

Кожоголов К.Ч. Осмонова Н.Т. Усенов К.Ж.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПОРОД ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКЕ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ

K.Ch. Kozhogulov, N.T. Osmonova, K.Zh. Usenov

EVALUATION OF STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASSIF IN MINING UNDERQUARRY RESERVES

УДК: 550.82

В статье приведены результаты анализа напряженно-деформированного состояния прибортового массива и дна карьера при выемке подкарьерных запасов комбинированным способом.

The results of the analysis of the stress-strain state onboard massif and pit bottom in digging undredquarry reserves by combined method.

Известно, что проведение горных выработок в массиве пород сопровождается изменениями величин компонент естественных полей напряжений вблизи стенок выработок и в прибортовом массиве. Возникновение и перераспределение напряжений в земной коре обуславливают поведение горных пород в процессе эксплуатации горных выработок [1,2,3].

В связи с этим изучение напряженно-деформированного состояния массива горных пород при отработке подкарьерных запасов является актуальной задачей.

Для определения напряженно-деформированного состояния массива был использован метод конечных элементов, с использованием программы «STRESS» [4]. Для расчета были приняты следующие параметры карьера: высота правого борта -160м, левого борта -100м, ширина дна карьера -30м. Угол наклона правого и левого бортов -50°.

Известно, что после проведения всех подэтажных выработок в подкарьерном массиве до начала очистных работ напряженно-деформированное состояние массива меняется [1,2,3]. Были приняты следующие физико-механические свойства породы и руды, применительно к условиям Терекканского месторождения [5] (табл.1):

Таблица 1

Материал	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона	Объемный вес	Угол внутреннего трения	Сцепление
Порода	3.50E+10	0.26E+00	2.66E+4	4.00E+1	1.25E+7
руда	2.10E+10	0.23E+00	2.79E+4	4.10E+1	1.15E+7

В соответствии с принятой технологией горных работ после завершения открытых горных работ под дном карьера проходятся горизонтальные подэтажные выработки. Расчеты показывают, что в данном случае концентрация вертикальных напряжений наблюдается в пределах рудной залежи вокруг горизонтальных горных выработок. В прибортовом массиве вертикальные напряжения с ростом глубины залегания рассматриваемой зоны или участка постепенно увеличиваются (Рис.1).

Горизонтальные напряжения концентрируются в рудной залежи вокруг выработок, а в прибортовом массиве концентрация наблюдается на уровне дна карьера, и на уровне расположения подэтажных выработок. По всему рассматриваемому участку существуют горизонтальные напряжения, которые в прибортовом массиве на уровне дна карьера и под дном карьера становятся растягивающими. Под дном карьера максимальные растягивающие напряжения составляют 2,520МПа. Растягивающие напряжения наблюдаются в массиве первого подэтажа в районах выше подэтажных выработок. Здесь их значения равняются от 1,220МПа до 0,058МПа. Ниже подэтажных выработок первого подэтажа в основном преобладают горизонтальные сжимающие напряжения. Особенно они заметны в нижнем правом углу со стороны висячего бока. Значения этих напряжений в этой области колеблется от 0,907МПа до 0,484МПа (Рис.1). На уровне выработок первого и второго подэтажей со стороны лежачего бока возникают зоны сжимающих напряжения.

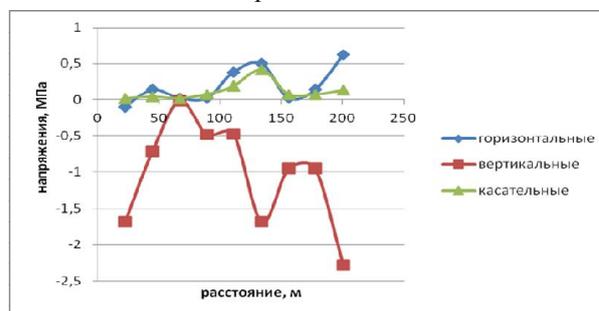


Рис. 1. Распределение напряжений в массиве пород до начала очистных работ

Максимальные значения касательных напряжений концентрируются в пределах рудного тела вокруг выработок. Под дном карьера выше выработок их значения составляют до 1,340МПа. В правом высоком борту наибольшие значения максимальных касательных напряжений возникают в приповерхностной части массива борта на высоте от уровня дна карьера, равной (1,5-1,8)H_д (где H_д - ширина дна карьера).

После выемки первой части запасов первого подэтажа концентрация вертикальных напряжений происходит в пределах массива рудного тела и смещаются в основном на нижние подэтажи и за пределами рудного тела в сторону лежачего бока правого высокого борта (Рис.2). В висячем боку за пределами рудного тела образуется зона концентрации вертикальных напряжений высотой, равной высоте подэтажа. На первом подэтаже между выработкой и

стенкой выработанного пространства происходит разгрузка значений вертикальных напряжений, что связано со снятием вышележащей нагрузки.

В данном случае в пределах первого подэтажа и на его уровне происходит концентрация горизонтальных напряжений.

В массиве будет существовать горизонтальные напряжения сжимающего и растягивающего характера. Сжимающие напряжения под дном карьера находятся в левом борту за пределами рудной залежи на уровне подошвы выработанного пространства. Максимальные их значения составляют от 0,362 МПа до 1,460 МПа. Под отработанным пространством возникает зоны сжимающих и растягивающих напряжений, причем со стороны висячего бока существуют сжимающие, а в обратную сторону – растягивающие напряжения. Сжимающие меняются от 1,07 МПа до 0,628 МПа. Растягивающие меняются до 2,140 МПа.

Начиная с глубины, равной p_0 (где p_0 – ширина отработанного пространства) возникают растягивающие напряжения, которые распространяются до подэтажных выработок нижнего подэтажа. Их значения здесь составляют от 0,551 МПа до 2,220 МПа.

Между подэтажной выработкой и стенкой отработанного пространства существует зона повышенных растягивающих напряжений. Значение этих напряжений в этой зоне составляет от 3,10 МПа до 0,387 МПа. Верхняя граница этой зоны распространяется до поверхности дна карьера. Со стороны лежачего бока в пределах рудного тела и за его пределами на высоте, равной 1,25 ширины выработки, т.е., на высоте $1,25p_b$ возникает еще одна зона повышенных растягивающих напряжений. Здесь значения растягивающих горизонтальных напряжений меняются от 3,420 МПа до 1,110 МПа. Появление этой зоны связано с отработкой камеры в висячем боку. До отработки камеры эта зона находилась в пределах залежи под дном карьера.

На месте пересечения подошвы отработанного пространства и границы висячего бока залежи образуется зона повышенных горизонтальных сжимающих напряжений. Значения напряжений в этой зоне меняются от 1,240 МПа до 1,00 МПа. Ниже этой зоны между отработанным пространством и выработками нижнего подэтажа существуют сжимающие и растягивающие горизонтальные напряжения. Под первой половиной ширины выработанного пространства, находящейся со стороны висячего бока возникают сжимающие напряжения со значениями от 1,150 МПа до 0,165 МПа. Ниже второй половины выработанного пространства до выработок второго подэтажа наблюдаются горизонтальные растягивающие напряжения. Горизонтальные растягивающие напряжения здесь меняются от 2,290 МПа до 1,116 МПа над выработкой и от 2,260 МПа до 1,510 МПа под выработанным пространством.

В правом высоком борту на уровне первого подэтажа существует зона растягивающих горизонтальных напряжений, которая находится при удале-

нии вглубь массива по горизонтали на расстояние, равное $(2,0-3,0)N_d$ (где N_d – ширина дна карьера).

Повышенные значения горизонтальных напряжений в этом борту находится в приповерхностной части борта карьера на высоте, равной 1,73 ширины дна карьера, т.е. на высоте $1,73N_d$. Значения этих напряжений составляют от 1,22 МПа до 1,00 МПа.

Повышенные значения максимальных касательных напряжений находятся между выработанным пространством и подземной выработкой (от 2,550 МПа и ниже), а также на границе лежачего бока залежи в пределах первого подэтажа (от 2,730 МПа и ниже) и в массиве правого борта на высоте от кровли выработки, равной $(2,0-2,5)p_b$ ширины выработки (от 3,150 МПа до 1,810 МПа). Такие высокие значения максимальных касательных напряжений наблюдаются и в зоне между подошвой отработанного пространства и выработками второго подэтажа (от 2,020 МПа до 1,340 МПа).

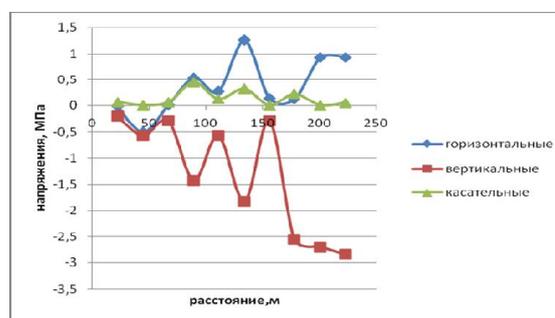


Рис. 2. Распределение напряжений в массиве пород после начала очистных работ

Согласно принятой технологии запасы подэтажа отрабатываются по шахматной схеме. После отработки запасов очередного слоя или после выемки запасов камеры расположенной со стороны лежачего бока концентрация вертикальных напряжений наблюдается в нижней части отрабатываемого подэтажа и вокруг выработок (Рис.3). В массиве нетронутой части (центральной части первого подэтажа) подэтажа происходит разгрузка вертикальных напряжений. Повышенные значения вертикальных напряжений по-прежнему находится в правом борту на уровне подошвы отрабатываемого подэтажа и ниже этого уровня. Значения напряжений в этой зоне равняются от 2,670 МПа до 3,600 МПа.

Горизонтальные напряжения концентрируются в пределах залежи вокруг выработок, в висячем и лежачем боках на уровне подошвы отрабатываемого подэтажа. Вокруг выработки наблюдаются горизонтальные напряжения сжимающего и растягивающего характера. В висячем и лежачем боках за пределами рудной залежи возникают зоны повышенных сжимающих напряжений. Со стороны висячего бока сжимающие напряжения равны от 1,360 МПа до 0,858 МПа, а со стороны лежачего бока залежи от 1,030 МПа до 0,559 МПа. Ниже выработанного пространства камеры второй очереди образуется зона растягивающих напряжений, где значения напряжений меняются от

1,050МПа до 0,042МПа. Над выработкой второго подэтажа ниже зоны растягивающих напряжений возникает зона сжимающих напряжений, которая распространяется до высоты от кровли выработки, равной 0,75_{пв}. Напряжения в этой зоне незначительны и составляют от 0,408МПа до 0,140МПа.

Выше было отмечено, что между отработанным пространством и первой от всячего бока выработкой нижнего подэтажа существуют сжимающие и растягивающие горизонтальные напряжения. В данном случае под первой половиной ширины выработанного пространства, находящейся со стороны всячего бока возникают сжимающие напряжения со значениями от 0,863МПа до 0,101МПа, т.е. напряжения в этой зоне снижаются от 1,3 до 1,6 раза.

Ниже второй половины выработанного пространства до выработок второго подэтажа по-прежнему наблюдаются горизонтальные растягивающие напряжения. Здесь горизонтальные растягивающие напряжения над выработкой меняются от 1,580МПа до 0,419МПа, т.е., произошло снижение напряжений от 1,4 до 2,6 раза. В то же время под выработанным пространством напряжения уменьшились от 1,380МПа до 0,484МПа. В данной зоне снижение напряжений составляло 1,6 до 3,1 раза.

В левом низком борту в основном будут действовать горизонтальные растягивающие напряжения со значениями от 0,185МПа и ниже.

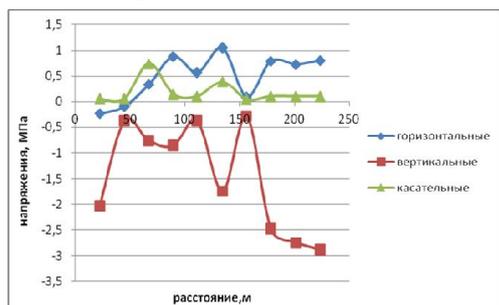


Рис. 3. Распределение напряжений в массиве пород после выемки камеры второй очереди

Расчеты показывают, что после полной отработки запасов верхнего подэтажа вертикальные напряжения распространены равномерно, которые с глубиной постепенно возрастают (Рис.4). Концентрация вертикальных напряжений при этом возникает вокруг выработок и на месте пересечения подошвы выработанного пространства с границей всячего бока залежи. В массиве пород, расположенном под выработанным пространством происходит снижение значений вертикальных напряжений.

После выемки запасов верхнего подэтажа ниже выработанного пространства возникают зоны растягивающих и сжимающих горизонтальных напряжений. Зона горизонтальных растягивающих напряжений располагается со стороны лежачего бока, и ее ширина составляет 0,8 N_d . Их максимальные значения равны от 1,410МПа до 1,09МПа. По глубине она распространяется до 0,1 N_d со стороны всячего бока и 0,3 N_d со стороны лежачего бока.

Со стороны всячего бока указанной зоны существуют сжимающие горизонтальные напряжения, ширина которой равняется 0,2 N_d . Здесь сжимающие напряжения возрастают до 0,835МПа. В то же время на этом уровне за пределами залежи и со стороны всячего бока образуется зона сжимающих напряжений. Их значения меняются от 1,150МПа до 0,265МПа.

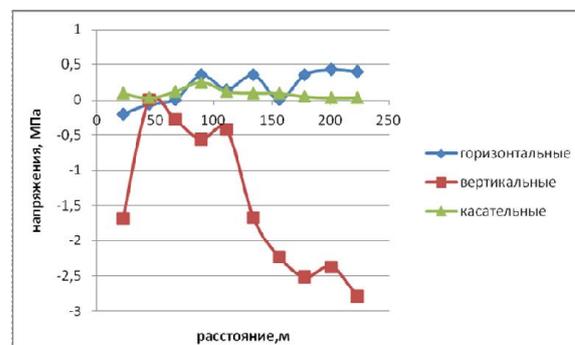


Рис. 4. Распределение напряжений в массиве пород после полной выемки запасов первого подэтажа

Для сравнения можно отметить, что до начала очистных работ под дном карьера в этой зоне существовали только растягивающие напряжения. После полной выемки запасов первого подэтажа под выработанным пространством появились горизонтальные напряжения сжимающего и растягивающего характера.

Максимальные касательные напряжения концентрируются вокруг выработок в пределах рудного тела и в массиве левого более низкого борта на уровне подошвы выработанного пространства. Наибольшие значения этих напряжений наблюдаются вокруг первой от всячего бока выработки второго подэтажа и вокруг выработок третьего подэтажа. Вокруг выработки второго подэтажа значения максимальных касательных напряжений изменяются от 1,080МПа до 1,470МПа. В массиве вокруг других двух выработок второго подэтажа значения напряжения на порядок меньше. Вокруг выработок третьего подэтажа напряжения возрастают до 1,670МПа, особенно вокруг первой от всячего бока выработки.

Зона наибольших значений максимальных касательных напряжений возникают и на высоте от кровли первой выработки второго подэтажа, равной (1,32-1,67) _{пв}. Их значения равняются до 1,140МПа.

Таким образом, расчеты показали, что при выемке первоочередной камеры, расположенной со стороны всячего бока, в всячем боку за пределами рудной залежи на уровне подошвы выработанного пространства образуется зона горизонтальных сжимающих напряжений. Под выработанным пространством возникает зоны сжимающих и растягивающих напряжений, причем со стороны всячего бока существуют сжимающие, а в обратную сторону – растягивающие напряжения. При этом, начиная с глубины, равной ширине выработанного пространства возникают растягивающие напряжения, которые распространяются до подэтажных выработок нижнего подэтажа. Со стороны лежачего бока в пределах

рудного тела и за его пределами на высоте, равной 1,25 ширины выработки возникает еще одна зона повышенных растягивающих напряжений. Висячем боку со стороны правого высокого борту на уровне подэтажа возникает зона растягивающих горизонтальных напряжений, которая находится при удалении вглубь массива по горизонтали на расстояние, равное 2,0-3,0 ширина дна карьера.

Повышенные значения максимальных касательных напряжений находятся между выработанным пространством и подземной выработкой, а также на границе лежачего бока залежи в пределах первого подэтажа и в массиве правого борта на высоте от кровли выработки, равной (2,0-2,5) ширины выработки.

После выемки запасов камеры, расположенной в лежачем боку в обоих боках за пределами рудной залежи возникают зоны повышенных сжимающих напряжений. Под выработанным пространством камеры образуется зона растягивающих напряжений, ниже которой возникает зона сжимающих напряжений, которая распространяется до высоты от кровли выработки нижнего подэтажа, равной 0,75 n_b .

После выемки запасов подэтажа ниже выработанного пространства возникают зоны растягивающих и сжимающих горизонтальных напряжений. Зона горизонтальных растягивающих напряжений располагается со стороны лежачего бока, и ее ширина составляет 0,8 ширины дна. По глубине она распространяется до 0,1 ширины дна со стороны висячего бока и 0,3 ширины дна со стороны лежачего бока. Со стороны висячего бока указанной зоны существуют сжимающие горизонтальные напряжения, шириной, равной 0,2 ширины дна.

Литература:

1. Казикаев Д. М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд М. Недра, 1981. -288с.
2. Алибаев А.П. Геомеханика и технологии при комбинированной разработке рудных месторождений. - Б.: Инсанат, 2008. -192 с.
3. Казикаев Д.М. Комбинированная разработка рудных месторождений. М; «Горная книга», 2008 г. с.367
4. Усманов С.Ф. Система моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива и оценки устойчивости бортов карьеров. Б., 2006.
5. Терметчиков М.К. Физико-механические свойства горных пород месторождений Киргизии и их корреляционный анализ. Ф., 1979.

Рецензент: д.т.н., профессор Усенов К.Ж.