Записки Ленинградского горного института им.Г.В.Плеханова
Т. 123. Л., 1990

УДК 622.83

Н.Ф.ДОНЦУЛ, И.В.СИВУХИН, С.А.ГРАФКИН

ИЗУЧЕНИЕ РАССЛАИВАЕМОСТИ ПОРОД МЕЖДУПЛАСТЬЯ

Расслаиваемость слоистой кровли камер существенно уменьшает изгибную жесткость слоев, что приводит к значительному увеличению прогибов нижних слоев кровли и формированию предельных зон. Поэтому прогноз расслаиваемости пород междупластий является важным с точки зрения обеспечения необходимого технологического режима ведения очистных работ и выбора оптимальных пролетов камер.

В работах [1-3], посвященных расчету расслаиваемости пород кровли камер, учитывается система усилий, действующая в одной плоскости, в направлении, перпендикулярном напластованию пород, тогда как влиянием усилий бокового распора пренебрегают. Однако ослабленные контакты находятся в объемном напряженном состоянии и при соответствующем напряженном состоянии переходят в предельное состояние. Значительным затруднением в разработке метода расчета расслаиваемости пород является отсутствие количественных прочностных характеристик ослабленных контактов при объемном напряженном состоянии.

Существенным моментом новизны в предлагаемом подходе к расчету расслаиваемости является использование критерия прочности Кулона – Мора, что позволяет выполнить прогноз расслаиваемости пород междупластья с учетом разнокомпонентного бокового распора.

Расчет расслаиваемости пород междупластья выполним при следующих предположениях: породы имеют слоистое строение с близкими упругими характеристиками; породы в пределах слоев однородны, изотропны и подчиняются обобщенному закону Гука; прочность межслоевых контактов меньше прочности смежных слоев. В результате расчета необходимо определить зарождение и прорастание трещины расслоения в породах междупластья.

Задача расслоения пород междупластья включает два этапа. На первом этапе определяется зарождение трещин расслоения в точке или на отдельном участке ослабленного контакта, а на втором – прорастание трещин вдоль поверхности ослабления, находящейся над выработанным пространством и в пределах зоны возможного зарождения трещин расслоения.

Так как ослабленные контакты иногда имеют некоторую незначительную толщину (в пределах нескольких миллиметров), то площадки скольжения при зарождении трещин в пределах материала контакта будут ориентироваться в соответствии с основными представлениями Кулона для однородного материала, находящегося в пространственном напряженном состоянии. При этом

углы между главными напряжениями σ_1, σ_3 и площадками скольжения будут равны $\pi/4 \pm \rho/2$. Иногда на больших глубинах и при соответствующих геометрических размерах выработанных пространств и расположения целиков формируемое среднее напряжение на определенных участках ослабленного контакта удовлетворяет условию

$$(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \geq 3[\sigma_{сж}],$$

где σ_2 – промежуточная компонента напряжений, МПа; $[\sigma_{сж}]$ – предел прочности при одноосном сжатии образца, МПа.

В этом случае площадки скольжения практически совпадают с площадками максимальных касательных напряжений. Далее процесс формирования таких трещин в материале контакта будем называть трещинами зарождения расслоения. Для расчета зарождения трещин расслоения пород междупластья примем условие прочности Кулона – Мора [I]:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq C_i + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \operatorname{tg}\rho_i, \qquad (I)$$

где σ_1, σ_3 – максимальная и минимальная компоненты напряжений в проверяемой на прочность точке контакта, МПа; C_i и ρ_i – коэффициенты сцепления и угол трения по контакту ослабленного контакта, МПа, град.

Средневзвешенные значения коэффициента сцепления и угла трения по контакту представим в виде

$$\begin{cases} C = K_C C_0; \\ \rho = K_\rho \rho_0, \end{cases} \qquad (2)$$

где K_C, K_ρ – коэффициенты структурного ослабления, корректирующие механические характеристики C и ρ контакта; C_0, ρ_0 – коэффициент сцепления и угол внутреннего трения материала контакта в образце.

Для удобства исследования левую и правую части выражения (I) разделим на γH и представим в виде

$$\Delta R(x,y) = \frac{\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3}{2} - \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3}{2} \operatorname{tg}\rho_i \geq \bar{C}_i, \qquad (3)$$

где $\bar{\sigma}_1 = \frac{\sigma_1}{\gamma H}$; $\bar{\sigma}_3 = \frac{\sigma_3}{\gamma H}$; $\bar{C}_i = \frac{C_i}{\gamma H}$.

Из выражения (3) следует, что при $\Delta R(x,y) < 0$ расслоение в данной точке не зародится, потому что касательное напряжение недостаточно даже для преодоления сил трения. При $\Delta R(x,y) > 0$ расслоение в точке возможно, если

$$\Delta R(x,y) \geq \bar{C}_i. \qquad (4)$$

Образующиеся площадки сдвига в материале ослабленного контакта ориентируются под некоторыми углами к поверхности ослабленного контакта и определяются напряженным состоянием и прочностными характеристиками материала самих контактов. Но так как прочность смежных слоев больше прочности ослабленного контакта, то прорастание трещин расслоения произойдет, если проекция касательных усилий вдоль ослабленного контакта будет равна или превзойдет силы трения и сцепления на ослабленном контакте. В соответствии с представлениями [2] условие прорастания трещин расслоения имеет вид

$$S_{yi} \geq C_i^* + T_{yi} \operatorname{tg} \rho_i , \qquad (5)$$

где

$$S_{yi} = \int_{\ell_{oi}}^{1} \bar{\tau}_{xy}(x, y_i)dx ; \; T_{yi} = \int_{\ell_{oi}}^{1} \bar{\sigma}_y(x, y_i)dx ;$$

$$C_i^* = (1-\ell_{oi})\bar{c}_i ; \; \bar{\tau}_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma H} ; \; \bar{\sigma}_y = \frac{\sigma_y}{\gamma H} ;$$

S_{yi} , $T_{yi}\operatorname{tg}\rho_i$, C_i^* – усилия в единицах $\gamma H \ell$ соответственно касательные, трения и сцепления; $\sigma_y(x, y_i)$, $\tau_{xy}(x, y_i)$ – нормальные и касательные напряжения на ослабленном контакте, МПа; ℓ_{oi} – безразмерное расстояние (в единицах ℓ) от начала системы координат XOY до расчетной точки начала расслоения на ослабленном контакте.

В качестве иллюстрации расчета расслоения рассмотрим два случая подработки междупластья. В первом случае (рис.I,а) отработанная площадь верхнего угольного пласта значительно больше, чем у нижнего пласта, а во втором (рис.I,б) – на верхнем оставлен целик, вертикальная ось симметрии которого близка к симметрии ширины очистного пространства нижнего пласта. Расчет выполним при следующих данных: глубина ведения работ H_1 = 500 м, мощность междупластья H_2 = 100 м, ширина выработанного пространства $2x_0$ = 100 м, мощность отрабатываемого пласта $2h$ = 1,4 м, а его прочность k^* = 10 МПа, компоненты бокового распора $\lambda_x = \lambda_z$ = = 0,7.

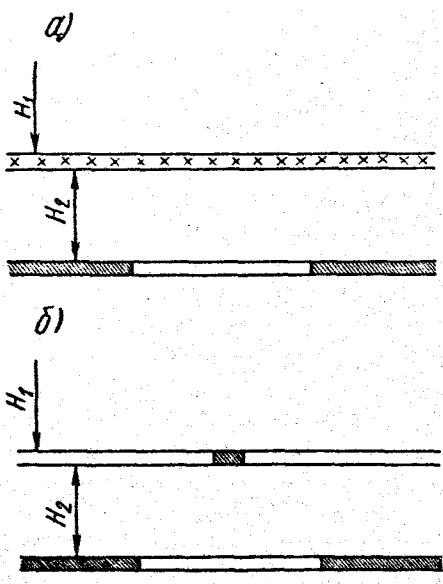


Рис.1. Расчетная схема распределения напряжений в междупластье

Беличины $\bar{\tau}_{xy}(x,y_i)$, $\bar{\sigma}_y(x,y_i)$, S_{yi} , T_{yi} , $\bar{\sigma}_1$ и $\bar{\sigma}_3$, входящие в условия (I) и (5), определяются методами теории упругости [4] для обобщенной плоской деформации.

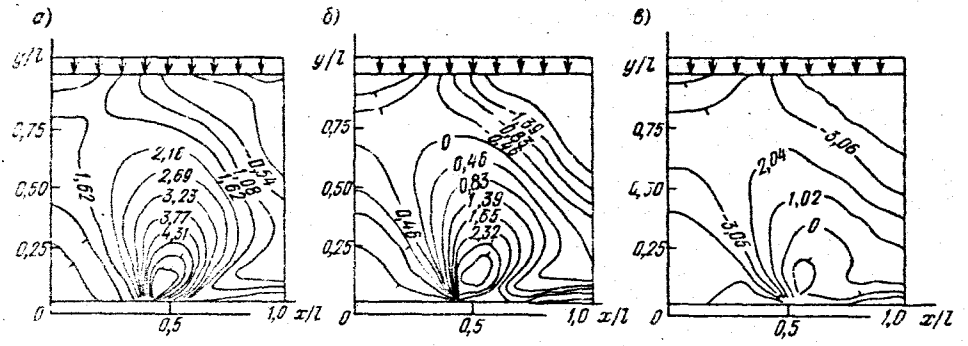


Рис.2. Распределение напряжений в подрабатываемом междупластье по результатам моделирования

На рис.2 приведены фрагменты изолиний $\Delta R(x,y)$, для рис.I,а при $\rho = 9$ (рис.2,а), $\rho = 2I$ (рис.2,б) и $\rho = 33$ (рис.2,в). Изолинии представлены в единицах γH, для перехода в размерные их надо умножить на γH. Изолинии $\Delta R(x,y) = 0$ изображают область возможного нарушения сплошности ослабленного контакта при данном угле трения при отсутствии сцепления. Остальные изолинии выражают количественное превышение безразмерных касательных напряжений над безразмерными напряжениями трения на площадках скольжения. Отметим, что площадки скольжения в общем случае не совпадают с поверхностью ослабленного контакта. Применительно к рис.I,а из приведенных изолиний видно, что зоны расслоений формируются над краевой частью угольного пласта.

Анализ результатов расчета по расслаиваемости для рис.I,б показал, что в области целика существенно увеличивается крутизна поверхности $\Delta R(x,y)$ по сравнению с краевой частью угольного пласта. Поверхность $\Delta R(x,y)$ имеет наибольшую высоту при центральном целике, а для рис.I,а – наименьшую. Следовательно, при прочих равных условиях, возможность перехода пород в предельное состояние при наличии центрального целика наибольшая, а для рис.I,а – наименьшая. Это видно из того, что действующая нагрузка на пролет очистной выработки при центральном целике больше, чем при равномерно распределенной нагрузке, а целик формирует девиатор напряжений с напряжениями, большими по абсолютной величине, чем при равномерной нагрузке.

Следует заметить, что используемое в работах [I, 2] условие зарождения трещин расслоения, учитывает усилия, действующие в одной плоскости и только в направлении, перпендикулярном напластованию пород, тогда как условие (I) учитывает пространственный характер задачи и не зависит от ориентации поверхности ослабления. Сопоставление результатов рассмотренных примеров по предлагаемому методу с расчетом по методу С.Т.Кузнецова показал, что зоны расслоения по критерию Кулона – Мора значительно больше, чем при использовании условия специального предельного состояния.

В зависимости от составляющих бокового распора и при прочих равных условиях расчетные зоны по предлагаемому методу могут как увеличиваться, так и уменьшаться.

Предложенный метод расчета расслоения пород междупластий позволяет прогнозировать зарождение и прорастание трещин расслоения на основании их геологического строения, составляющих бокового распора, геометрических размеров очистных пространств, целиков и механических характеристик ослабленных контактов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Донцул Н.Ф. Разработка методов расчета отслоения и расслоения пород кровли горизонтальных выработок прямоугольного сечения / ВНИМИ. Л., 1977.

2. Кузнецов С.Т., Воронин И.Н. Методическое пособие по изучению слоистости и расслаиваемости осадочных пород / ВНИМИ. Л., 1968.

3. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Физматгиз, 1960.

4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж.Н. Теория упругости. М.: Наука, 1975.