

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗНОМ ПОРЯДКЕ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ**

Описан алгоритм метода расчета горного давления в плоскости пласта, учитывающий необратимость сдвижений массива горных пород. Приводятся результаты прогноза горного давления при разном порядке отработки запасов.

Один из эффективных методов математического моделирования сложного процесса сдвижений горной толщи при развитии очистных работ основан на теории тонких [7] и эквивалентных плит [2]. Он сочетает в себе простую подготовку исходных данных, легкость интерпретации результатов (поскольку результаты приводятся в одной плоскости) и большие возможности при моделировании реальных свойств массива и горнотехнических ситуаций. Однако расчетным методам, основанным на использовании теории плит, присущи существенные недостатки: они анализируют работу основания плиты-кровли только в упругом режиме, не учитывают такие явления, как отжим краевой части пласта, раздавливание целиков, изменение жесткости закладки в процессе усадки, релаксацию горного давления во времени, а также порядок отработки запасов.

Постановка задачи сводится к следующему. Угольный пласт обрабатывается лавами в произвольном порядке, при этом форма выработанного пространства также может быть произвольной. Пласт и выработанное пространство совместно с породами почвы принимаются в качестве неоднородного основания с переменной жесткостью. Вышележащие породы, опускающиеся без видимых разрушений, рассматриваются как тонкая плита, пригруженная массой налегающей толщи. В качестве исходной постановки этой задачи принимается расчетный метод [2]. Уравнение изгиба плиты-кровли при этом имеет вид

$$\partial^4 w / \partial x^4 + 2(\partial^4 w / \partial x^2 \partial y^2) + \partial^4 w / \partial y^4 = q/D - Kw/D, \quad (1)$$

где  $w$  — прогибы точек плиты;  $q$  — нормальная к срединной плоскости и распределенная по поверхности плиты нагрузка;  $K$  — коэффициент жесткости основания;  $D = Eh^3/[12(1 - \nu)]$  — цилиндрическая жесткость плиты;  $E, \nu$  — модуль упругости и коэффициент Пуассона пород кровли;  $h$  — мощность плиты.

Такое уравнение соответствует свободному опиранию плиты на основание. Продольные силы в нейтральной плоскости плиты отсутствуют. Это значит, что в данном случае края плиты не имеют связи с остальным массивом. Данная ситуация встречается довольно часто и соответствует в природе наличию дизъюнктивных нарушений на границах плиты. Как правило, границы шахтных полей блоков или панелей совпадают с такими нарушениями. Поэтому данная постановка при относительной простоте уравнения отражает реальную действительность многих практических случаев.

Необратимость сдвижений толщи является определяющим процессом в механизме перераспределения горного давления при развитии очистных работ [6]. В термодинамическом плане необратимость сдвижений объясняется законами перераспределения и производства энтропии выработанного пространства и окружающего угольного массива. В физическом отношении эти процессы связаны с потоками сдвижений в плоскости пласта от нового выработанного пространства к относительно старому, отжимом краевой части пласта и выравниванием горного давления с течением времени.

Физическим моделированием установлено, что потоки сдвижений от нового выработанного пространства уплотняют ранее выработанное пространство, увеличивая его жесткость [3]. При этом компоненты сдвижений в плоскости пласта и по нормали к напластованию симбатно связаны (чем больше, тем больше), поэтому процесс пригрузки ранее выработанного пространства при отработке смежной лавы удобно моделировать увеличением его жесткости пропорционально приращению опусканий кровли плиты:

$$K' = K + (K_0 - K)(w_i - w_{i-1})/w_i, \quad (2)$$

где  $K'$  и  $K$  — скорректированное и старые значения жесткости ранее выработанного пространства;  $K_0$  — жесткость основания в не-

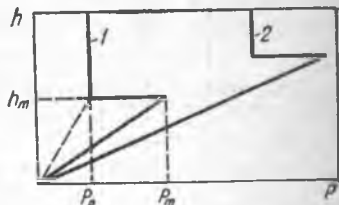
тронутым массиве;  $\omega_t$  и  $\omega_{t-1}$  — новое и старое значения опускания кровли плиты над ранее выработанным пространством.

Отжим можно моделировать, используя результаты контактных испытаний пород при разном уровне исходного напряженного состояния [4].

В результате испытаний установлено, что диаграмму вдавливания пуансона в породу можно представить в упрощенном виде (рис. 1). По мере роста давления на пуансоне появляется нисходящая ветвь деформирования породы. Положение диаграммы зависит от уровня внешнего давления. Наклон восходящего участка диаграммы вдавливания пропорционален нулевому (исходному) модулю деформации породы.

Рис. 1. Зависимость глубины  $h$  вдавливания пуансона в породу от контактного напряжения  $P$ :

1, 2 — положение диаграммы вдавливания для разных уровней внешнего давления



Таким образом, отжим пласта моделируется следующим образом. Если порода находится в допредельном состоянии, то расчет жесткости основания плиты-кровли ведется по точке диаграммы, имеющей координаты  $h_m, P_m$ . Когда порода переходит в запредельное состояние, жесткость является функцией координат  $h_m, P_0$ , где  $P_0$  — остаточная прочность.

Выравнивание горного давления с течением времени описывается на основе результатов термодинамического анализа процесса сдвижений горного массива [6]. При отклонении от геостатического уровня  $\gamma H$  текущее значение жесткости в данной точке основания плиты-кровли изменяется так, чтобы запряжение в ней приблизилось к  $\gamma H$ :

$$K_{t,t} = K_{t,t-1} (1 - R). \quad (3)$$

Здесь  $K_{t,t}$  и  $K_{t,t-1}$  — значения жесткости в момент времени  $t_t$  и  $t_{t-1}$  соответственно;  $R = (\sigma_t - \gamma H) [\exp(-\kappa t_{t-1}) - \exp(-\kappa t_t)] / (\gamma H)$ ;  $\sigma_t$  — действующее напряжение в момент времени  $t_t$ ;  $\kappa$  — коэффициент скорости релаксации.

Все вышеприведенные усовершенствования введены в исходный алгоритм [2], структурная схема которого показана на рис. 2. Порядок работы программы следующий. Вводится исходная информация: деформационные характеристики плиты-кровли  $E$  и  $\nu$ , ее геометрические характеристики, число узлов разбивки, уровень  $\gamma H$ , жесткость основания  $K_0$ , контактная прочность пород  $P_0$ . Затем вводится очередное выработанное пространство. Для этого в узлах,

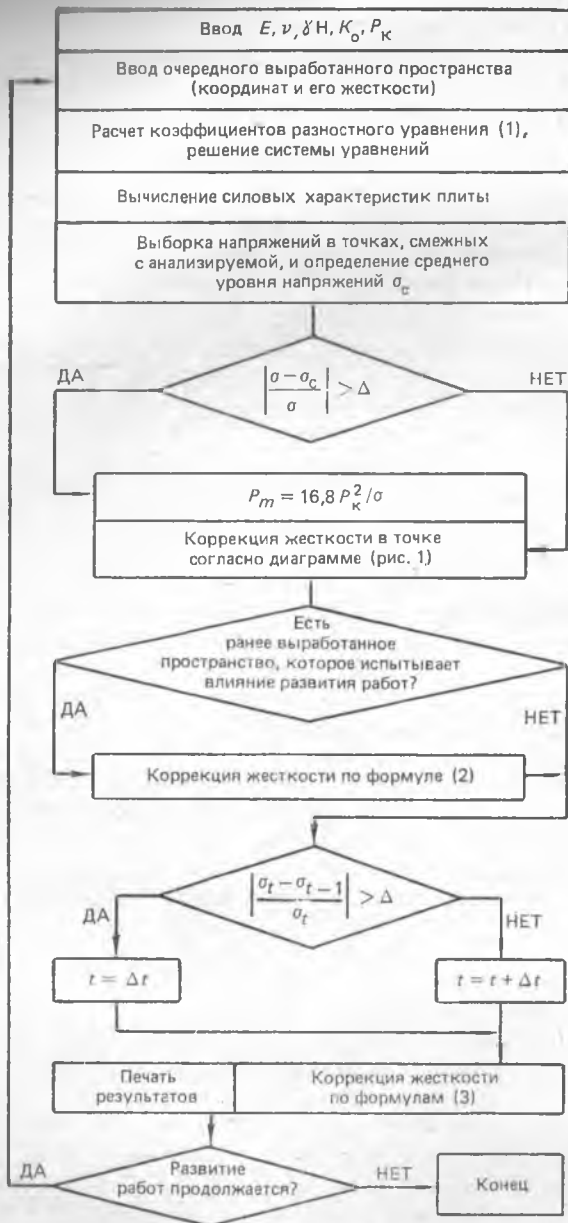


Рис. 2. Структурная схема программы для расчета напряжений в основании плиты-кровли с учетом необратимости сдвижений горного давления

попадающих в его площадь, уменьшается жесткость основания. Выбор жесткости выработанного пространства осуществляется любым приемлемым способом. Наиболее простой и надежный заключается в подборе такой жесткости, при которой расчетные параметры плиты (опускания, контактные давления и т. п.) равны измеренным в натуре. Далее ведется расчет цилиндрической жесткости плиты, коэффициентов разностного аналога уравнения (1) и решается система уравнений. В результате по найденным опусканиям определяют контактное давление в узлах и другие силовые характеристики плиты-кровли. Затем приступают к моделированию отжима пласта и других нелинейных процессов (в частности, усадки закладочного массива). Для этого вычисляют средний уровень фонового давления вокруг данной точки и сравнивают его с действующим давлением в самой точке. Если разница существенна, вычисляют новое положение диаграммы контактного нагружения (см. рис. 1), предельное давление  $P_m$  и пересчитывают жесткость по этой диаграмме. После этого переходят к учету порядка отработки запасов. Если есть ранее выработанное пространство, испытывающее влияние развития очистных работ, то корректируется его жесткость по зависимости (2).

Окончательная корректировка жесткости основания ведется по зависимости (3) и предназначена для учета производства энтропии, проявляющегося в виде релаксации напряжений. При скачкообразном увеличении напряжения счет локального времени ведется для данного узла сначала. Это значит, что кроме производства энтропии горного массива в данном случае происходит ее перераспределение. На начальном временном интервале экспоненциальная релаксация протекает интенсивнее, что характерно для больших перепадов напряжений (больших заданного уровня  $\Delta$ ).

Достоверность нового алгоритма проверялась путем сравнения результатов контрольных расчетов с ранее полученными на физических моделях данными [1; 5; 8]. Отклонение расчетных данных от экспериментальных при сравнении прогибов плиты составило для одиночной лавы  $\pm 14\%$ , при развитии работ  $\pm 18\%$ . При сравнении относительных напряжений получено полное качественное совпадение результатов.

Для наглядного отражения эффективности работы программы произведен поэтапный расчет перераспределения горного давления в плоскости пласта при развитии очистных работ. Глубина разработки 800 м, мощность пласта 1 м, вмещающие породы несчапоглинистого состава средней прочности. На рис. 3 показаны кривые распределения горного давления после отработки трех лав.

Рассматривались два варианта для разного порядка отработки запасов: последовательного, когда отработка лав в панели ведется подряд (рис. 3, а) и по системе парных штреков (3, б). Расчеты показали, что порядок отработки лав определяющим образом повлиял

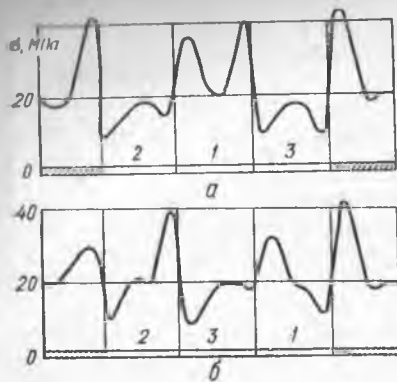


Рис. 3. Кривые распределения горного давления  $\sigma$  при разном порядке отработки запасов (указан цифрами)

на распределение горного давления. В первом случае разгрузка в среднем выработанном пространстве исчезла полностью. Во втором случае среднее выработанное пространство разгружено от горного давления, вследствие того что оно отработано в последнюю очередь.

Таким образом, управляя порядком развития очистных работ, можно сохранить зону разгрузки от вредных проявлений развития очистных работ. Практическая апробация показала, что разработанный метод является эффективным средством анализа и прогноза проявлений горного давления при развитии очистных работ на большой глубине.

#### Список литературы

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов.— М. : Недра, 1980.— 360 с.
2. Зборщик М. П. Разработка технологий управления вмещающим массивом и устойчивостью основных подготовительных выработок пологих пластов на больших глубинах // Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.— Днепропетровск, 1984.— 46 с.
3. Зборщик М. П., Назимко В. В. Закономерности горизонтальных сдвижений толщи пород при отработке пологих пластов // Уголь Украины.— 1986.— № 5.— С. 18—22.
4. Зборщик М. П., Назимко В. В., Трухин Н. П. Испытания пород контактным методом при разном уровне их напряженного состояния // Физико-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых.— 1985.— № 4.— С. 15—20.
5. Музафаров Р. И. Некоторые закономерности процесса сдвижения горных пород при разработке свиты пологопадающих пластов угля // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.— 1964.— Вып. 2.— С. 65—71.
6. Назимко В. В. Термодинамический анализ сдвижений массива горных пород.— Донецк, 1986.— 12 с.— Деп. в ЦНИЭИуголь 5.11. 86, № 3710.
7. Потапкин И. Ф. Распределение опорного давления в плоскости пласта вокруг очистной выработки простой и сложной конфигурации // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.— 1979.— Вып. 54.— С. 22—24.
8. Прокофьев В. П., Костоманов А. И. Проявление горного давления при выемке подработанного пласта // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.— 1967.— Вып. 5.— С. 3—9.

Получено 01.03.88