

УДК 622.832

В.М. Серяков, В.А. Еременко

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВМЕЩАЮЩЕГО
МАССИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКЕ
ЮГО-ЗАПАДНОГО РУДНОГО ТЕЛА ЖДАНОВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Проведен анализ особенностей распределения горизонтальной компоненты тензора напряжений в районе доработки рудного тела.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, математическое моделирование.

Неделя горняка

Ждановское месторождение сульфидных медно-никелевых руд расположено в северо-западной части Кольского полуострова и является основной сырьевой базой горно-металлургического комбината ОАО «Кольская ГМК». Верхняя часть месторождения дорабатывается открытым способом по Юго-Западному рудному телу. Подкарьерные запасы отрабатываются камерно-целиковой системой разработки [1,2].

Верхние горизонты Юго-Западного рудного тела Ждановского месторождения отрабатываются карьером до глубины +2 м. Подземная выемка рудных блоков ведется в этажах (0 ÷ -20), (-20 ÷ -50), (-50 ÷ -80) м. Наличие выработанного пространства, сформированного открытой разработкой, предопределяет сложные условия выемки подкарьерных запасов. Для геомеханического обеспечения подземных горных работ необходимо иметь достаточно надежную информацию об особенностях распределения напряжений в районе отработки. Как первый шаг в этом направлении можно считать оценку напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе отработки

Юго-Западного рудного тела (блок 14-16/- 80 в этажах - 20 ÷ - 50 м и - 50 ÷ - 80 м, блок 13-17/- 20 в этаже 0 ÷ - 20 м) методами математического моделирования.

Так как размеры Юго-Западного рудного тела по простиранию составляют 600-800 м, то в сечении массива горных пород вкрест простирания будут выполнены условия плоской деформации. В этом случае оценка напряженно-деформированного состояния может быть получена с помощью решения двумерных задач механики горных пород. Для разработки соответствующей математической модели деформирования массива в районе выемки Юго-Западного участка построена расчетная область, отражающая основные горно-геологические особенности залегания рудного тела. Угол его наклона к горизонту принят равным 45°.

Вмещающие породы представлены диабазами, алевролитами, песчаниками. По данным исследования физико-механических свойств они имеют весьма близкие значения модуля упругости E и коэффициента Пуассона ν : E около 70000 МПа, $\nu \sim 0.25$. Упругие деформационные свойства

рудного тела описываются модулем упругости равным 83000 МПа и коэффициентом Пуассона равным 0.29. Плотность вмещающих пород составляет 3000 кг/м³, рудного тела - 3500 кг/м³. Эти механические свойства горных пород, составляющих Ждановское месторождение, были приняты в качестве исходных параметров модели.

Расчетная область задачи выбрана в форме прямоугольника. Ось Ох направлена по горизонтали, Оу — по вертикали. Верхняя горизонтальная граница расчетной области свободна от напряжений, т.е.

$$\sigma_y = \tau_{xy} = 0,$$

где σ_y — вертикальная, τ_{xy} — касательная компоненты тензора напряжений.

На нижней границе области расчета заданы

$$v = 0, \quad \tau_{xy} = 0,$$

здесь v — вертикальная компонента вектора перемещений.

Одна из боковых границ закреплена от перемещений в горизонтальном направлении

$$u = 0, \quad \tau_{xy} = 0,$$

где u представляет собой горизонтальную компоненту вектора перемещений.

На другой вертикальной границе заданы условия, соответствующие гидростатическому исходному напряженному состоянию

$$\sigma_x = \sigma_y, \quad \tau_{xy} = 0.$$

Связано это с тем, что особенности геологического строения массива горных пород в районе отработки Ждановского месторождения говорят о возможности формирования здесь тектонических напряжений. Ряд экспериментальных исследований по их определению подтвердил наличие

тектонической составляющей с величиной незначительно превышающей вес налегающей толщи пород.

Расчеты выполнены с помощью метода конечных элементов [3, 4]. В каждом конечном элементе заданы объемные силы, моделирующие вес пород. На границах контакта разновидностей горных пород выполнены условия жесткого контакта. С помощью конечноэлементной модели проведена серия расчетов напряженно-деформированного состояния массива горных пород, отвечающая различным этапам отработки рудного тела. Выполнен анализ распределений полей напряжений в окружающих породах, установлены места концентрации сжимающих и растягивающих усилий и их динамика по мере отработки месторождения.

На рис. 1 приведены изолинии нормальных и касательной компонент тензора напряжений для геомеханической ситуации, предшествующей переходу к подземной отработке рудного тела. Их рассмотрение позволяет установить расположение зон растяжения, образующихся в бортах карьера, область концентрации напряжений сжатия в подкарьерном массиве горных пород. Так, к одной из наиболее существенных особенностей напряженного состояния массива для этой горнотехнической ситуации относится формирование под дном карьера области действия значительных сжимающих горизонтальных напряжений, достигающих значения 40 МПа (рис. 1, а). По сравнению с исходными напряжениями σ_x на этой глубине их величина возрастает более чем в 5 раз. Это наиболее напряженная область массива горных пород в районе отработки подкарьерных запасов. К другой важной особенности распределения полей напряжений в рассматриваемом объеме массива

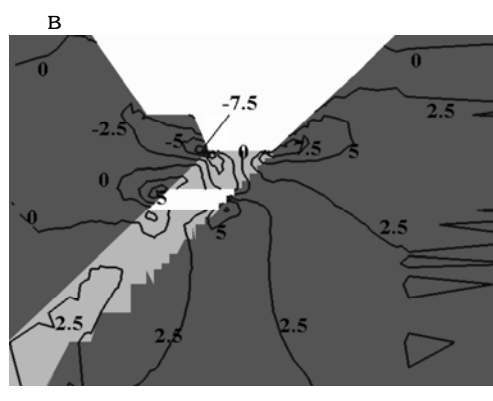
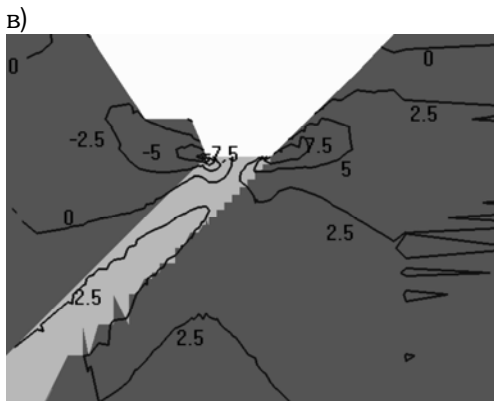
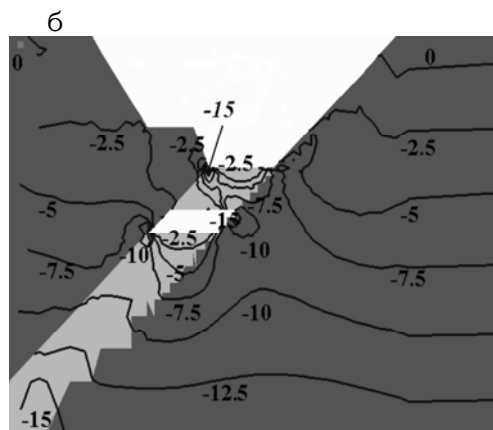
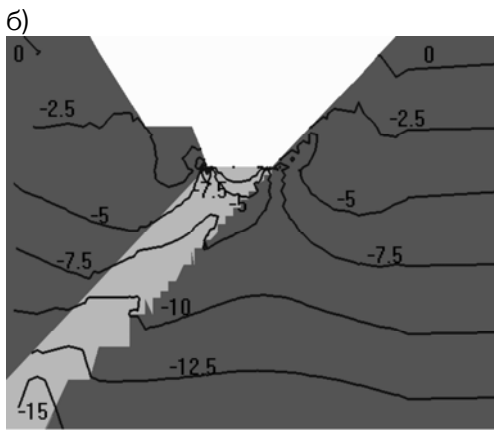
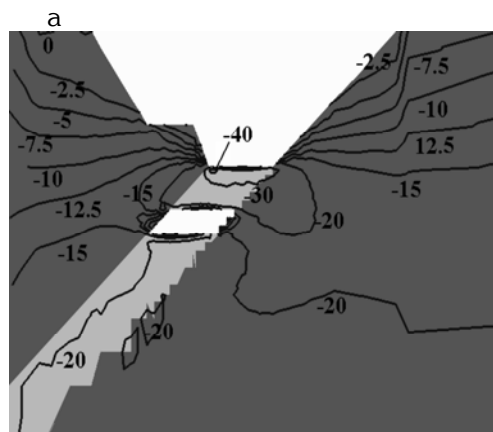
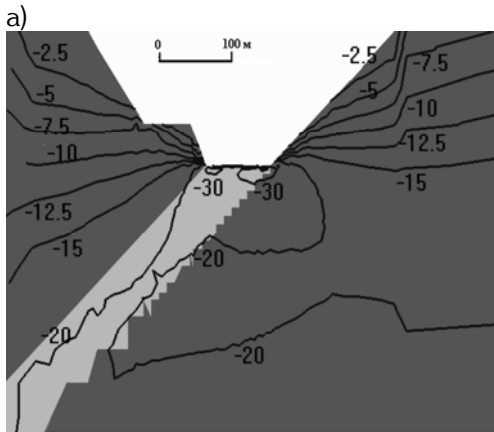


Рис. 1. Распределение в массиве горных пород горизонтальных $-\sigma_x$ (а), вертикальных $-\sigma_y$ (б) и касательных напряжений $-\tau_{xy}$ (в) перед подземной отработкой подкарьерных запасов

Рис. 2. Распределение в массиве горных пород горизонтальных $-\sigma_x$ (а), вертикальных $-\sigma_y$ (б) и касательных напряжений $-\tau_{xy}$ (в) после выемки рудных блоков в этаже $-50 \div -80$ м

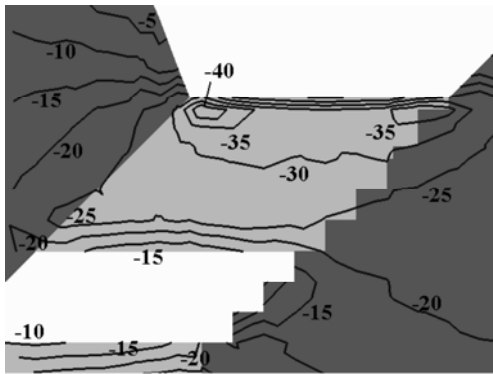


Рис. 3. Детальная картина распределения горизонтальных напряжений σ_x в этаже 0 ÷ -50 м

является образование в окрестности дневной поверхности вблизи бортов карьера зон действия растягивающих напряжений (рис. 1, б).

Хотя их величина незначительна, но вследствие небольших значений пределов прочности горных пород на растяжение в этих зонах возможно образование участков трещиноватости и понижение степени устойчивости прибортового массива. Еще одной зоной концентрации сжимающих напряжений является область сопряжения дна и бортов карьера. Здесь концентрация вертикальных напряжений достигает величины 2. Хотя это значение значительно меньше, чем в подкарьерном массиве, величина сжимающих напряжений σ_y в

областях сопряжения дна и бортов карьера определяет устойчивость бортов карьера и в этих областях необходим контроль за перераспределением напряжений по мере дальнейшей отработки месторождения.

На рис. 2 приведены изолинии нормальных и касательной компоненты тензора напряжений после выемки рудных запасов в этаже -50 ч -80 м. В образовавшемся рудном целике, расположенном между дном карьера и отработанным горизонтом, происходит рост сжимающих горизонтальных напряжений, достигающих -50 МПа, что сравнимо с пределами прочности массива (рис. 2, а). Формируются дополнительные области концентрации сжимающих напряжений в висячем и лежащем боках месторождения (рис. 2, б), однако величина напряжений здесь значительно меньше пределов прочности горных пород.

Более детальный анализ особенностей распределения горизонтальной компоненты тензора напряжений в районе дальнейшей доработки рудного тела в этажах 0 ÷ - 50 м (рис. 3) показывает, что наиболее сложные геомеханические условия будут возникать при проходке подземных подготовительных выработок в непосредственной окрестности дна карьера. Здесь необходимы дополнительные мероприятия, обеспечивающие устойчивость пород в бортах выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. М., Недра, 1988 - 112 с.
2. Методическое руководство по технологии ведения закладочных работ на руднике ГМК "Печенганикель". Кольский филиал АН СССР, Апатиты, 1987, 72 с.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975.
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. - М.: Недра, 1987. **ГИАН**

Коротко об авторах

Серяков В.М. — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,
Еременко В.А. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
ИГД СО РАН, yge@ngs.ru