

УДК.622.831 (575.2) (04)

**ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ
В ГОРНЫХ РАЙОНАХ**

Р.Н. Ялымов – канд. техн. наук

Problems which arise at designing underground mines in mountain areas are considered. Features of the intense condition of a file of breeds in mountain areas are not taken into account. In settlement dependences it is incomplete quantitative values structural a file are submitted.

При проектировании подземных рудников для надежного и экономичного строительства и безопасной эксплуатации сложных конструкций подземных выработок необходимо более детально учитывать основные природные свойства геологической среды. Это связано с тем, что многие рудные месторождения расположены в горных районах и имеют ряд характерных особенностей: резко выраженный рельеф местности, сложные горно-геологические и геомеханические условия разработки, неравномерное оруденение, повышенное естественное напряженное состояние массива, разнообразие условий залегания и физико-механических свойств руд и вмещающих пород, нарушенность массива пород тектоническими трещинами и разломами разных порядков, которые оказывают существенное влияние на выбор систем разработки и устойчивость их конструктивных элементов.

Исходное поле напряжений в массиве пород в горно-складчатых областях является определяющим фактором при геомеханическом обосновании параметров конструктивных элементов систем разработки и характеризуется преобладающим влиянием тектонической составляющей, которая в 3–4 и более раз превышает гравитационные напряжения.

Существующие модели напряженного состояния в верхних частях земной коры учитывают действие как гравитационных, так и тектонических сил и описывают общее поле напряжений (фоновые напряжения). Ввиду того, что массив разбит крупными тектоническими разломами на фоне усредненных напряжений происходит их перераспределение с образованием зон повышенной и пониженной концентрации. Наибольшая концентрация напряжений наблюдается в непосредственной близости от тектонически активных разломов, которая по мере удаления от них убывает по экспоненциальной зависимости.

Анализ опыта отработки месторождений показал, что на верхних горизонтах при небольших напряжениях до глубин 100–150 м обрушения в камерах имели в основном локальный характер и их количество составляло всего 2–10% от общего числа отработанных камер. При дальнейшем углублении горных работ до 200–400 м наблюдается явная тенденция к росту проявлений горного давления и количество обрушений кровли камер и целиков увеличивается до 30–50% [1].

Увеличение количества разрушений конструктивных элементов с глубиной связано с изменением напряженного состояния массива пород. При этом на одних и тех же глубинах

разных месторождений интенсивность проявления горного давления неодинаковая, что обусловлено разными уровнями напряжений в массиве.

Установлено также, что проявления горного давления имеют различную интенсивность даже в пределах одного месторождения. Это связано с тем, что неравномерное распределение естественных полей напряжений характерно для разных участков одного и того же месторождения на одинаковых глубинах.

Поэтому для правильной оценки устойчивости инженерных сооружений, расположенных в горных районах с современной тектонической активностью, наряду с детальным изучением строения и свойств массива горных пород важное значение имеют исследования их напряженного состояния.

Вопрос о формировании полей напряжений в верхних частях земной коры приобретает особое значение для горно-складчатых областей. Одной из характерных их особенностей является резко выраженный рельеф поверхности, под действием которого в массиве могут образоваться зоны как повышенных, так и пониженных напряжений.

В настоящее время во всех моделях, характеризующих напряженное состояние горного массива, учитывается влияние гравитационных и тектонических сил на формирование природного поля напряжений. Однако эти модели отражают общее (фоновое) напряженное состояние массива и не учитывают концентрацию напряжений на отдельных участках в районе активных тектонических разломов и влияния рельефа местности.

Выполненные экспериментальные исследования [1, 6, 7, 10] на рудниках Кадамжай, Чон-Кой, Хайдаркан по измерению напряжений в районе крупных тектонических нарушений показали также, что на фоне усредненных напряжений наблюдается крайне дискретное распределение напряжений вследствие наличия тектонических нарушений. В случае формирующихся активных разломов концентрация напряжений сосредоточивается у их границ, а внутри блока по мере удаления от разломов величина напряжений уменьшается. Ориентация главных напряжений в местах разломов отличается от соответствующих на-

правлений, отмеченных на границе. Максимальные сжимающие напряжения действуют вкрест простирания разломов. Для условий сформировавшихся разломов непосредственно у их границ напряжения меньше, чем внутри блока. В самом блоке наличие более мелких нарушений приводит к формированию участков с повышенной и пониженной концентрацией напряжений. Регистрацией сейсмических импульсов в этом районе также выявлено, что наибольшая концентрация напряжений наблюдается непосредственно у активных разломов или в зоне их влияния. Следовательно, наличие тектонических нарушений приводит к перераспределению напряжений в массиве пород с образованием зон с различной концентрацией напряжений. Тогда обобщенная модель природного напряженного состояния массива пород в горно-складчатых областях принимает вид:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_0 + T + \lambda \gamma H^p + T_n \\ \sigma_2 &= \sigma_0 + \delta T + \lambda \gamma H^p + T_n \\ \sigma_3 &= \sigma_0 + \beta T + \gamma H^p + T_n, \end{aligned} \quad (1)$$

где σ_1 – максимальные горизонтальные напряжения; σ_2 – минимальные горизонтальные напряжения; σ_3 – вертикальные напряжения; σ_0 – остаточные тектонические напряжения; T – главные горизонтальные тектонические напряжения в рассматриваемом массиве; T_n – тектоническая составляющая, обусловленная влиянием активных разрывных нарушений; γH^p – гравитационные напряжения, обусловленные давлением столба пород и влиянием рельефа местности; λ – коэффициент бокового отпора в гравитационном поле напряжений; δ – коэффициент бокового отпора в поле тектонических напряжений; β – коэффициент вертикального отпора в поле тектонических напряжений [1].

Аналогичные результаты распределения напряжений в районе тектонических нарушений установлены натурными измерениями на ряде других месторождений. Так, на рудниках Горной Шории, Норильска, Кольского полуострова измерения напряжений в районе активных разрывных нарушений показали, что их концентрация в 2–3 раза выше, чем вне на-

рушений [2–5]. В связи с этим общее поле напряжений в породном массиве будет меняться.

Однако эти особенности формирования напряженного состояния в горных районах не отражены в существующих нормативных документах и не учитываются при проектировании, что и приводит к негативным последствиям.

Другой важной геомеханической характеристикой массива является структурный фактор, так как горному массиву свойственна высокая степень неоднородности. Более высокая степень неоднородности наблюдается в массивах, сложенных различными горными породами. Кроме того, в массивах пород часто встречаются геологические нарушения и повсеместно развита естественная трещиноватость. В результате расчленения поверхностями структурных неоднородностей массив горных пород имеет ярко выраженную блочную структуру, причем размеры отдельных структурных блоков обычно существенно различаются между собой и определяются расстояниями между соседними поверхностями структурных неоднородностей.

Согласно методических и нормативных документов, оценка прочности трещиноватого массива производится через коэффициент структурного ослабления. В зависимости от интенсивности трещиноватости его значение на разных месторождениях принимается от 0,1 до 0,9. Недостаток такого подхода заключается в том, что учитывается трещиноватость, характерная для массива в целом, а не для отдельных камер, т.е. не учитывается размер конкретного конструктивного элемента.

Структурные ослабления снижают прочность конструктивных элементов. Обследования камер на рудниках Терексай, Хайдаркан – 1, Чаувай показали, что обрушения трещиноватой кровли происходили на небольших глубинах 25–100 м, несмотря на то, что пролеты данных камер были в 1,25–3,0 раза меньше, чем предельные пролеты для монолитной кровли [6, 10].

При разработке методики оценки устойчивости кровли камер был проведен анализ и статистическая обработка опытных данных, полученных в результате шахтных исследований с целью установления количественных за-

висимостей коэффициентов устойчивости трещиноватой кровли от влияющих факторов [8–10].

В общем виде коэффициент устойчивости трещиноватой кровли представляется как функция

$$K_T = f(W, \ell_0, h_n, \sigma_v, K_n, \sigma_b, C_T), \quad (2)$$

где W – показатель интенсивности трещиноватости (количество структурных блоков в кровле камеры); ℓ_0 – предельный пролет монолитной кровли, м; h_n – мощность несущего слоя, м; σ_v – вертикальное напряжение в массиве, МПа; K_n – коэффициент вертикальной нагрузки на кровлю от налегающих пород; σ_b – боковое давление, МПа; C_T – сцепление по трещине, МПа.

Уравнение связи имеет вид

$$K_T = W^{-a} \frac{\ell_0 K_n \sigma_v}{h_n (C_T + \sigma_b)}, \quad (3)$$

где a – коэффициент пропорциональности. Значения сцеплений C_T и коэффициентов “ a ” определяли методом наименьших квадратов. Величины сцеплений по трещине составили: для брекчий – $C_T = 0,4$ МПа, известняков – $C_T = 0,2$ МПа, сланцев – $C_T = 0,08$. Сцепление данных пород по испытаниям монолитных образцов составляют соответственно 20, 13, 7 МПа. Следовательно, полученные значения сцеплений по трещине в 50–90 раз меньше величины сцепления породы в куске, что хорошо согласуется с данными других авторов [8, 9].

Для выявления степени влияния структурных ослаблений на прочность целиков были проведены лабораторные и шахтные экспериментальные исследования. Установлено, что одним из существенных факторов, снижающих прочность целиков, является направление основных тектонических трещин относительно оси целика. Коэффициенты структурного ослабления целиков K_c изменяются по параболической зависимости от угла наклона трещин. Наибольшее снижение прочности происходит при углах 40–50° [8, 10].

С учетом комплекса влияющих факторов значение коэффициента структурного ослабления для практических расчетов определяется формулой:

$$K_c^u = 0,85 C_m K_c^a N_w^{-0,2}. \quad (4)$$

Разработанные критерии оценки устойчивости целиков учитывают не структурную нарушенность массива в целом, а конкретного конструктивного элемента. Получены количественные значения конструктивной прочности грузонесущих элементов подземных сооружений.

Таким образом, при проектировании подземных рудников и расчетах основных параметров подземных выработок необходимо учитывать геомеханические условия рассматриваемого месторождения.

1. Сложное структурное строение месторождений, расположенных в горно-складчатых областях, обуславливает неоднородное распределение напряжений в массиве пород как по глубине, так и по площади.

2. Установлено, что наличие тектонических трещин существенно снижает несущую способность подземных конструкций.

При определении устойчивости несущих элементов систем разработки в трещиноватом горном массиве необходимо учитывать не нарушенность массива в целом, а геометрические параметры непосредственной кровли и целиков, соотношение вертикальных и горизонтальных напряжений в массиве, трещиноватость, сцепление по трещинам, их ориентировку и интенсивность.

3. Эти особенности формирования напряженного состояния пород и нарушенность массива в горных районах трещинами и разломами разных порядков не отражены в существующих нормативных документах и не учитываются при проектировании. Поэтому назрела необходимость в пересмотре ряда инструктивных и нормативных документов по проектированию рудников в горных районах.

Литература

1. Ярлымов Н.Г. Теоретические основы управления давлением пород при разработке месторождений в горных районах. – Бишкек: Илим, 1992. – 184 с.
2. Кропоткин П.Н. Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений // Напряженное состояние земной коры. – М.: Наука, 1973.
3. Козырев А.А., Панин В.И., Иванов В.И. и др. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах. – Ч. I. – Апатиты, 1996.
4. Марков Г.А., Савченко С.Н. Напряженное состояние пород и горное давление в структурах гористого рельефа. – Л.: Наука, 1984.
5. Петухов И.М., Батугина И.М. Возникновение тектонически напряженных зон в горном массиве // Горный журнал. – 1988. – № 7.
6. Айтматов И.Т., Ярлымов Н.Г., Кожогулов К.Ч., Рогожников О.В., Ярлымов Р.Н. Формирование поля напряжений в районе активных разломов Тянь-Шаня // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. – Новосибирск: Институт горного дела РАН, 1999.
7. Мамбетов Ш.А., Мамбетов А.Ш., Абдиев А.Р. Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня // Горный журнал. – 2002. – № 10.
8. Борц-Компаниец В.И., Макаров А.Б. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей. – М.: Недра, 1986. – 271 с.
9. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
10. Айтматов И.Т., Мансуров В.А., Рогожников О.В., Ярлымов Р.Н. Устойчивость подземных камер в трещиноватом горном массиве. – Красноярск: Сиб. ГАУ, 2003. – 152 с.