РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.273.2:622.831

А.П.ГОСПОДАРИКОВ
Факультет фундаментальных и гуманитарных дисциплин, профессор кафедры высшей математики
С.В.ВАСИЛЬЕВ
Горный факультет, доцент кафедры разработки месторождений подземным способом
М.А.ЗАЦЕПИН
Горный факультет, группа ТПП-00-1, ассистент профессора

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СЛОИСТОГО МАССИВА ДЛЯ ПРОГНОЗА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ И УГОЛЬНОГО ПЛАСТА В ЗОНЕ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Получена математическая модель взаимодействия многослойного массива с тонким угольным пластом, включающая исходные разрешающие дифференциальные уравнения и граничные условия. Разработанный алгоритм численного решения реализован в вычислительной программе, в которой входными параметрами являются геологические характеристики основной и непосредственной кровли, коэффициент жесткости угольного пласта в массиве и закон его изменения в краевой зоне, коэффициент жесткости пород почвы, коэффициент жесткости материала закладки, мощность пласта и предельные деформации кровли.

Соответственно выходными параметрами вычислительной программы являются: реакция угольного пласта на действие нагрузки от вышележащего массива (опорное давление), вертикальные и угловые перемещения слоев кровли над угольным пластом, вертикальные и угловые перемещения кровли над выработанным пространством, предельный пролет кровли.

The mathematical model of interaction of many-stratum massive with thin coal seam is got. It includes the given solutions and the border conditions, which are realized into this program, the beginning conditions are geological characteristics of the main and natural roof, constant of hardest of the coal seam in massive and the rule of its changing in the border area, constant of hardest of the floor deposits, the thickness of seam, the roof maximum deformation.

The exit conditions are the reaction of the coal massive, moving of stratums above the coal seam and break-out borehole and the maximum size of roof dismiss.

Решение геомеханических задач по управлению горным давлением и определению устойчивых площадей обнажения непосредственной кровли связано с изучением процессов деформирования и смещения слоев кровли над рабочим пространством очистного забоя и в выработанном пространстве. Для исследования проявлений горного давления вполне очевидна необходимость использования аналитических методов, обладающих большой универсальностью и информативностью.

Известны результаты расчетов оседаний многослойного массива над выработанным пространством и опорного давления впереди очистного забоя в начальный пери-

од работы лавы на основе вариационного метода (в частности, в форме В.З.Власова), впервые примененного в работах А.А.Борисова, Н.Н.Кайдалова и В.Г.Лабазина [1] для линейного закона деформирования и А.П.Господариковым [2] для нелинейного закона Гука.

Расчеты выполнены для общего случая, когда массив горных пород сложен слоями различной мощности, обладающими различными механическими характеристиками, в рамках следующих допущений: деформации массива малы и происходят в пределах применимости линейного закона Гука; все слои толщи однородные и ортотропные; слои свободно проскальзывают один относительно другого; в слоях учитываются только деформации изгиба и сдвига.

В алгоритм получения решения, которое не основывается на вышеупомянутых работах, внесены следующие изменения и дополнения [2]:

1) определяющие уравнения приведены к безразмерной форме, что значительно сокращает объем вычислений и облегчает их дальнейшее решение;

2) коэффициент жесткости на кромке забоя принят не равным нулю, а имеющим определенное конечное значение, что отражает реальные условия работы и позволяет учитывать влияние сопротивления крепи и пролета основной кровли на несущую способность краевой части пласта;

3) нагрузка, передаваемая на пласт слоями, залегающими выше основной кровли над очистным забоем, принята равномерно распределенной q, в области выработанного пространства она принимается равной нулю, что позволяет учесть расслоение массива над этой областью;

4) решения исходной системы дифференциальных уравнения для области переменного коэффициента жесткости (краевая зона, где $K = f(x)$) и для выработанного пространства ($K = 0$) выражены через одни и те же постоянные интегрирования, что значительно упрощает алгоритм и программу расчета напряженно-деформированного состояния для начального периода работы лавы и периода установившегося движения очистного забоя.

Перемещения произвольной точки массива горных пород представляются в следующем виде:

$$U(x,y) = U_1(x)\varphi_1(y) + $$
$$+ U_2(x)\varphi_2(y) + \ldots + U_n(x)\varphi_n(y),$$
$$V(x,y) = V_1(x)\psi_1(y),$$

где U, V – соответственно горизонтальные и вертикальные перемещения; функции $U_i(x)$, $i = 1,2, \ldots, n$ и $V_1(x)$ являются искомыми, а координатные функции $\varphi_i(y)$, $i = 1, 2, \ldots, n$ и $\psi_1(y)$ известны и выбираются таким образом, чтобы удовлетворить принятым допущениям.

Учитывая характер деформации массива, считаем в пределах каждого i-го слоя $\varphi_i(y) = y$, $i = 1, 2, \ldots, n$ (координата y отсчитывается от срединной поверхности слоя). Можно также считать, что угловые перемещения слоев одинаковы: $U_1 = U_2 = \ldots = U_n = U$. Поскольку вертикальные оседания массива не зависят от координаты y, $\psi_1(y) = 1$ и $V_1 = V$.

После некоторых математических преобразований и ввода вспомогательной функции ϕ получим одно уравнение четвертого порядка:

$$\frac{d^4\phi}{dx^4} - aK\frac{d^2\phi}{dx^2} + bK\phi + bt = 0,$$

где a, t и b – безразмерные коэффициенты.

После решения уравнения находим ϕ, $U = d\phi/dx$ и $V = (ad^2\phi)/(bdx^2) - \phi$.

Полученное решение дифференциального уравнения рассматривается для трех участков:

- участок $(-\infty; -\upsilon)$, где $K = 1$;
- участок $(-\upsilon; 0)$, где $K = K(x)$; причем $K = 1 - (x + \upsilon)^n$;
- для висящей части массива, где $K = 0$.

Для первого случая решение находим в вещественной форме; для второго случая решить дифференциальное уравнение непосредственно в замкнутой форме трудно, поэтому используем степенной ряд; для третьего случая решение находим непосредственно.

Дальнейшее решение поставленной задачи состоит в составлении условий сопряжений. Для начального периода работы лавы, считая задачу симметричной относи-

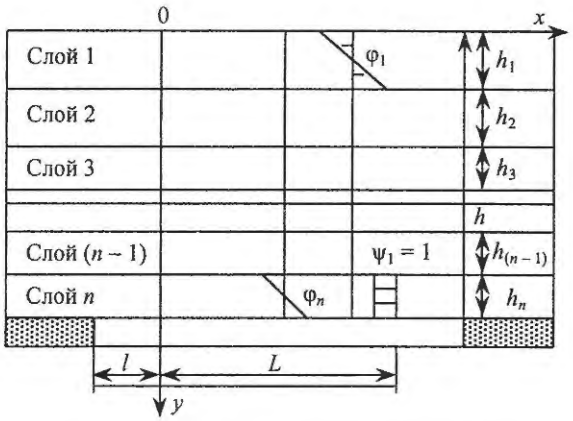


Рис.1. Расчетная схема вариационного метода определения смещений многослойного массива (начальный период работы лавы)

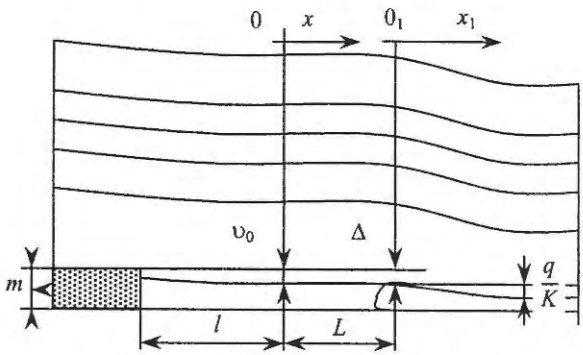


Рис.2. Расчетная схема при установившемся движении очистного забоя и плавном опускании кровли на закладку

тельно линии $x = L/2$ (рис.1), получим шесть неизвестных величин. Для их определения имеем четыре уравнения, выражающие условия непрерывности при $x = -l$, и два уравнения, связанные с симметрией задачи при начальном режиме работы лавы. После простых преобразований шесть разрешающих уравнений можно свести к системе четырех уравнений относительно четырех неизвестных.

В стадии установившегося движения очистного забоя задача не будет симметричной и необходимо составить условия сопряжений в точке $x = L$, отвечающие в этом случае конкретным граничным условиям.

В работе рассматриваются случаи, когда резких осадок кровли не происходит: управление кровлей плавным опусканием, полной или частичной закладкой выработанного пространства. Решая задачу в случае установившегося движения очистного забоя при плавном опускании кровли на почву или закладку, получим восемь уравнений относительно восьми неизвестных, при этом должны выполняться определенные граничные условия. Так же, как и в случае начального периода работы лавы, эти уравнения можно свести к системе относительно четырех неизвестных.

Таким образом, в отличие от работ А.А.Борисова, Н.Н.Кайдалова и В.Г.Лабазина, решение разрешающей системы получено в безразмерной форме, что позволило значительно сократить объем преобразований и получить решение в одинаковой форме для начального периода работ и периода установившегося движения, а также для различных законов изменения коэффициента жесткости в краевой зоне пласта (рис.2).

Предложенный алгоритм расчета может быть использован для определения параметров управления кровлей частичной или полной закладкой выработанного пространства, позволяющих управлять устойчивостью кровли и нагружением краевой части пласта. При этом можно или рассчитать параметры частичной закладки (коэффициент заполнения выработанного пространства закладочным материалом и отставание места возведения закладки от забоя) при выбранном материале закладки (коэффициент жесткости K_1 известен), или выбрать материал закладки с необходимыми компрессионными характеристиками, обеспечивающими жесткость K_1 при заданных параметрах заполнения выработанного пространства закладочным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Борисов А.А.* Расчеты опорного давления при плавном опускании кровли / А.А.Борисов, Н.Н.Кайдалов, В.Г.Лабазин // Горный журнал. 1977. № 10.

2. *Васильев С.В.* Совершенствование технологии отработки тонких крутых пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое на базе применения механизированной пневмокрепи: Автореф. дис. канд. техн. наук / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1992.

3. *Господариков А.П.* Нелинейное деформирование слоистого породного массива с учетом обжатия по вертикали / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999.