

УДК 622.241.54

Н.В. Черданцев, заведующий лабораторией, д.т.н.  
О.Ю. Балашов, аспирант  
(ИУ СО РАН, Кемерово)

## РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ДЛЯ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ЕГО СОСТОЯНИЯ ОКОЛО ВЫРАБОТОК

Сооружение выработок на угольных шахтах является важной и ответственной задачей, рациональное решение которой обеспечивает высокие темпы угледобычи и безопасность ведения горных работ [1]. Решение этой задачи напрямую связано с прогнозом и оценкой геомеханического состояния вмещающего массива. В этой связи, разработка и реализация физико-математических моделей состояния массива угольного месторождения является важным этапом в выполнении поставленных задач.

Отличительной особенностью углепородного массива является его прочностная анизотропия, обусловленная наличием поверхностей ослабления, по которым его характеристики прочности ниже, чем по основной породе, расположенной между этими поверхностями.

Согласно критерию прочности (разрушения) Мора – Кузнецова разрушение такого массива происходит отрывом или сдвигом

$$|\tau_v| \geq \sigma_v \tan \varphi + K, \quad \sigma_v \geq R_p. \quad (1)$$

В условии (1)  $\tau_v$  и  $\sigma_v$  – соответственно касательное и нормальное напряжения на поверхности ослабления, они являются компонентами поля напряжений.  $v$  – нормаль к поверхности ослабления. Параметры  $\varphi$  и  $K$  – соответственно угол внутреннего трения и коэффициент сцепления по поверхности ослабления,  $R_p$  – предел прочности на растяжение в направлении перпендикулярном этим поверхностям.

Совокупность точек массива, в которых выполняются условия (1), образуют зоны нарушения сплошности массива (ЗНС). Наличие зон – показатель нарушенности массива и критерий его устойчивости. Размеры и конфигурация ЗНС определяют рациональные формы выработок, параметры их крепи.

Наиболее эффективным методом, позволяющим построить поле напряжений в породном массиве с прочностной анизотропией в окрестности выработки, является метод граничных элементов. Сущность его заключается в решении методом механических квадратур граничного интегрального уравнения краевой задачи теории упругости о распределении напряжений в массиве с вырезом, по поверхности которого приложена подлежащая определению фиктивная нагрузка [2]. После этого

напряжения в любых точках массива, определяются путем суммирования напряжений от действия фиктивной нагрузки и естественного поля напряжений. Эти общие напряжения образуют поля напряжений и могут быть использованы для оценки прочности массива по поверхностям ослабления и условий перехода основной породы в предельное состояние.

Описанная модель разработана в [2], а её применение в задачах геомеханики показано в [3, 4]. В этих работах изучалось состояние массива, как около одиночных выработок, так и их систем вне зоны влияния очистных работ.

Для решения задач о состоянии массива в зоне ведения или влияния очистных работ в рамках описанной модели необходимо разработка комплексов программ, ориентированных на применение компьютерных пакетов с программируемыми средами. Процедура составления программ является достаточно сложным и трудоёмким процессом, но при этом, можно добиться их универсальности.

В качестве иллюстрации начального этапа разработки программного комплекса по реализации одной из моделей анизотропного массива на рис.1 представлен фрагмент блока решения методом механических квадратур интегрального уравнения краевой задачи теории упругости программы расчёта напряжений, написанной в среде C#(Си Шарп).

```
for (int l = 1, i = 1; l <= w & i <= n; l += 2, i++)
{
    a[l] = normy[i] * deltaL * lyambda * gammaH;
    a[l] = a[l];
}
for (int k = 2, i = 1; k <= w + 1 & i <= n; k += 2, i++)
{
    a[k] = normz[i] * deltaL * gammaH;
    a[k] = a[k];
}
double m;
for (int k = 2; k < w + 2; k++)
{
    for (int j = k; j < w + 1; j++)
    {
        m = A[j, k - 1] / A[k - 1, k - 1];
        for (int i = 1; i < w + 2; i++)
        {
            A[j, i] = A[j, i] - m * A[k - 1, i];
        }
        a[j] = a[j] - m * a[k - 1];
    }
}
for (int i = w; i >= 1; i -= 1)
{
    for (int j = i + 1; j < w + 1; j++)
    {
        a[i] -= A[i, j] * a[j];
    }
    a[i] = a[i] / A[i, i];
}
```

Рис. 1. Фрагмент программного кода решения интегрального уравнения

На рисунках 2, 3 представлены результаты решения тестовой задачи о распределении напряжений в окрестности протяжённой выработки круглого поперечного сечения в виде эпюр нормальных  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , и касательных  $\tau_{yz}$  напряжений вдоль горизонтальной диаметральной линии. Начало координат расположено в центре тяжести сечения выработки, при этом, ось  $x$  направлена вдоль оси (трассы) выработки, ось  $y$  вправо, а ось  $z$  вверх. На рис. 2 эпюры построены при  $\lambda=1$  ( $\lambda$  - коэффициент бокового давления), а на рис. 3 они построены при  $\lambda=0$ . Ординаты на эпюрах отнесены к  $\gamma H$  ( $\gamma$  - объёмный вес налегающих пород,  $H$  - глубина заложения выработки).

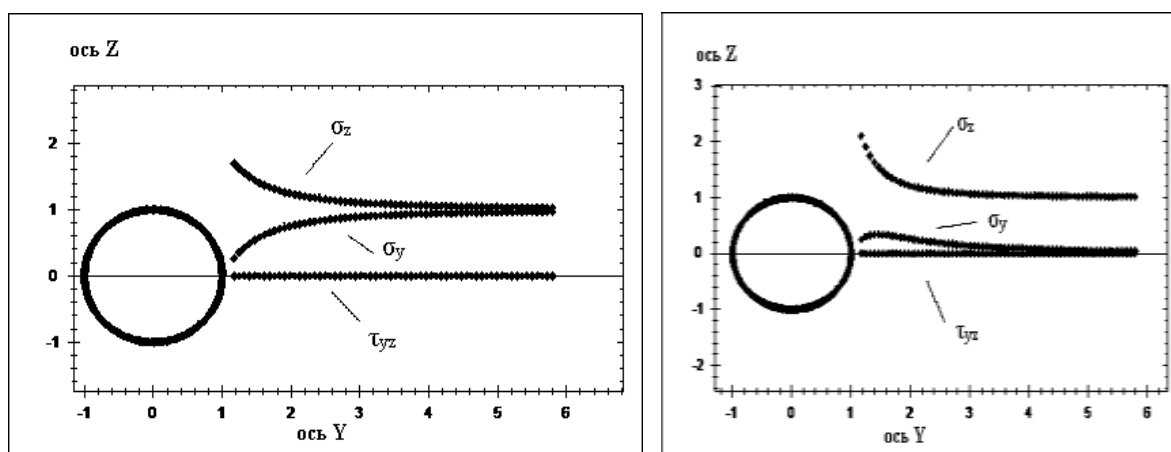


Рис. 2. Эпюры напряжений при  $\lambda=1$     Рис. 3. Эпюры напряжений  $\lambda=0$

#### Список литературы

1. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
2. Черданцев Н.В. Некоторые трехмерные и плоские задачи геомеханики: Науч. изд. / Н.В. Черданцев, В.Ю. Изаксон; ГУ КузГТУ. - Кемерово, 2004. - 189 с.
3. Черданцев Н.В. Зоны нарушения сплошности вокруг закреплённой сводчатой выработки /Н.В. Черданцев, С.В. Черданцев //Вест. КузГТУ. –2003. – № 5. – С. 16–18.
4. Черданцев Н.В. Зоны нарушения сплошности в области сопряжения двух выработок круглого поперечного сечения //Вест. КузГТУ. – 2004. – № 1. – С. 7–9.