

УДК 622.272

А.Э. Адигамов, М.М. Хайрутдинов

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАГРУЗОК НА ЗАКЛАДКУ**

Приведен расчет нормативных характеристик закладки для условий Ждановского месторождения.

Семинар № 15

Анализ результатов исследований физико-механических свойств руды и вмещающих пород, проводившихся в период разведки и эксплуатации на различных участках Восточного рудного узла Ждановского месторождения, показывает практически их полную идентичность.

Основные параметры рудных тел, слагающих месторождения, представлены в табл. 1.

Плотность руд и пород изменяется в пределах 3,5 до 2,7 т/м³, модуль Юнга - 12 до 7 · 10⁻⁴ МПа, всестороннего сжатия - 10 до 6 · 10⁻⁴ МПа.

Прочностные характеристики руд и вмещающих пород определяют устойчивость по параметру предельных напряжений. Однако решающую роль при оценке устойчивости массива в целом имеет структурный фактор, учитываемый коэффициентом структурного ослабления.

В табл. 2. приведены расчетные данные прочности пород в массиве с учетом коэффициента структурного ослабления.

Расчет нормативных характеристик закладки для условий Ждановского месторождения проводим по известным методикам, основные используемые положения которых приведены ниже.

На массив закладки в зависимости от условий применения воздействуют ста-

тические (гравитационные и тектонические) силы и динамические (от взрывных работ) нагрузки, накладывающиеся на имеющееся статическое поле напряжений. Искусственные массивы могут испытывать деформации сжатия, растяжения, сдвига, изгиба и «работать» в условиях одноосного, двухосного и объемного сжатия. Универсальной характеристикой закладки считают ее прочность, при одноосном сжатии по допустимому пределу которой и определяют нормативную прочность.

Требуемую прочность закладки рассчитывают по одному, а чаще нескольким факторам: устойчивости вертикального обнажения, горизонтальной подработке, допустимым деформациям закладки, возможности движения по ней оборудования. В качестве нормативной прочности принимают наибольшую из рассчитанных.

Нагрузку на искусственный массив, его элементы в зависимости от гипотезы горного давления задают как вес породы в объеме свода естественного равновесия, слабого прослойка, стол-ба пород до поверхности или находят через смещения вмещающих пород в условиях совместного деформирования горного и искусственного массивов. Кроме этого, учитывают стадийность выемки и пространственное положение рассчитываемого элемента. Размеры подработки мас-

Таблица 1
Основные параметры рудных тел до гор.-430 м

| Месторождение | Рудное тело | Угол падения, град | Длина, м | | Борт 0,5% Ni | | | Борт 0,6% Ni | | |
|---------------|----------------|--------------------|----------------|------------|----------------------|------|------|----------------------|------|------|
| | | | по простиранию | по падению | истинная мощность, м | | | истинная мощность, м | | |
| | | | | | от | до | ср | от | до | ср |
| Ждановское | Центральное | 47 | 1420 | 600 | 2,4 | 75,9 | 29,7 | 2,5 | 70,5 | 21,9 |
| | Юго-Восточное | 53 | 1940 | 620 | 2,1 | 58,5 | 14,2 | 2,1 | 48,5 | 11,6 |
| | Восточное | 32 | 360 | 470 | 3,6 | 33,1 | 12,5 | 3,5 | 33,1 | 12,3 |
| | Юго-Западное 1 | 37 | 660 | 950 | 2,7 | 55,1 | 22,5 | 2,1 | 42,1 | 11,3 |
| | Юго-Западное 2 | 39 | 1060 | 390 | 1,4 | 39,1 | 11,6 | 1,4 | 36,9 | 8,2 |
| | Западное | 49 | 440 | 750 | 5,2 | 33,3 | 16,2 | 2,4 | 33,3 | 11,4 |
| Тундровое | Основное | 48 | 900 | 780 | 2,9 | 44,2 | 12,1 | 2,7 | 34,6 | 8,9 |

Таблица 2
Прочность пород в образцах и в массиве

| Породы | Прочность в образце, МПа | Прочность в массиве, МПа | |
|-----------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | в зоне неустойчивых пород | в зоне устойчивых пород |
| Алевриты | 100-120 | 20 | 60 |
| Песчаники | 120-140 | 40 | 80 |
| Габбро | 140-200 | 60 | 90 |
| Диабазы | 180-240 | 60 | 120 |

сива горных пород при определении нагрузок на несущие опоры из закладки ограничивают пределами призабойной области пониженных напряжений в связи с отставанием формирования во времени и пространстве зоны опорного давления в закладочном массиве, плавностью оседания подработанных пород.

При применении камерных вариантов систем разработки на пологих и наклонных месторождениях в начальный период нагрузку от вышележащих пород воспринимают междукамерные и панельные рудные целики, которые взаимодействуют с окружающим массивом через зоны опорного давления. Искусственные опоры в этом случае нагружены собственным весом и весом пород в объ-

еме свода обрушения или слоя слабых пород над рудным телом. Закладка на этой стадии разработки повышает несущую способность междукамерных целиков.

Таким образом, в период отработки оставшихся рудных междукамерных целиков основными несущими элементами являются рудные панельные (блоковые) целики, находящиеся в окружении искусственных.

По мере увеличения пролета подработки происходит нарастание деформаций в рудных и искусственных опорах, оседание налегающей толщи пород в условиях совместного деформирования комбинированных целиков. Продольная

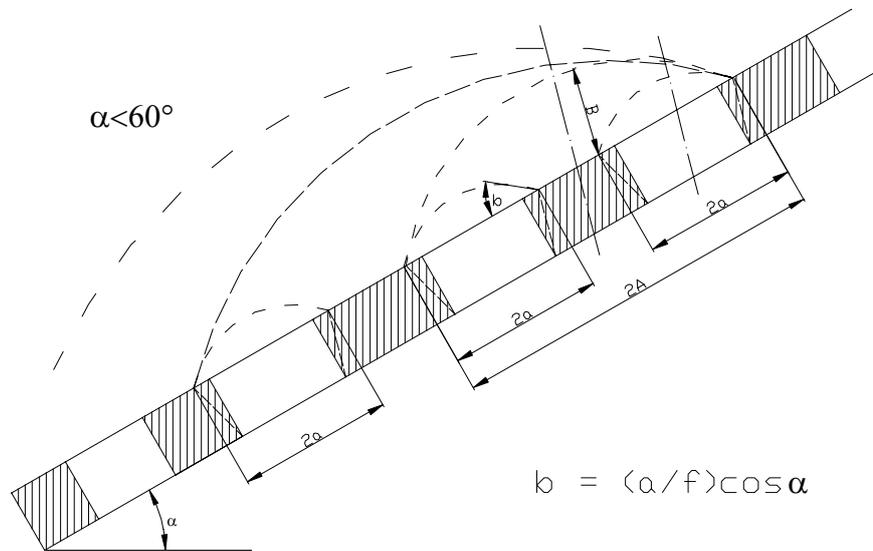


Схема к определению высоты свода естественного равновесия

деформация комбинированного целика ($\Delta h_p, \Delta h_3$) от сжимающих нагрузок (м):

$$\Delta h_p = \Delta h_3 = \frac{h\gamma H}{10^6 E_p} \left[\frac{S_{II}}{S_{II}} - (1 - 2\mu_p) \right], \quad (1)$$

где h - высота целика, м; $\gamma = \rho_{II}g$ - удельный вес налегающих пород, Н/м³; ρ_{II} - плотность пород, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с²; H - глубина разработки, м; S_{II} - площадь кровли, поддерживаемая целиком, м²; S_{II} - площадь поперечного сечения рудного целика, м²; E_p - модуль пропорциональности для руды, МПа.

Упрочняющее влияние закладки на рудные целики, находящиеся в окружении искусственных, оценивается коэффициентом упрочнения K_y , показывающим степень повышения несущей способности рудных опор.

Выемка целиков, воспринимающих максимальные нагрузки ведет к нарастанию нагрузки на искусственный массив, деформирующийся совместно с налегающей толщей пород. Процесс осе-

дания кровли и обжатия закладки носит затухающий характер.

В подработанных породах формируется зона растягивающих напряжений, в которой происходит разупрочнение пород. Размеры зон и интенсивность расслоений являются функцией пролета подработки, угла наклона залежи, коэффициента бокового отпора. Влияние подземной выработки обычно распространяется на высоту 1,5 пролета обнажения. Нагрузки от отслоившихся пород суммируются с нагрузками от совместных деформаций и собственного веса.

При небольших размерах пологих и наклонных залежей расчет нагрузки сводится к определению высоты свода и веса пород в объеме зоны обрушения. Высоту свода обрушения определяют сравнением растягивающих напряжений в кровле камер с пределом прочности пород на растяжение:

$$h_{обр} = \frac{l(1.12 - \eta)\gamma H - [\sigma_{PAC}]}{(1.3 + 4.9\beta)\gamma H + 4.9[\sigma_{PAC}]}, \quad (2)$$

где η - коэффициент бокового распора; $[\sigma_{рас}]$ - предел прочности пород кровли на растяжение, Па. Формула справедлива при боковом распоре, равном $0,2 \div 0,3$, и отношении глубины расположения кровли камер к ее пролету, большем двух.

Существуют методы расчета высоты свода обрушения через угол сдвигения и крепость пород:

$$h_{обр} = 0,25l \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right); h_{обр} = p / 2f, \quad (3)$$

где l - минимальный размер подработки, м; φ - угол внутреннего трения пород кровли, градус; $f = [\sigma_{сж}]/100$ - крепость пород по шкале проф. М. М. Протодяконова.

На рис. 2 показана схема определения свода естественного равновесия в зависимости от ширины подработки массива.

Реактивное влияние закладки, снижающее размер области расслоения пород, из-за ее высокой податливости незначительно и может быть определено зависимостью

$$h_{обр} = h_{РАС} \left(1 - \frac{1,1\sigma_3}{\gamma H} \right), \quad (4)$$

где $h_{рас}$ - размер зоны растягивающих напряжений (обрушения) при отсутствии давления на контуре, м; σ_3 - давление закладки на контуре кровли, МПа; γH - напряжение в нетронутым массиве на уровне кровли, МПа.

На крутопадающих месторождениях, разрабатываемых камерными и слоевыми вариантами систем с твердеющей закладкой, нагрузки на искусственный массив создаются в основном горизонтальными составляющими гравитационного и тектонического полей, действие которых проявляется в сближении стенок очистного пространства. Закладка вследствие высоких компрессионных свойств не оказывает существенного

влияния на напряженное состояние пород, не изменяет характер распределения напряжений в окружающем массиве. Рудные целики и горный массив остаются главными несущими элементами. Назначение закладки в этом случае состоит в предупреждении движения разупрочненного массива боков камер и повышении их устойчивости. Количественные значения напряжений и деформаций в массиве закладки определяются величиной сближения боков выработанного пространства в условиях упругого или упругопластического деформирования пород зоны разгрузки в поле гравитационных и тектонических сил с учетом реакции искусственного массива, уменьшающего смещение пород в сторону очистного пространства. Влияние разработки распространяется во вмещающие породы на глубину, равную $1/4$ пролета:

$$h_{роз} = \frac{(h_B + l_B)}{6}, \quad (5)$$

где h_B , l_B - высота и ширина выработанного пространства, м.

При сплошной выемке в кровле также образуется зона пониженного давления (разгрузки), а в рудном массиве - зона повышенного (опорного) давления. По мере увеличения пролета обнажения и заполнения выработанного пространства закладочными смесями породы кровли взаимодействуют с массивом закладки, который ведет себя как податливая крепь, пока не реализует полностью возможность деформироваться под нагрузкой и не воспримет полный вес столба пород. Налегаящая толща действует подобно плите, закрепленной одним концом над рудным массивом и опирающейся другим на закладочный массив. Размер зоны разгрузки пропорционален усадке закладочного материала. Коэффициент концентрации на-

пряжений в рудном массиве пропорционален усадке до значений $\varepsilon = 3\%$. При $\varepsilon \leq 3\%$ смещение налегающей толщи происходит плавно без разрывов, при $\varepsilon > 3\%$ в кровле происходит расслоение пород. Значения коэффициента концентрации напряжений в рудном массиве определяется пролетом подработки:

$$K_K = 2,1 - 1,1e^{-\left(\frac{L}{80}\right)^{1,5}}, \quad (6)$$

$$K_K \frac{0,8 \cdot l_n n + 14}{\sqrt[3]{H}}, \quad (7)$$

где e - основание натурального логарифма; L - пролет подработки, м; H - глубина работ, м; l_n - ширина вынимаемой ленты, м; n - число одновременно обрабатываемых лент.

Как показывает практика подземной разработки месторождений, закладоч-

ный массив подвергается действию веса налегающей толщи пород только на расстоянии 40-60 м от забоя, в зоне очистных работ он пригружен собственным весом и весом технологического оборудования.

В инженерных расчетах применяют упрощенные методы. Для целиков из закладки ограничиваются определением нормальных напряжений по опасному сечению в предположении, что целики работают в условиях одноосного сжатия, а напряжения по площади сечения распределены равномерно. Фактическую неравномерность распределения напряжений в целиках учитывают введением коэффициента запаса прочности. Тогда нормальные напряжения в закладке $\sigma = P/S_3$, где P - нагрузка на искусственный целик; H ; S_3 - площадь сечения целика, м². **ТИАБ**

Коротко об авторах

Адигамов А.Э. – кандидат технических наук, доцент,
Хайрутдинов М.М. – кандидат технических наук, доцент,
 Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 15 симпозиума «Неделя горняка-2008».
 Рецензент д-р техн. наук, проф. *Е.В. Кузьмин*.

