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

УДК 622.27

О.В.КОВАЛЕВ, В.Г.ЛАБАЗИН

РАСЧЕТ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПЛАСТЕ И НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРОДАХ НЕОДНОРОДНОЙ КРОВЛИ

Актуальными задачами горной геомеханики являются задачи управления состоянием массива при применении прогрессивных систем разработки. Такой системой, в частности, является система выемки лавами длинных столбов по простиранию "вприсечку". Выбор эффективных мер защиты подготовительных выработок, находящихся в зоне влияния очистного пространства, существенно зависит от напряженно-деформированного состояния (НДС) окружающих его элементов. Значимыми параметрами НДС в этом случае являются экстремальные (до первой посадки кровли) величины опорного давления P_{max} и максимальные значения напряжений, определяющих устойчивость пород слоистой кровли. Наиболее общее представление об указанных параметрах может быть получено на базе положений механики континуума, что в рассматриваемом случае (неоднородная среда, необходимость получения решений в замкнутой форме) является нетривиальной задачей. Ниже кратко излагается методика, определяющая подходы к решению подобных актуальных задач горной геомеханики.

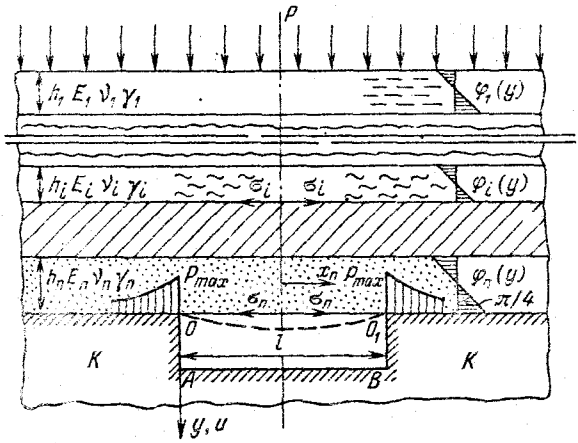


Схема неоднородного породного массива с очистной выемкой $A0_1B$ в пласте с жесткостью K

Рассматривается n-слойная, свободно проскальзывающая (без отрыва) кровля, характеризуемая по каждому слою параметрами: h_i – мощность отдельного слоя; E_i; δ_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона того же слоя; γ_i – плотность составляющих его пород (см. рисунок). Кровля зависает над выработанным пространством пролета $K\ell$, что обуславливает экстремальные значения опорного давления в точках 0 и 0_1 (задача осесимметричная).

Разрабатываемый пласт рассматривается в виде упругого тела, имеющего параметр жесткости K по всему контакту пласт – кровля. Принято, что гипотезе плоских сечений отвечают условия деформирования каждого слоя кровли. В целом к рассмотрению принята плоская задача континуума (в постановке плоской деформации), в которой нагрузка на данной глубине при любом количестве слоев кровли

$$\gamma h = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i h_i + P, \qquad (1)$$

где P – пригрузка на выделенную n–слойную пачку кровли; $\sum_{i=1}^{n} \gamma_i h_i$ – нагрузка от каждого i–го слоя (слои нумеруются сверху вниз).

Напряженно-деформированное состояние массива характеризуется параметрами v (вертикальное перемещение в поперечном сечении слоя) и u_1 (поворот поперечного сечения слоя), причем $u_1(x,y)=u(x)\varphi(y)$. Упомянутые параметры в данных условиях удовлетворяют системе дифференциальных уравнений (по В.Г.Лабазину)

$$\begin{aligned} D u'' - G h (u + v') &= 0; \\ G h (u' + v'') - k v + \gamma h &= 0, \end{aligned} \qquad (2)$$

где

$$D = \sum_{i=1}^{n} \frac{E_i h_i^3}{12(1-\nu_i^2)}, \qquad (3)$$

$$G h = \sum_{i=1}^{n} G_i h_i; \qquad (4)$$

G – модуль сдвига, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$; $u' = \frac{\partial u}{\partial x}$; $u'' = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$; $v' = \frac{\partial v}{\partial x}$; $v'' = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$.

Искомые в данной задаче величины максимального опорного давления

$$P_{max} = K v \qquad (5)$$

имеют завышенные (до 30–40 %) значения в связи с отмеченной особенностью равномерного распределения K по всему контакту пласт – кровля.

Устойчивость породных слоев в кровле может определяться уровнем действующих на их поверхности напряжений, принимающих экстремальные значения в различных местах слоя относительно положения под ним выработанного пространства. Например, на поверхности n–го слоя в середине его пролета уравнение состояния будет иметь вид

$$\sigma_x = E^* \varepsilon_x = \frac{E}{1-\nu^2} u'_y, \qquad (6)$$

где E^* – характеристика пород, отвечающая состоянию их плоского деформирования.

Максимальное значение растягивающих напряжений определяется при $y = h/2$ (ось x привязывается к среднему сечению каждого слоя):

$$\sigma_{max} = \frac{E}{1-\nu^2}\, u' \frac{h}{2} . \qquad (7)$$

Необходимые для решения зависимостей (5) и (7) параметры v и u' находятся из решения системы (2). Решения эти ограничены на бесконечности, удовлетворяют условию симметрии, а в точках 0 (0_I) выполняются требования непрерывности для u, v, Du' и Du''. Необходимые преобразования позволили получить выражение в замкнутой форме:

$$P_{max} = \gamma h \left[1 + \frac{\frac{m\ell^3}{24} - \frac{\ell}{2}}{\frac{\ell}{2} + \frac{\sqrt{2(m+n)}}{m}} + \frac{\ell}{2}\sqrt{2(m+n)} \right], \qquad (8)$$

где $m=(K/D)^{0,5}$; $n=K/2Gh$; γh, D и Gh – определяются из выражений (1), (3) и (4) соответственно; ℓ – величина пролета выработанного пространства (до первого обрушения).

Для растягивающих напряжений по каждому слою в точках $\ell/2$, $h_i/2$ получена зависимость

$$\sigma_{max} = \gamma h \left[\frac{E^* h}{2} \left(\frac{\ell^2}{8} - \frac{A}{m} \right) \right], \qquad (9)$$

где

$$A = \frac{\ell}{2} \; \frac{\frac{\ell^2}{12} m - 1}{\frac{\ell}{2} + \frac{\sqrt{2(m+n)}}{m}} ,$$

$$E^* = \frac{E}{1-\nu^2} ,$$

E, ν, h – принимаются для конкретного слоя кровли.

Вычисления P_{max} и σ_{max} по приведенным формулам могут быть сделаны на любой ЭВМ, включая микрокалькуляторы.

Отметим, что проверочные расчеты, выполненные для апостериорно известных условий, показали достаточную сходимость их результатов с натурой при $\sum_{i=1}^{n} h_i \approx 50$–$100$ м, имея в виду, что $h_{i\,max} \leqslant \ell/3$.

В качестве примера приведем результаты расчетов параметров P_{max} и $\sigma_{max\,i}$ при пролете выработанного пространства ℓ = 35 м, жесткости пласта K = 400 МН/м^3 и характеристиках кровли:

Номер слоя (сверху вниз)	h, м	$E\cdot10^{-4}$, МПа	ν	$G\cdot10^{-4}$, МПа	$\gamma\cdot10^{2}$, МН/м^3
1	2,0	3,9	0,32	1,477	2,2
2	2,5	3,9	0,32	1,477	2,2
3	3,0	3,9	0,32	1,477	2,2
4	3,2	1,5	0,18	6,356	2,5
5	8,0	3,5	0,3	1,346	2,3

В ссответствии с приведенными зависимостями (8) и (9) $P_{max}/\gamma h \simeq 4{,}37$; $-\sigma_{max3} = 4{,}65\ \gamma h$; $-\sigma_{max4} \simeq 11{,}77\ \gamma h$; $-\sigma_{max5} \simeq 10{,}97\ \gamma h$. Значения γh может быть подсчитано по формуле (I).

В заключение отметим, что использованный подход может быть применен не только, как ранее указывалось, для выбора параметров эффективных мер защиты подготовительных выработок, но и для оценки состояния пород, покрывающих отрабатываемые пласты. Последнее представляет наибольший интерес для тех месторождений и их участков, на которых покрывающие породы выполняют функцию водозащитных отложений.