

На графике можно заметить, что точки максимума соответствует условию $E_{\text{бок.пород}} < E_{\text{руд.тела}}$, а точки минимума – $E_{\text{бок.пород}} > E_{\text{руд.тела}}$. Значения горизонтальных напряжений по оси XX (рис. 2) снижаются с уменьшением угла падения рудного тела в 0,9–1,8, а значения вертикальных напряжений УУ в 0,9–1,1, горизонтальных напряжений ZZ в 0,8–1,4, касательных напряжений ХУ в 0,9–1,4, и полной деформации в 0,8–1,3 раза возрастают. Аналогичные результаты получены при моделировании напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов и подкарьерных запасов с применением программы Matlab.

Выводы.

Анализ полученных результатов математического моделирования напряженно-деформированного состояния прибортового массива и подкарьерных запасов при различных углах падения рудного тела, позволяет сделать следующие выводы:

1. На характер распределения напряжений прибортового массива и подкарьерных запасов влияют геометрические параметры карьера, физико-механические свойства руды и боковых горных пород и угол падения подкарьерного рудного тела.

2. Изменение угла падения рудного тела является основным фактором, влияющим на снижение значений напряжений по оси ХХ. При этом они уменьшаются в 0,9–1,8 раза в зависимости от величины угла падения рудного тела.

3. Условие вызывает концентрацию напряжений вблизи контактов рудного тела и боковых пород и оказывает негативное влияние на выбор технологии разработки месторождений.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Фрунзе: изд. Илим. – 1987. – 246с.
2. Кожозулов К.Ч, Усенов К.Ж., Алибаев А.П. Геомеханические основы и технология при комбинированной разработке крутопадающих месторождений. Бишкек. – 1999. – 186 с.
3. Яльмов Н.Г. Исследование горного давления при подземной разработке рудных месторождений Киргизии. Фрунзе, изд. Илим, 1976. – 203с.
4. Кожозулов К.Ч., Турбеков С.В., Никольская О.В. [и др.] Основы геомеханики при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Бишкек-Алмата, 2016г. – 146 с.
5. Усманов С.Ф. Прогнозирование устойчивости бортов высокогорных карьеров на основе моделирования напряженно-деформированного состояния. Бишкек. изд. КРСУ. – 2009г. – 172с.
6. Абдылдаев К.К., Кабаева Г.Дж., Кожозулов К.Ч. Моделирование геомеханических процессов с помощью Matlab на основе метода конечных элементов // Поиск. Серия естественных и технических наук. Алмата. 2012.
7. Кожозулов К.Ч., Куваков С.Ж. Моделирование напряженно-деформированного состояния подкарьерных запасов при комбинированной разработке рудных месторождений // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск. – 2015. – № 2. – С. 14–19.

УДК 622.02 (575.)



Моделирование напряженно-деформированного состояния прибортового анизотропного массива месторождения «Макмал»

К.К. Абдылдаев, канд. техн. наук, доц., Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, г. Каракол, Республика Кыргызстан

С.Ж. Куваков, научный сотрудник, Институт геомеханики и освоение недр НАН КР, г. Бишкек, Республика Кыргызстан

Гурманбек уулу Т., канд. техн. наук, доц., Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Республика Кыргызстан

Г.Дж. Кабаева, д-р техн. наук, проф., Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Республика Кыргызстан

Массив горных пород является сложной физической средой и обладает целым рядом структурно-механических особенностей, которые в свою очередь определяют его напряженно-деформированное состояние. В общем случае, массив горных пород представляет собой дискретную, неоднородную анизотропную среду с естественным напряженным состоянием [1, 2]. К такому сложно-структурному массиву можно отнести и массив золоторудного месторождения Макмал. Ранее, применительно

к этому месторождению, были проведены исследования, направленные на оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов бортов карьера и при подземной разработке месторождения [3, 9]. Другие исследования были посвящены изучению физико-механических свойств горных пород [4, 5] и оценке НДС натурным и численным методами. При этом массив месторождения Макмал рассматривался как изотропная среда.

В данной работе основной задачей исследований стало

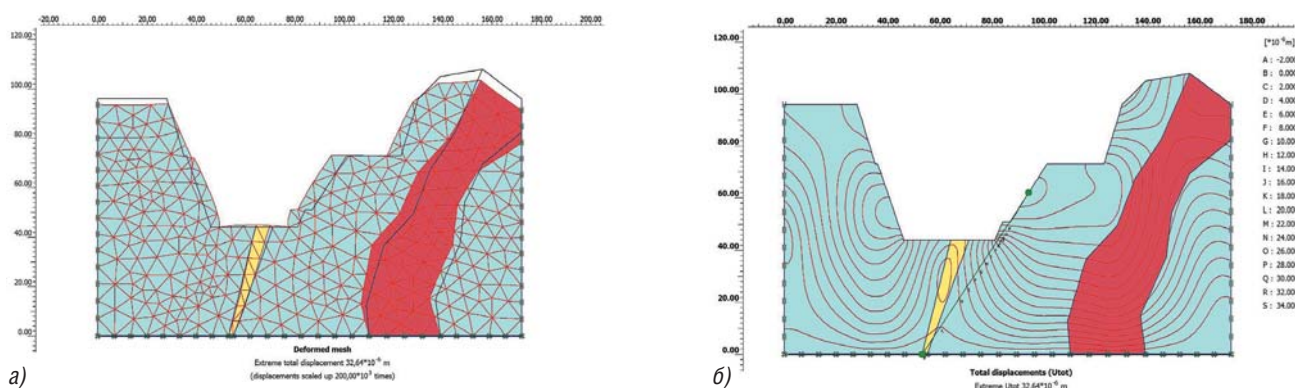


Рис. 1 Геометрические параметры и деформированное состояние бортов карьера: а) разбиение на треугольные сетки и геометрические параметры; б) деформационные характеристики пород месторождения Макмал

моделирование напряженно-деформированного состояния прибортового анизотропного массива горных пород месторождения Макмал.

Известно, что современное компьютерное программное обеспечение позволяет сэкономить большое количество времени и решить сложные задачи в короткий срок. На сегодняшний день существуют множество автоматизированных программных продуктов, основанных на методе конечных элементов, и которые упрощают процесс решения дифференциальных и линейных уравнений. Причем область применения этих программ – широкая. К таким инструментам можно отнести программы Ansys, Sigma, Stress, Геомеханика, Plaxis, GenID, Geo5, SCad, SoilWorks, Adventure и другие [7, 8]. Вышеперечисленные программы имеют свои особенности и условия использования. Например, область применения программ Ansys, GenID и SCad – широкая и включает множество функций.

В работе нами использована программа Plaxis, которая отличается от других простотой эксплуатации в решениях геотехнических задач. Plaxis дает возможность применения широкого спектра моделей материала (грунта, горных пород): Linear-Elastic, Mohr-Coulomb, Soft Soil model, Hardening Soil model, HSsmall, Modified Cam-Clay, Soft Soil Creep model, Jointed Rock model [8, 9]. Так как мы изучаем напряженно-деформированное состояние прибортового массива месторождения Макмал с учетом анизотропии упругих свойств горных пород, то будем применять Jointed Rock model.

Физико-механические свойства слагающих пород прибортового массива месторождения Макмал, анизотропия упругих свойств горных пород в двумерном пространстве показаны в табл. 1 [4, 5].

При моделировании прибортового массива карьера Макмал геометрическая сетка конечных элементов в выбранном инженерно-геологическом разрезе была разделена

на 640 равносторонних треугольных элементов со средними сторонами 5,39 м и количеством 5309 узлов. При разбиении на треугольные элементы, программа Plaxis позволяет использовать 6-ти или 15-ти узловые треугольные элементы. На рис. 1, а) и б) показаны использованные при моделировании 15-ти узловые треугольные элементы, геометрические параметры разреза и деформационные характеристики, соответственно. Граничные условия задавались таким образом, что горизонтальные геометрические линии, у которых координата Y равна наименьшему значению координаты Y, в модели получают полное закрепление, т.е. $u_x = u_y = 0$. А вертикальные линии, у которых координата X равна наименьшему или наибольшему значению координаты X, получают горизонтальные закрепления, т.е. $u_x = 0$.

В результате моделирования НДС прибортового массива месторождения Макмал, полученные деформационные характеристики показали, что в левом борту на отметке 50 м максимальное перемещение узловых точек в треугольном элементе составило с направлением слева на право $23,17 \cdot 10^{-6}$ м, в правом на высотной отметке 63 м справа на лево – $32,64 \cdot 10^{-6}$ м. Также область деформации появляется в окрестности рудного тела, значения перемещения узловых точек которого составило $5,14 \cdot 10^{-6}$ м с направлением узловых точек треугольного элемента снизу вверх (см. рис. 1 -б).

На рис. 2 проиллюстрировано распределение напряжений в прибортовом массиве с учетом анизотропии упругих свойств горных пород: горизонтальные напряжения XX (а), горизонтальные напряжения ZZ (б), вертикальные напряжения YY (в), касательные напряжения XY (г).

Результаты моделирования показали, что при распределении горизонтальных напряжений по оси XX возникают две области концентрации горизонтальных сжимающих напряжений – в области контакта бортов с дном карьера месторождения Макмал (рис. 2-а). В области правого контакта

Таб. 1 Физико-механические свойства и анизотропия упругих свойств горных пород месторождения Макмал

Вводные параметры	Название горной породы		
	Метасоматит	Мраморизованный известняк	Рудная брекчия
Объемный вес γ , кН/м ³	28	26,5	28
Модуль упругости E_1 , кН/м ²	1,219E+08	1,292E+08	1,014E+08
Коэффициент Пуассона ν_1	0,340	0,340	0,360
Модуль сдвига G_1 , кН/м ²	7,617E+07	8,138E+07	6,339E+07
Модуль упругости E_2 , кН/м ²	1,001E+08	1,155E+08	1,006E+08
Коэффициент Пуассона ν_2	0,340	0,340	0,360
Модуль сдвига G_2 , кН/м ²	6,257E+07	7,275E+07	6,285E+07
Сцепление C , кН/м ²	1,800E+04	1,360E+04	4400
Угол внутреннего трения, град.	61	60	58



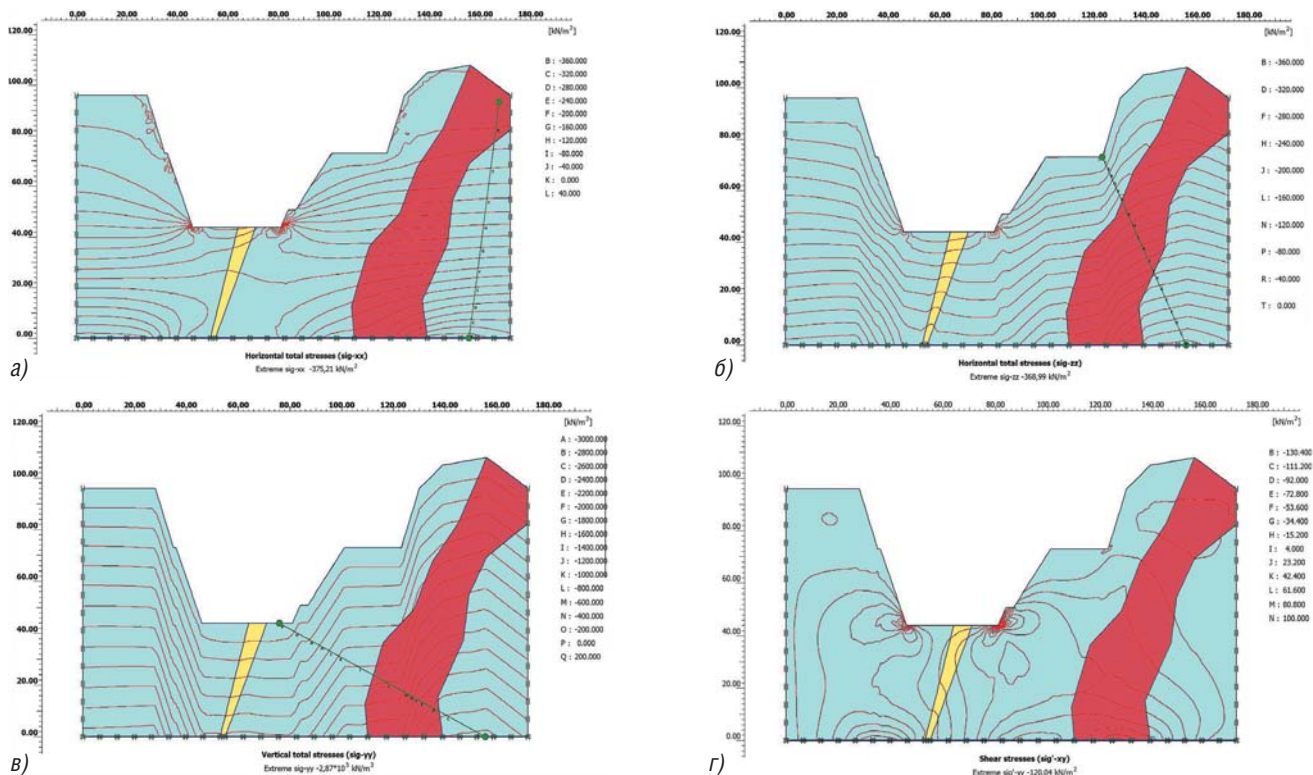


Рис. 2 Изолинии напряжений в прибортовом массиве месторождения Макмал. а) распределение напряжений по оси ХХ; б) распределение напряжений по оси УУ; в) распределение напряжений по оси ZZ; г) распределение напряжений по XY

борта с дном максимальные и минимальные значения сжимающих горизонтальных напряжений равны 250,46 и 8,54 кН/м² соответственно. А в области левого контакта максимальное и минимальное значения горизонтальных сжимающих напряжений составили 410,73 и 4 кН/м². В рудном теле возникают горизонтальные сжимающие напряжения, значения которых меняются от 114,09 до 200,89 кН/м² по мере углубления карьера.

Как видно из рис. 2-б, концентрация горизонтальных сжимающих напряжений по оси ZZ возникли в области контакта бортов с дном карьера, значения которых меняются от 6,10 до 148,02 кН/м². Вертикальные напряжения распределяются равномерно с изменением глубины, и значение вертикальных напряжений с высотой отметки 108 м по правому борту достигает до 2854,92 кН/м², по левому борту с высотой отметки 96 м – до 2496,90 кН/м² и вдоль дна карьера с высотой отметки 44 м – до 1229,89 кН/м² (рис. 2-в).

Распределение касательных напряжений показано в изолиниях на рис. 2-г. В левой области концентрации напряжений, касательные напряжения изменяются от 16,75 до 91,47 кН/м², а в правой – от 25,20 до 169,39 кН/м².

Таб. 2 Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния массива трех форм сложения и структуры

Параметры НДС массива	Форма сложения и структура массива		
	I тип Однородный изотропный	II тип Неоднородный изотропный	III тип Неоднородный анизотропный
Деформация, мм	0,17	0,15	0,03
Напряжения ХХ, кН/м ²	150,63 – 530,82	101,14 – 539,80	4 – 410,73
Напряжения УУ, кН/м ²	0,34 – 2683,45	10,53 – 2770,35	12,47 – 2854,92
Напряжения ZZ, кН/м ²	57,28 – 226,44	61,29 – 246,82	6,10 – 148,02
Напряжения ХУ, кН/м ²	2,68 – 188,07	2,14 – 171,72	16,75 – 169,39

Результаты сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния прибортового массива месторождения Макмал использованы в ранее проведенных исследованиях по оценке напряженно-деформированного состояния массива в случае «однородное изотропное» и «неоднородное изотропное» [11, 12], показаны в табл. 2.

Относительно деформационных характеристик можно отметить, что максимальное значение перемещений узловых точек в треугольной сетке по I типу больше, чем в двух других. Как показано в табл. 2, значения касательных и вертикальных напряжений в случае, когда массив рассматривался как неоднородный и анизотропный, оказались больше чем в двух других случаях. В свою очередь по горизонтальным напряжениям наоборот, – по III типу меньше, чем по I и II типам.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Абдылдаев К.К., Куваков С.Ж., Курманбек уулу Т. Исследование физико-механических свойств на различных глубинах и анизотропии горных пород месторождения Макмал. // Горная промышленность. М.: – 2017. – №1 (131). – С. 93–95.
2. Абдылдаев К.К., Кожоголов К.Ч., Куваков С.Ж. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов сложноструктурных месторождений. // Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: изменение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах. Бишкек – 2016. – С. 214–220.
3. Абдылдаев К.К., Куваков С.Ж., Курманбек уулу Т. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов однородного сложения. // Горная промышленность. М.: – 2017. – № 1 (131). – С. 91–93.
4. Айтматов И.Т., Кожоголов К.Ч. Напряженное состояние и прочность элементов систем разработки скользящих месторождений Средней Азии. изд. «Илим», Фрунзе, 1988. 124 с.
5. Глушко В.Т., Гавеля С.П. Оценка напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. изд. «Недра». М.: – 1986. 225с.
6. Кожоголов К.Ч., Усенов К.Ж. Напряженно-деформированное состояние подрабатываемых бортов и днищ карьеров. ЖАГУ, – 2002. 167с.
7. Кожоголов К.Ч., Куваков С.Ж. Моделирование напряженного состояния подкарьерных запасов при комбинированной разработке рудных месторождений. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск. – 2015. – №2. – С. 14–18
8. Куваков С.Ж., Кадьралиева Г.А., Джакутбеков Б.Т. Физико-механические свойства горных пород глубоких горизонтов месторождения «Макмал». // Вестник КРСУ, Том 16 №5, Бишкек. – 2016. – С. 151–153
9. Тажибаев Д.К., Тажибаев К.Т., Куваков С.Ж. Рекомендации по безопасной отработке запасов руды в целиках на руднике Макмал. // Современные проблемы механики сплошных сред. 21-й вып. Бишкек 2015г. С 134-140
10. Усманов С.Ф. Использование программного комплекса «STRESS» для оценки устойчивости бортов карьеров. // Вестник КРСУ, Том 8 №1, Бишкек. – 2008.
11. Kuvakov S.Zh., Kozhugulov K.Ch., Kabayeva G.Dz. Mathematical modeling of massif state around the mountain road slopes and highland pit. // Challenges and innovations in Geotechnics. Astana 2016, 217–241р.
12. Plaxis – инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов CADmaster. – 2002. – № 3. – С.62–65.