

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левит В.В. Влияние свойств пород и типа крепи на взаимодействие системы «крепь – массив» в вертикальных стволах// Геотехническая механика, 1997. – №3. – С. 32-39.

2. Результаты исследований физико-механических свойств пород Донбасса и природных факторов, определяющих их поведение в горных выработках. – Киев, «Наукова думка». – 1971. – 60 с.

УДК 622.831.3

Ю.Ю. Булич, С.А. Головки

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВБЛИЗИ ВЫРАБОТОК

На прикладі відомої упруго-пластичної задачі приведена відпрацьована методика чисельного рішення, яка дозволяє отримати розміри зон неупругих деформацій для ускладнених моделей, рішення рівнянь яких аналітичними методами неможливо.

Современные математические модели разупрочняющихся сред описывают лишь узкий круг задач, не объясняя целого ряда наблюдаемых явлений, и, как следствие, не удовлетворяют потребностям практики, особенно для нетрадиционных методов малоэнергетического управления предельно-напряженными породами.

Применительно к описанию напряженно-деформированного состояния разупрочняющихся горных пород вблизи выработок, круг решаемых задач может быть существенно расширен определенной процедурой стыковки решений дифференциальных уравнений для связно-нарушенных и нарушенных пород. Вычислительные трудности процедуры интегрирования с неявными границами и стыковки решений уравнений преодолены с помощью прикладного пакета Mathcad 7 Pro и проверены на известном аналитическом решении [1]. Дифференциальные уравнения решались методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Рассмотрим процедуру определения размеров зоны неупругих деформаций r_L , размеров зоны нарушенных пород r_P , связанных соотношением из [1]:

$$\rho_L = \frac{r_L}{r_P} = \left[1 + \frac{E}{M} (1 - \sigma_{ост}^n) \right]^{\frac{1}{A-1}} \quad (1)$$

для следующих условий: $\sigma_0^n = 1$, $\sigma_{ост}^n = 0.1$, $P = 0.005$, $M/E = 5$, $A = 3$, где σ_0^n - предел прочности пород; $\sigma_{ост}^n$ - остаточная прочность; P - отпор крепи; M - модуль спада; E - модуль упругости; A - параметр, зависящий от угла внутреннего трения.

Напряженное состояние горных пород в зоне нарушенных пород характеризуется уравнением:

$$\frac{d\phi}{dr} = A \frac{\phi}{r} + \sigma_{ост}^n \sigma_0^n; \quad (2)$$

в зоне разупрочнения:

$$\frac{d\phi}{dr} = A \frac{\phi}{r} + \sigma_0 \left[1 - \left[\frac{M}{E} \left(\frac{r_L}{r} \right)^{A-1} - 1 \right] \right], \quad (3)$$

где ϕ - функция, связанная с компонентами радиальных и тангенциальных напряжений: $\sigma_r = \phi/r$; $\sigma_\theta = d\phi/dr$.

На рис. 1-3 показаны этапы решения задачи по составленной программе.

Определяя r_{Lmax} как точку пересечения функции $\Phi_1(r)$, являющуюся решением уравнения (2), с наклонной $\phi_1(r) = P_L r$, вычисляется правая граница отрезка, на котором ищутся решения уравнений (2) и (3), где $P_L = \frac{2 - \sigma_0''}{A - 1}$, P_L - радиальная компонента напряжений на границе зоны неупругих деформаций.

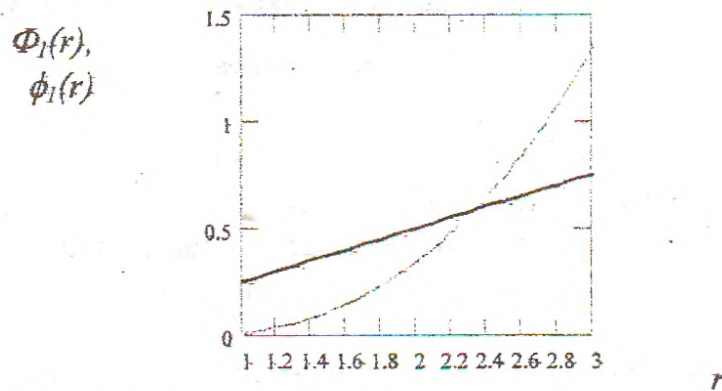


Рисунок 1 - Определение правой границы r_{Lmax} интервала, на котором решаются уравнения (2) и (3),

$$r_{Lmax} = 2.336$$

Используя (1), по величине $r_L = r_{Lmax}$ вычисляется первое приближение величины радиуса зоны нарушенных пород $r_P = r_{Pmax}$. Дифференциальное уравнение (2) решается на отрезке $[1, r_P]$, (3) - на отрезке $[r_L, r_P]$.

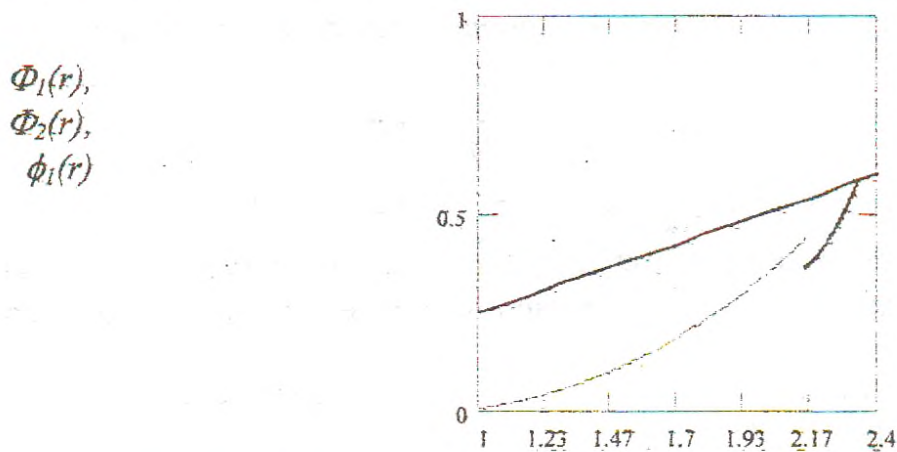


Рисунок 2 - Несовпадение значений функций $\Phi_1(r)$ и $\Phi_2(r)$ в точке r_{Pmax} после первого шага вычислений

Уменьшая значение r_L с шагом 0.001, вычисления повторяются до выполнения условия $\Phi_1(r_p) \approx \Phi_2(r_p)$ с точностью 0.001, где $\Phi_2(r)$ - функция, являющаяся решением уравнения (3) (см. рис. 3).

$\Phi_1(r)$,
 $\Phi_2(r)$,
 $\phi_1(r)$

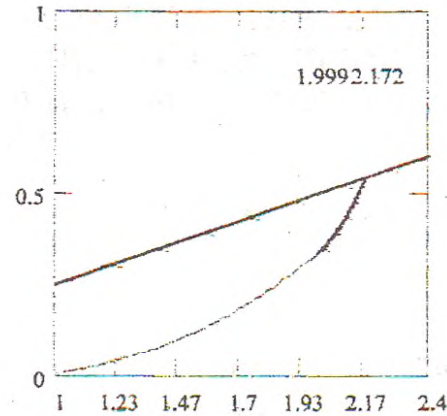


Рисунок 3 - Последний шаг решения:

$$r_L = 2.172, r_p = 1.999$$

Результаты вычислений выводятся в виде вектора:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} 193 \\ 2.172 \\ 1.999 \\ 0.34 \\ 0.34 \\ -5.572 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix}$$

где 1 компонента вектора - число шагов вычислений, 2 - величина r_L , 3 - величина r_p , 4 - значение функции $\Phi_1(r)$ в точке стыковки, 5 - значение функции $\Phi_2(r)$, 6 - абсолютная погрешность вычислений.

Для сравнения величина r_L была рассчитана по известной формуле [1]:

$$r_L = \frac{\left[P_L + \frac{\sigma_0^n}{A-1} \left[1 - (1 - \sigma_{ост}^n) \left[1 + \frac{E}{2M} (1 - \sigma_{ост}^n) \right] \right] \right]^{\frac{1}{A-1}}}{P + \frac{\sigma_{ост}^n \sigma_0^n}{A-1}} \quad (4)$$

$$r_L = 2.172.$$

Указанный подход используется для создания более адекватных моделей предельно-напряженных пород с другими дифференциальными уравнениями, не решаемыми аналитически.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. - Киев: Наук. думка, 1985. - 192 с.