

ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК.622.831

Э.К. Абдылдаев, М.А. Эркинбаев, О.Ф. Сөзхсү

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СЕВЕРНОГО БОРТА КАРЬЕРА МАКМАЛ

В работе по разработанной методике выполнен анализ устойчивости бортов карьера в трех вариантах контура – ВАРИАНТ I (с призмой упора), ВАРИАНТ II (оптимальный МКЭ), ВАРИАНТ III (с разном северного борта) без учета и с учетом тектонических напряжений. Даны рекомендации по сохранению северного борта карьера в устойчивом состоянии – ВАРИАНТ II (оптимальный МКЭ).

Удовлетворение возрастающей потребности народного хозяйства в цветных и благородных металлах обеспечивается главным образом за счет преимущественного развития открытого способа разработки. Возрастающие объемы горных работ, выполняемых открытым способом, ухудшение инженерно-геологических условий и увеличение глубины карьеров требуют особого внимания к обеспечению длительной устойчивости карьерных откосов, параметры которых в значительной мере определяют экономичность и безопасность отработки месторождения «Макмал».

Анализируя горно-геологическую ситуацию в районе месторождения Макмал, необходимо иметь в виду, что вмещающие породы представлены интрузивными и метафорфическими породами. В северном борте преобладают мраморы и граниты. Потенциальная призма обрушения в верхней части сложена мраморами, переходящими в выветрелые граниты. Гранитами также сложена нижняя часть борта. Расчетная конечно-элементная схема и другие параметры представлены на рис.1. Физико-механические характеристики приняты согласно данным «Иргиредмет» с учетом нормативного коэффициента запаса 1.3. Проанализированы по отдельности три варианта контура проектируемого карьера: I – ВАРИАНТ С ПРИЗМОЙ УПОРА; II – ВАРИАНТ ОПТИМАЛЬНОЙ МКЭ; III – ВАРИАНТ С РАЗНОСОМ СЕВЕРНОГО БОРТА.

РАСЧЕТНАЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ СХЕМА



Рис. 1

Задача решалась поэтапно с постепенным углублением карьера. Первоначально определяются поля напряжений для нетронутого состояния массива. Затем отрабатываются циклично горизонты 2620, 2560 и 2500, причем в каждом цикле ЭВМ выводит в каждой точке массива напряжения, деформации, перемещения, значение изолиний ω и коэффициента запаса устойчивости k [1].

I ВАРИАНТ. Результаты решения этого варианта при обработке горизонта 2500 представлены на рис.2. Как видно из рисунка, на горизонте 2800 и выше наблюдаются зоны неупругих деформаций (зоны растяжения отмечены точкой). Зоны неупругих деформаций также наблюдаются на подошве откоса в нескольких элементах массива. Здесь же приведены направление и величины главных напряжений. Величину напряжений можно определить по масштабу векторов. Полученные результаты позволяют отметить, что максимальное главное напряжение вдали от откоса приблизительно $(0.74 \div 1.5) \cdot H_{cp}$ направлено вертикально, затем постепенно выполаживается и вблизи от поверхности откоса становится параллельным последнему.

На рис.2 также показаны изолинии запаса устойчивости массива. Интересующая нас изолиния с нулевым значением (потенциальная поверхность скольжения) отмечена цифрой 0 и расположена в горизонтах 2770-2500. При этом данная поверхность, начиная с верхнего горизонта 2560, совпадает с зоной нарушения и распространяется до основания откоса. Коэффициент запаса устойчивости по построенной потенциальной поверхности скольжения на основе МКЭ составляет 0.98, то есть существует возможность обрушения северного ботра.



Рис. 2

II ВАРИАНТ. Векторы главных напряжений, изолинии запаса устойчивости и зоны неупругих деформаций приведены на рис. 3. Величину главных напряжений можно определить по масштабу векторов. Зона влияния откоса вглубь массива распространяется приблизительно на расстоянии $(0.74 \div 1.43) \cdot H_{cp}$, где H_{cp} – среднее значение высоты карьера. Зоны растягивающих напряжений возникают в прибортовой части массива на горизонте 2830-2920 и на подошве откоса. Следует отметить, что зоны влияния карьера и зоны неупругих деформаций в этом варианте по сравнению с вариантом I несколько меньше.



Рис. 3

Изолиния с нулевым значением Φ расположена в горизонтах 2710-2530. При этом эта линия, начиная с горизонта 2710 до горизонта 2560, ориентирована вдоль поверхности нарушения; затем охватывает массив до горизонта 2530. Ширина охвата в верхней части откоса 30 м, средней – 50 м, а в нижней – 25 м. Расчетные значения коэффициента запаса устойчивости по этой потенциальной поверхности скольжения равны 1.09.

III ВАРИАНТ. На рис. 4 показаны результаты решения задачи при последовательном углублении откоса. Анализ результатов этого варианта показывает, что расположение изолинии с минимальным запасом устойчивости (нулевая линия) такое же как и в варианте II за исключением нижней части откоса. На верхней части в прибортовом массиве в нескольких элементах наблюдаются зоны растягивающих напряжений. Зоны влияния карьера равны примерно $H_{вл} = (0.74 \div 1.41) \cdot H_{ср}$. Коэффициент запаса устойчивости на основе расчетной модели в этом варианте равен 1.14.

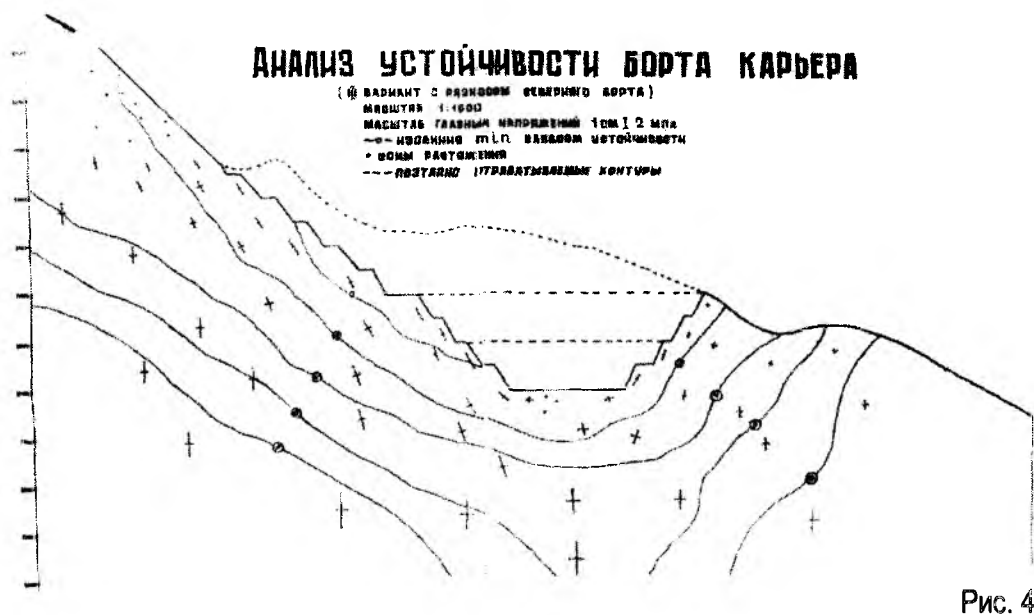


Рис. 4

Анализ данных вариантов показывает, что максимальное значение перемещений узлов достигает до 1 мм. В силу неоднородности массива распределение напряжений неравномерное. В зонах нарушения напряжение значительно меньше, чем в окружающих его массивах. Количественное сравнение значений главных напряжений δ_1 и δ_3 вблизи поверхности откоса, отработанного до окончательной глубины карьера с нетронутым состоянием массива, показывает, что на горизонтах 2740, 2680, 2620 значение δ_1 увеличивается на 21%, 25%, 12%, а δ_3 уменьшается на 43%, 23%, 50% соответственно. На горизонте 2500 и на подошве откоса наблюдается уменьшение δ_1 и δ_3 на 24% и 49%.

Итак, анализ устойчивости откосов в ВАРИАНТАХ I, II и III по нашей методике дает коэффициент запаса устойчивости – 0.98, 1.09 и 1.14 соответственно. При этом в вариантах II и III северный борт карьера будет находиться в устойчивом состоянии.

С целью сопоставления значения k произведен расчет устойчивости борта по методике Г.Л. Фисенко [2]. Расчеты показали, что коэффициенты k в этом случае для ВАРИАНТОВ I, II, III соответственно равны 0.96, 1.01, 1.08.

Результаты экспериментального определения поля естественных напряжений в горноскладчатых областях показывают, что в большинстве случаев горизонтальные компоненты напряжений по величине больше чем вертикальные. При этом горизонтальные напряжения, существующие в массивах пород горноскладчатых областей, представляют сумму трех составляющих [3]:

- 1) Горизонтальной компоненты, включающей остаточные магматогенные и сохранившиеся после запредельного деформирования и разрушения горных пород в процессе орогенеза напряжения;
- 2) Горизонтальной компоненты напряжений, обусловленной действием веса горных пород;
- 3) Горизонтальной компоненты поля напряжений, формирующегося под влиянием тектонических процессов.

При обычных методах эти напряжения игнорируются, поэтому по разработанной методике оценим устойчивость борта карьера с учетом вышеуказанных факторов. Рассмотрим случаи, когда $t=1, 2$ и 3 . Случай, когда $t=0$ рассмотрен выше как неучет тектонических напряжений.

На ЭВМ просчитаны ВАРИАНТЫ I, II, III с учетом тектонических напряжений при коэффициенте $t=1, t=2$ и $t=3$. На рис. 5 представлены результаты расчета III ВАРИАНТА при $t=3$. Картина распределения напряжений в данном случае неравномерна. Здесь главные напряжения δ_1 и δ_3 по сравнению со случаем $t=0$ увеличиваются на горизонтах 2740, 2680 примерно на 3.3 и 1.5 раза, а на горизонте 2620 – уменьшается на 0.9 и 1 раз соответственно. На горизонтах 2560, 2500 наблюдается увеличение δ_1 примерно на 2.15, δ_3 – на 3.6 раза, а на основании откоса 2.2 и 2 раза соответственно. Вблизи поверхности откоса возникают зоны растягивающих напряжений.

Изолинии с минимальным запасом устойчивости охватывают горизонты 2800-2500. В верхней части откоса изолиния выходит на горизонте 2710 м прямо на откос, затем до горизонта 2560 ориентирована вдоль поверхности нарушения. В нижней части

изолиния охватывает основание откоса. Расчетное значение коэффициента устойчивости равно 0.9.0.



Рис. 5

Результаты всех расчетов представим в виде таблицы 1. Из таблицы видно, что северный борт неустойчив в ВАРИАНТЕ I для всех случаев, а при $t=1$ коэффициент запаса устойчивости k выше предельной для варианта II и III, а при $t=2$ и 3 – ниже. Отсюда следует, что борт в вариантах II и III устойчив при значениях $t \leq 1$.

Таблица 1

Номера вариантов	Коэффициент запаса устойчивости t				
	По инженерной методике $t=0$	МКЭ $t=0$	С учетом тектонических напряжений (МКЭ)		
			$t=1$	$t=2$	$t=3$
I ВАРИАНТ с призмой упора	0.96	0.98	0.95	0.85	0.77
II ВАРИАНТ оптимальный МКЭ	1.01	1.09	1.01	0.95	0.86
III ВАРИАНТ с разносом северного борта	1.08	1.14	1.06	0.99	0.90

Анализ таблицы 1 позволил вывести формулы, описывающие изменения k в зависимости от коэффициента t для всех вариантов расчета:

$$k_I = 0.981 \cdot e^{-0.0682 \cdot t} \quad (1)$$

$$k_{II} = 1.0876 \cdot e^{-0.0737 \cdot t} \quad (2)$$

$$k_{III} = 1.144 \cdot e^{-0.0798 \cdot t} \quad (3)$$

С помощью формул (1) – (3) можно определить, не проводя расчеты на ЭВМ, значение k при различных t .

Приведенный анализ показывает, что при использовании ВАРИАНТА III объем вскрыши при разносе борта составляет около 1 млн. M^3 пород. Поэтому для уменьшения объема вскрыши нами рекомендуется профиль борта ВАРИАНТ II (оптимальный МКЭ).

Нижним горизонтом разноса является горизонт 2620 м, ширина бермы составляет 15 м. На горизонте 2710 м составляется предохранительная берма шириной 25 м. Углы откосов уступов принимаются проектные – 55° . На горизонте 2710-2740 м откос уступа разносится по линии поверхности нарушения включительно. При использовании рекомендуемого ВАРИАНТА II объем вскрыши при разносе борта по сравнению с III ВАРИАНТОМ уменьшится примерно в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдылдаев Э.К. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок. –Фрунзе: Илим, 1990. –164с.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. –М.: Недра, 1965. – 378с.
3. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. –Фрунзе: Илим, 1987. –246с.