УДК 622.28

Д.Н.ПЕТРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В РАЙОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ ВЫРАБОТОК

Рассмотрена проблема взаимного влияния горных выработок в районе их сопряжения. Задача решена математическим моделированием, основанным на методе конечных элементов. Показан характер формирования напряженно-деформированного состояния массива в районе сопряжения выработок. Найдены закономерности распределения вертикальных напряжений и смещений по длине выработок.

The problem of workings interinfluence in their conjunction is considered. The problem was solved by mathematical simulation based on a finite – element method (FEM). The character of stress – strain formation of a file in interface of workings is show. Distribution regulation of vertical stress and displacement on the length of workings are derived.

Строительство любого горно-добывающего предприятия связано со сложной системой взаимного пересечения выработок, вследствие чего происходит изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) окружающего массива пород. Выявление закономерности распределения компонентов напряжений и перемещений в районе сопряжения, а также определение размеров зон взаимного влияния горных выработок является сложной геомеханической проблемой.

Подобные пространственные задачи не имеют аналитических решений, поэтому использовалось компьютерное моделирование на основе метода конечных элементов.

В качестве модели для оценки взаимного влияния выработок принята упругая модель деформирования пород, находящихся в объемном напряженном состоянии. Реальный массив пород заменяется невесомой конечной областью с шириной 40 м, длиной 20 м и глубиной 40 м. Ввиду симметрично-

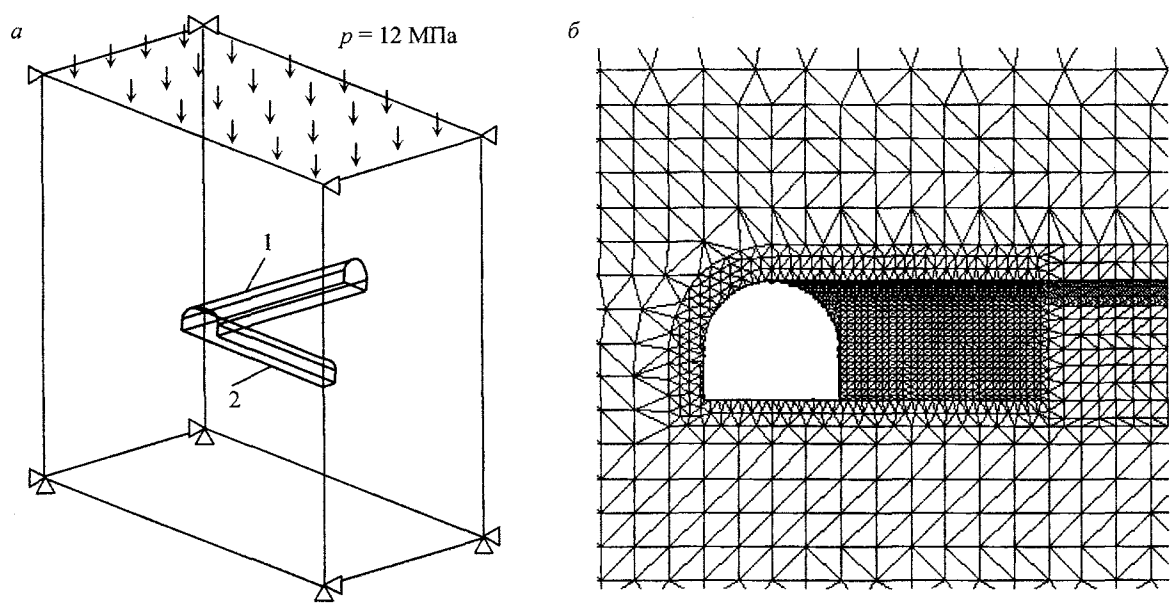


Рис.1. Расчетная схема (*а*) и фрагмент сетки конечных элементов (*б*) для пространственной задачи сопряжения двух выработок (1 и 2)

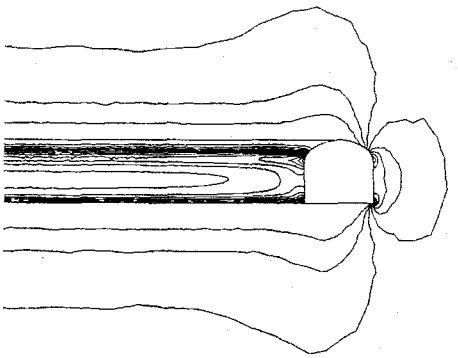


Рис.2. Распределение вертикальных напряжений σ_y в массиве вокруг выработок



Рис.3. Распределение вертикальных напряжений σ_y на уровне пяты свода выработки 1 по мере удаления от центра сопряжения: *а* – левый бок; *б* – правый бок

сти рассматривается только половина области прямоугольного одностороннего сопряжения выработок сводчатой формы. Граничные условия задаются следующим образом: к верхней грани области прикладывается давление $p = \gamma H = 12$ МПа, по всем остальным граням запрещаются перемещения по осям x, y, z (рис.1, *а*).

Область разбивается на конечное число объемных элементов типа TETRA4, причем размеры последних зависят от удаления от узла сопряжения выработок, вблизи сопряжения элементы имеют наименьший размер (0,3 м), по мере удаления – размер элементов увеличивается. Фрагмент конечной сетки разбивки области на элементы показан на рис.1, *б*.

Принятые величины физико-механических характеристик изотропного массива пород: модуль деформации $E = 1{,}3 \cdot 10^4$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}25$.

Для определения зоны влияния выработок рассмотрим характер распределения напряжений в массиве вокруг выработок. На рис.2 приведены поля вертикальных напряжений σ_y, соответствующие вертикальному разрезу, полученному по оси выработки 1 (см. рис.1, *а*). Из рис.2, а также из результатов распределения напряжений σ_y, σ_x и σ_z в других сечениях следует, что граница взаимного влияния выработок находится в пределах двух-трех величин ширины выработок от центра сопряжения.

Рассматривая распределение вертикальных напряжений σ_y по длине выработки 1 на уровне пяты свода (рис.3), получаем следующие закономерности. На расстоянии до 12 м (три ширины выработки) значения напряжений носят нелинейный характер. В левом боку напряжение в интервале 0-2 м увеличивается с $\sigma_y = 24{,}6$ МПа до $\sigma_y = 27{,}3$ МПа, а затем постепенно уменьшается. В правом боку напряжение в точке сопряжения боков выработок принимает значение $\sigma_y = 37$ МПа и далее уменьшается по логарифмическому закону. На расстоянии более 12 м вертикальное напряжение в обоих случаях принимает постоянное значение $\sigma_y = 24$ МПа, что соответствует напряженно-деформируемому состоянию для одиночной выработки.

Коэффициент концентрации напряжения, вызванный взаимным влиянием выработок, составляет:

- для левого бока $k_1 = 27{,}3/24 = 1{,}14$ и $k_2 = 27{,}3/12 = 2{,}28$ по сравнению с начальным НДС массива;
- для правого бока $k_1 = 37/24 = 1{,}54$ и $k_2 = 37/12 = 3{,}08$ по сравнению с начальным НДС массива.

Рассмотрим изменение вертикальных смещений в своде и подошве выработок по ее длине (рис.4). Пучение подошвы выработок 1 и 2 (рис.4, *б*, *г*) происходит практически одинаково, но во второй выработке оно происходит более плавно. Максимальное пучение составляет $U_y = 7$ мм и находится в точке пересечения осей выработок, при удалении на 12 м приобретает постоянную величину 6 мм.

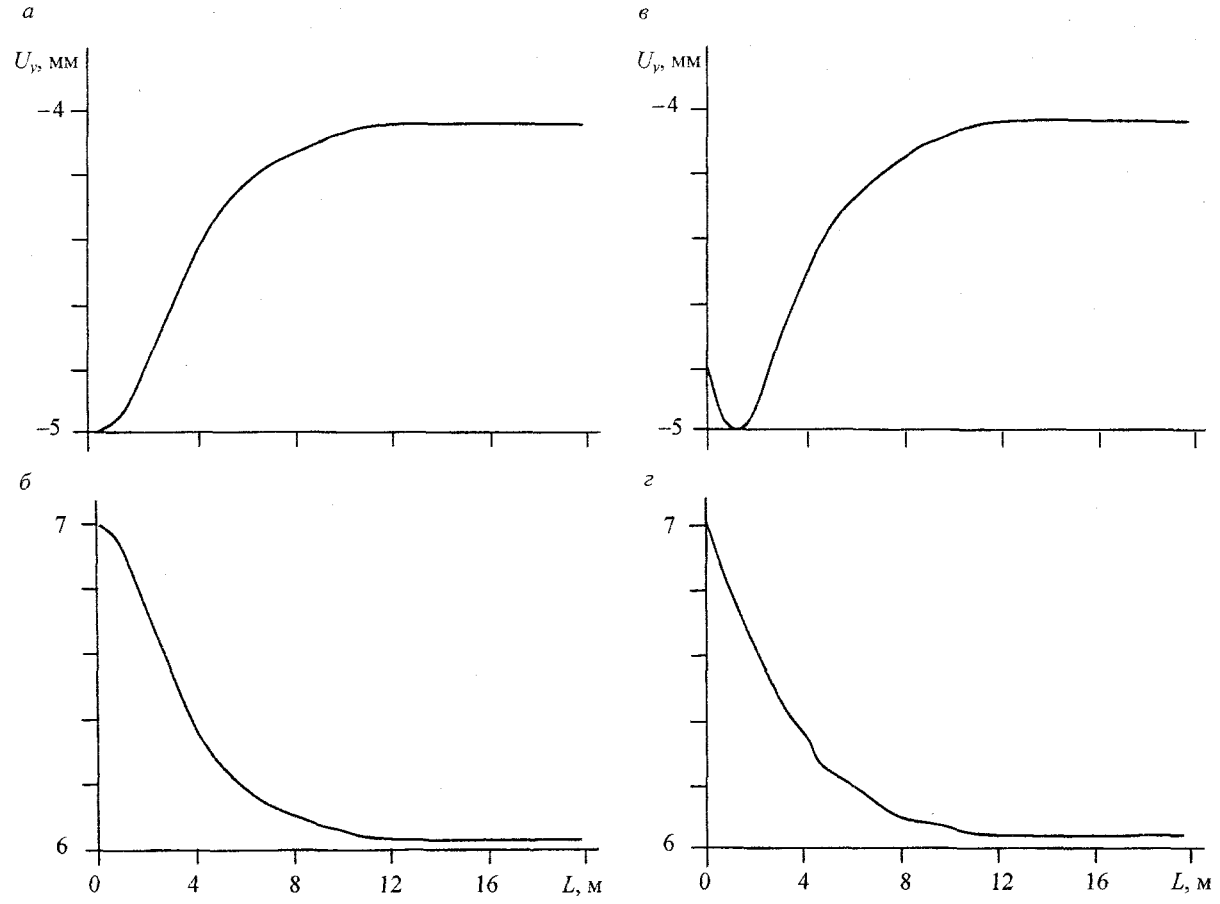


Рис.4. Изменение смещений по длине выработок

Характер изменения смещений в кровле выработок различен. В обоих выработках, в точке сопряжения $U_y = -5$ мм, затем в первой выработке они уменьшаются до $U_y = -4$ (рис.4, *а*). Во второй выработке на интервале 0-2 м вначале происходит незначительное увеличение смещений и далее плавно убывают до $U_y = -4$ мм (рис.4, *в*).

Увеличение величин смещения за счет влияния выработок составляет: в кровле $\Delta U_к =$ = 1 мм или 25 %; в почве $\Delta U_п = 1$ мм или 17 %.

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что в узле сопряжения выработок смещения в кровле происходят более интенсивно и превосходят пучение почвы на 45 %, однако численно они меньше.

Выполненное компьютерное моделирование и полученные результаты позволяют только качественно оценить напряженно-деформированное состояние породного массива в зоне взаимного влияния сопрягающихся выработок. Поэтому на следующем шаге исследования необходимо проводить натурные эксперименты и на основе полученных данных создавать геомеханическую модель деформирования реального массива и делать количественную оценку полученных результатов.