Борщ-Компаниец В. И., Крайнев Б. А., Логинский А. П. и др.** Оценка влияния трещиноватости на устойчивость массивов горных пород // Горн. журн. — 1980. — № 10.
15. **Каретников В. Н., Клейменов В. Б., Нуждихин А. Г.** Крепление капитальных и подготовительных горных выработок: справочник. — М.: Недра, 1989.
16. **Баклашов И. В., Картозия Б. А.** Механика подземных сооружений и конструкции крепей. — М.: Недра, 1992.
17. **Рогинский В. М.** Проектирование и расчет железобетонной крепи. — М.: Недра, 1971.

Поступила в редакцию 11/V 2014