УДК 622.273.2:622.831

А.П.ГОСПОДАРИКОВ
Профессор кафедры высшей математики
Л.А.БЕСПАЛОВ
Аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЯМОГО ВАРИАНТА МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ УСЛОВИЙ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При ведении горных работ в массиве горных пород происходит нарушение естественного напряженно-деформированного состояния. Для расчета параметров напряженно-деформированного состояния в массиве горных пород могут применяться различные эффективные численные методы: конечных разностей, конечных элементов и граничных элементов. Было рассмотрено влияние технологических схем отработки запасов на напряженно-деформированное состояние массива соляных пород Старобинского месторождения на затухающей стадии ведения горных работ.

The natural stress-strain state of mining massif is disrupted while mining works is carried on. Different numerical methods can be applied for calculation of parameters stress and strain state in the mining massif: the finite difference method, the finite-element method, the boundary element method, the application of the last of these methods is described in this work. The influence of technological removing schemes on stress strain state of rock massif was analyzed as applied to Starobinsky deposit on the attenuated stage of mining.

Важную роль при исследовании параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород играют численные методы. Это связано, прежде всего, с тем, что аналитические методы применительно к геомеханическим задачам имеют ограниченную область применения. Она ограничивается задачами с однородными свойствами материала горного массива и простой геометрией. На практике дело обстоит сложнее, поэтому исследователям и инженерам в своей деятельности остается довольствоваться приближенными методами. Существуют два типа методов численного моделирования: методы, базирующиеся на дискретизации всей исследуемой области массива горных пород, и граничные методы, при реализации которых происходит дискретизация только границы исследуемой области.

К методам первого типа относятся метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ). При имеющихся достоинствах этих методов, заключающихся в универсальности, хорошей разработанности, наличии опыта применения к практическим задачам горной геомеханики, они несвободны от ряда недостатков, наиболее существенным из которых является необходимость значительных затрат вычислительного времени ЭВМ.

К методам второго типа относятся различные варианты метода граничных элементов (МГЭ). Их основным преимуществом является снижение размерности рассматриваемой задачи на единицу, результатом чего является значительное уменьшение затрат вычислительных ресурсов ЭВМ. МГЭ в своей реализации подразделяется на прямые и непрямые варианты. В прямых вариантах МГЭ неизвестные функции, вхо-

дящие в интегральные уравнения, являются реальными, имеющими физический смысл, переменными задачи. Так, например, в задачах теории упругости такое решение интегрального уравнения приводит к определению всех усилий и смещений на границе, а внутри рассматриваемой области они должны быть получены из граничных значений на основе численного интегрирования. В непрямых вариантах МГЭ интегральные уравнения полностью выражаются через фундаментальное сингулярное решение исходных дифференциальных уравнений, распределенное с неизвестной плотностью по границам рассматриваемой области. Сами по себе функции плотности не имеют определенного физического смысла, но когда они найдены (посредством численного решения интегральных уравнений), то решение внутри рассматриваемой области может быть получено с их помощью обычным интегрированием [1].

В данной работе было произведено исследование параметров НДС в окрестности одиночной горной выработки на различных стадиях ведения горных работ. В качестве исходных данных задавались компоненты тензора напряжений в нетронутом массиве $\sigma_x^{\infty} = -8$ МПа; $\sigma_y^{\infty} = -15$ МПа и характеристики соляного массива горных пород $\nu = 0{,}35$ (коэффициент Пуассона); $E = 9500$ МПа (модуль упругости). Была рассмотрена специфика обратного порядка отработки шахтных полей рудников ПО «Беларуськалий» применительно к ведению горных работ на Третьем калийном горизонте, так как в настоящее время он является основным на Старобинском месторождении. Расчетная схема задачи изображена на рис.1.

Параметры, соответствующие упругим и деформационным свойствам материала массива горных пород, были приняты средневзвешенными с учетом трещиноватости. Характеристики выработанных пространств приняты в соответствии с проведенными исследованиями [3]. Стадия ведения горных работ характеризуется параметром A (рис.1). Расположение исследуемой выработки было выбрано в центре рассматриваемого массива горных пород (рис.2).

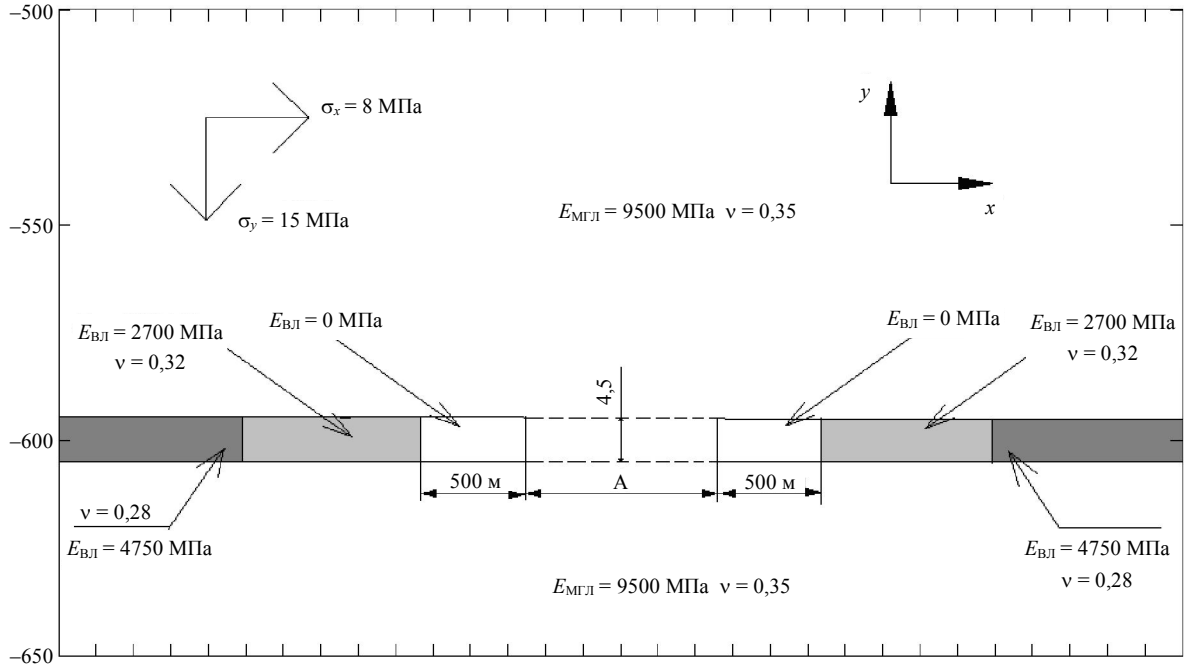


Рис.1. Расчетная схема рассматриваемой задачи

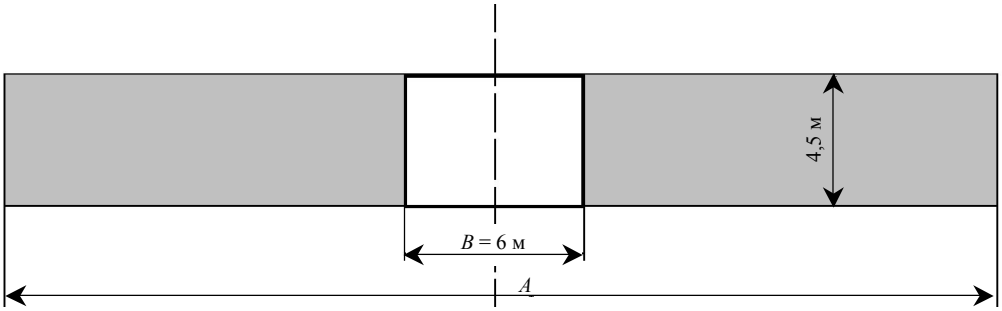


Рис.2. Расположение исследуемой выработки

Из параметров НДС массива вокруг выработки анализировалась концентрация вертикального нормального компонента тензора напряжений. При определении параметров НДС был использован прямой вариант МГЭ – метод граничных интегральных уравнений [2]. Разрешающая система уравнений прямого варианта МГЭ имеет вид

$$\sum_{j=1}^{N} B_{ss}^{ij}\sigma_s^j + \sum_{j=1}^{N} B_{sn}^{ij}\sigma_n^j = \sum_{j=1}^{N} A_{ss}^{ij}u_s^j + \sum_{j=1}^{N} A_{sn}^{ij}u_n^j;$$

$$\sum_{j=1}^{N} B_{ns}^{ij}\sigma_s^j + \sum_{j=1}^{N} B_{nn}^{ij}\sigma_n^j = \sum_{j=1}^{N} A_{ns}^{ij}u_s^j + \sum_{j=1}^{N} A_{nn}^{ij}u_n^j,$$

где $\hat{A}_{ss}^{ij}$, $\hat{A}_{sn}^{ij}$, $\hat{A}_{ns}^{ij}$, $\hat{A}_{nn}^{ij}$ – граничные коэффициенты влияния для напряжений; $\grave{A}_{ss}^{ij}$, $\grave{A}_{sn}^{ij}$, $\grave{A}_{ns}^{ij}$, $\grave{A}_{nn}^{ij}$ – граничные коэффициенты влияния для смещений; u_s^j и u_n^j – касательное и нормальное смещения на j-м элементе, σ_s^j и σ_n^j – касательное и нормальное напряжения на j-м элементе.

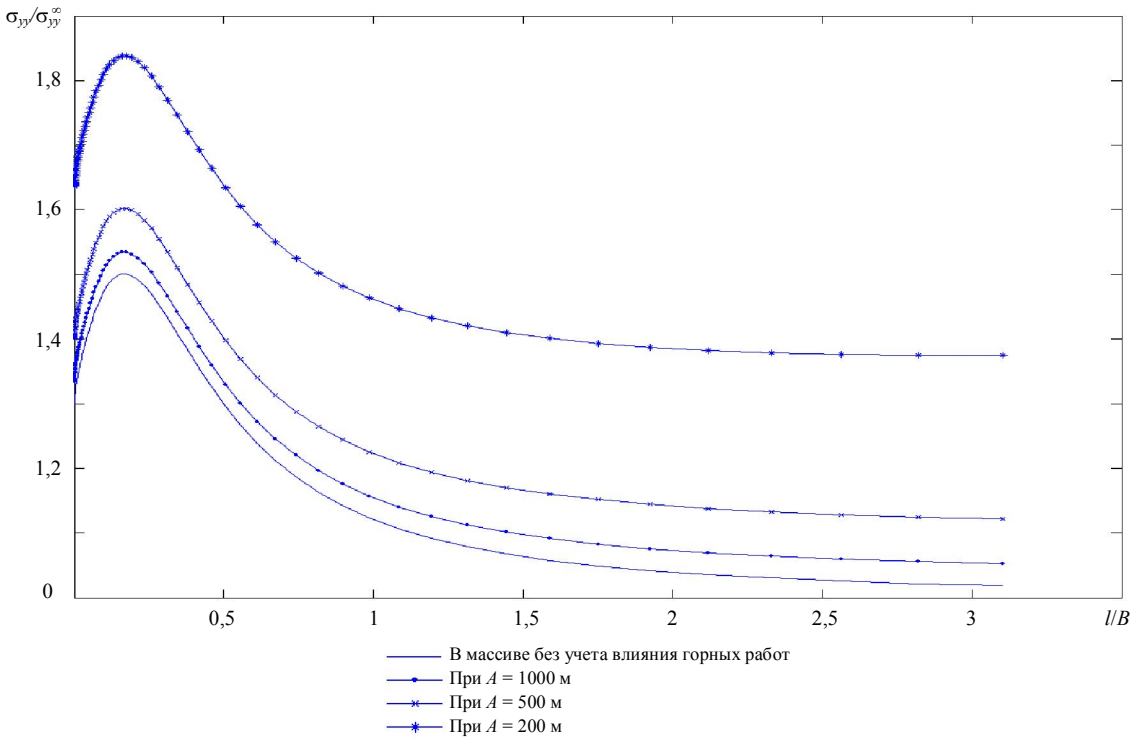


Рис.3. Графические зависимости коэффициентов концентрации напряжений от относительного расстояния от выработки

НДС вокруг выработки определялось как суперпозиция НДС в невозмущенном массиве горных пород, вызванных горными работами и проведением самой выработки. Было рассмотрено пять вариантов расчетных схем при различных значения параметра A от 4000 до 200 м, а также для сравнения вариант без учета ведения горных работ. Результаты представлены в виде графических зависимостей на рис.3 (для вариантов с A = 4000 м и 2000 м результат не показан, так как он практически не отличается от варианта без учета ведения горных работ).

Из рис.3 видно, что влияние горных работ на состояние массива в окрестности выработок сказывается на расстоянии менее 500 м от их ведения. При ведении горных работ на затухающей стадии их влияние будет сказываться не только на участковые выработки, но и на капитальные, а возможно и выработки околоствольного двора. Поэтому возникает необходимость разработки специальных мер по обеспечению их устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бенерджи П.* Методы граничных элементов в прикладных науках / П.Бенерджи, Р.Баттерфилд. М.: Мир, 1984.

2. *Крауч С.* Методы граничных элементов в механике твердого тела / С.Крауч, А.Старфилд. М.: Мир, 1987.

3. *Степанов К.А.* Угловые параметры сдвижения на Солигорских калийных рудниках // Механика горных пород при разработке месторождений природных солей / Труды. ВНИИГ. Вып.67. Л., 1974.