

Горный инженер Убакеев С. У.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ СКАЛЬНЫХ КАРЬЕРОВ

(на примере Буурдинского рудника)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертационной работы, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

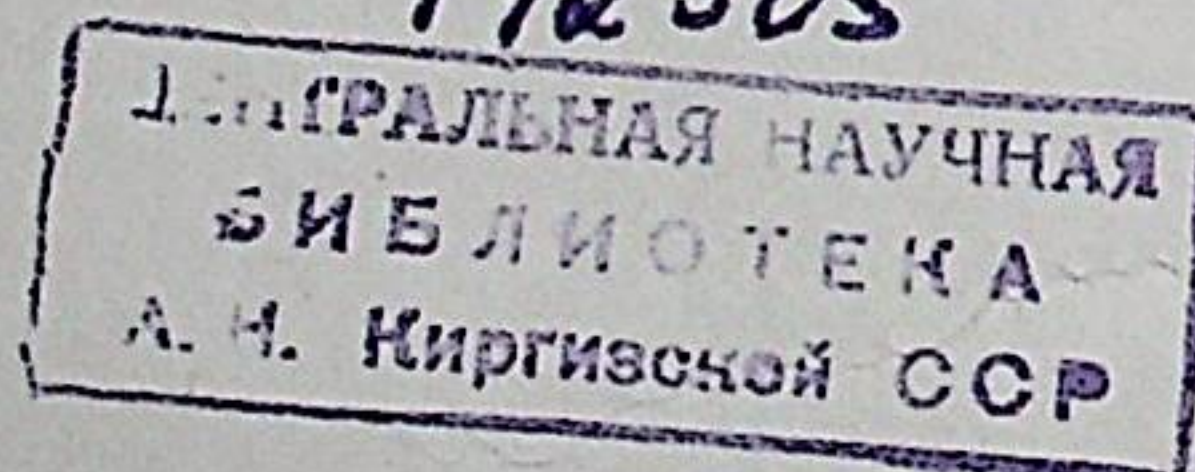
*Научный руководитель член-корреспон-
дент АН Казахской ССР*

А. Ж. Машанов

Алма-Ата 1960

Работа выполнена в Отделе горного дела и металлургии
АН Киргизской ССР

172505



Контрольными цифрами семилетнего плана развития народного хозяйства СССР за 1959—1965 гг. одобренными XXI съездом КПСС предусмотрено дальнейшее широкое развитие добычи минеральных ресурсов открытыми горными работами. Интенсивное применение мощного горного оборудования позволяет в настоящее время производить выемку полезных ископаемых в карьерах глубиной до 500 м. В связи с этим перед советской горной наукой встает ряд серьезных проблем, к числу которых следует прежде всего отнести вопрос об определении устойчивости бортов карьеров. Решение данного вопроса позволит повысить безопасность горных работ и снизить потери полезных ископаемых от оползней и обрушений, а при проектировании точно определять глубину открытых разработок.

При проектировании угол откоса бортов обычно принимается на основании практических данных или простых расчетов, не учитывающих характерных особенностей каждого рудника. Вследствие этого происходят нарушения бортов, причиняющих огромный ущерб предприятиям, вызывающие необходимость многократной перевалки оползающих масс. Причина таких явлений—в недостаточной изученности бортов и отсутствии методических расчетов, которые учитывали бы совокупное воздействие всех факторов на устойчивость откосов.

Если по теории расчета откосов для глинистых пород в последнее время накоплена значительная литература, то вопросы устойчивости бортов скальных карьеров остаются пока еще малоизученными.

Цель настоящего исследования заключается в том, чтобы на основе обобщения данных отечественной и зарубежной практики, теоретических исследований, а также экспериментальных работ выявить основные закономерности условия

устойчивости бортов скальных карьеров на примере Буурдинского рудника.

Работы проводились в течение 1956—58 гг. на руднике Буурду и в лабораторных условиях в Отделе горного дела и металлургии Академии наук Киргизской ССР.

Работа, изложенная на 148 страницах машинописного текста, представлена введением и четырьмя главами.

Глава I. В данной главе излагается краткий критический анализ литературы методов расчета устойчивости откосов.

Вопросам устойчивости бортов карьеров посвящены многочисленные работы советских и зарубежных авторов. Все эти работы могут быть сведены к следующим главным методикам расчета.

1. Графоаналитические методы (П. М. Цимбаревич, Н. В. Орнацкий, Феллениус и др.), разработанные в инженерной геологии и в горном деле и основанные на некоторых допущениях в отношении формы поверхности скольжения.

Для однородных (глинистых и др.) пород графоаналитические методы дают довольно приемлемые результаты. Однако при расчете многочисленных и плотных пород они далеки от действительности.

2. Методы расчета, основанные на теории упругопластичных массивов (В. В. Соколовский, С. С. Голушкевич), в которых аналитически определяются форма и положение кривой скольжения и критическая высота в момент предельного равновесия.

Методы этого направления, несмотря на свою относительную строгость с математической точки зрения, не обеспечивают учета особенностей строения массива горных пород, слагающих борта карьера, а трудоемкость и сложность расчетов затрудняют их практическое использование.

Однако из всех существующих методов данные методы теоретически наиболее обоснованы и могут быть положены в основу расчета откосов при учете структурно-геологического строения массива и физико-механических свойств горных пород.

3. Методы расчета углов откосов, учитывающие горногеологические условия.

Среди сторонников этой группы методов нет определенного единства. Одна группа авторов (Ю. Н. Малюшицкий, С. И. Попов, И. Л. Рудаков и др.) считает, что плоскости напластования при соответствующих условиях могут быть поверхностями скольжения, а другая (А. Ж. Машанов, К. Д. Медведев, С. У. Умбеталин, Н. Н. Куваев) рассматривает горные породы как сплошную среду со сложным структурно-геологическим строением и физико-механическими свойствами.

Работы авторов первой группы, учитывающие геометрические элементы залегания месторождения, дают приемлемые решения только для некоторых неглубоких, имеющих незначительные плоскости ослабления карьеров, тогда как применение их расчетов для скальных пород приводит к завышению углов откосов.

В то же время работы авторов второй группы в последнее время находят широкое применение в горнорудной промышленности как методы, учитывающие структурные особенности массива горных пород.

На основании критического анализа литературы посвященному изучению условий устойчивости откосов — были избраны соответствующие методики экспериментальных и теоретических исследований.

Глава II. В этой главе приведены краткие геолого-технические сведения и результаты экспериментальных и лабораторных исследований по изучению физико-механических свойств горных пород и структурной неоднородности массива.

Участок месторождения, разрабатываемый открытым способом, представляет тектонически ослабленную зону, заключенную между тремя крупными разломами.

Рудное тело Буурдинского месторождения приурочено к зоне разлома, образованного по контакту гнейсовидных и лейкократовых гранитов.

В морфологическом отношении рудные тела Буурдинского месторождения имеют форму линз и жил с рассеянным орудинением штокверкового типа, вытянутые в северо-западном направлении и падающие на северо-восток под углом от 65 до 90° на глубину до 200 м; ниже они имеют юго-восточное простирание.

Рудные тела обычно не имеют четких границ с вмещающими породами, а постепенно переходят в боковые безрудные зоны. В целом разведанное рудное тело характеризуется жиловидной формой со средней мощностью около 14 м.

Вмещающие породы характеризуются наличием большого количества трещин.

В отношении крепости руда и породы относятся к категориям IIIa и по III по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Наиболее крепкими вмещающими породами являются кварцевые порфиры с коэффициентом крепости $f=8-10$ и реже с $f=12-13$. Лейкократовые граниты в зависимости от степени их окварцевания имеют крепость $f=8-10$. Руды, в зависимости от степени нарушенности, характеризуются коэффициентом крепости $f=6-8$.

Для существующего карьера по проекту 1955 г. предельный коэффициент вскрыши был принят равным $18 \text{ м}^3/\text{м}^3$, на

основании которого по геологическим разрезам произведено оконтуривание карьера. Геометрические параметры по данным проекта следующие:

максимальная длина по поверхности	980 м,
максимальная ширина по поверхности	320 м,
средняя глубина карьера	160 м,
минимальная ширина дна карьера	20 м

Месторождение разрабатывается горизонтальными слоями (высота уступа 10 м). Бермы безопасности (каждая шириной 8 м) располагаются через три 10-метровых уступа (через 30 м).

Следует отметить, что принятый первоначально угол наклона уступа, равный 65° , в силу нарушенности выветренности и неустойчивости вмещающих пород верхних горизонтов оказался завышенным, в результате имели место неоднократные оползни и обрушения отдельных уступов.

Рельеф местности позволяет на малой площади образовать вместительные внеконтурные отвалы, высота которых достигает 80—120 м. Угол откоса породы в верхней части отвала составляет $38-40^\circ$, а средней и нижней части колеблется от 35 до 40° , в зависимости от высоты откоса.

Обследование состояния бортов карьера производилось в пределах существующих горизонтов. При этом выявились: характер очертания поверхности откосов, роль трещинной тектоники в формировании плоскости откоса и физико-механические свойства горных пород.

В верхних горизонтах карьера наблюдается обрушение бортов, которые разбиты на мелкие фракции, напоминающие сыпучую среду. Количество таких участков очень незначительно, и встречаются они в верхних горизонтах, подверженных выветриванию.

На основе деятельного обследования бортов и изучения трещинной тектоники Буурдинского месторождения можно сказать, что породы, слагающие данное месторождение, чрезвычайно разнообразны по физико-механическим свойствам. В слагающих породах преобладают 4—5 групп систем трещин с различными азимутами падения. Особенно важную роль играют трещины с азимутами падения в сторону карьера, так как оконтуривание откосов происходит в основном по плоскостям тектонических трещин в сторону выработанного пространства или имеющих пересечения, идущие в том же направлении. Следовательно, поверхность скольжения не может быть рассмотрена как круглоцилиндрическая или плоская, а определяется плоскостями трещин и геометрией выреза карьера в данных геологоструктурных условиях. При этом образование

поверхности откосов зависит от пространственного расположения трещин.

Для определения механической прочности пород в лабораторных условиях в период полевых работ отбирались образцы пород с размерами сторон 15—30 см. В последующем из них изготавливались образцы с основанием 50×50 и высотой 50—80 мм.

Всего было испытано на одноосное сжатие 50 образцов, на сдвиг 43 и растяжение—5 образцов. Использованы также данные исследований физико-механических свойств пород Буурдинского месторождения, осуществленных Отделом горного дела и металлургии АН Киргизской ССР в 1959 году. Испытание образцов пород и обработка результатов экспериментальных данных проводились по методикам предложенными К. В. Руппенейтом и Г. Л. Фисенко.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование пород	Число испытанных образцов	Пределы прочности, т/м ²			Средние величины	
		сжатие	срез	растяжение	К сцепление т/м ²	Р угол внутренний
Лейкократовый гранит	23	6400	5100	300	1100	30
Гнейсовидный гранит, диорит, порфирит	15	5010	2620	110	960	34
Руда в кварцевых и гнейсовидных гранитах	10	1250	820	—	240	33
Дацитовый порфир	4	4220	—	—	910	35
Диоритовый порфирит	5	10800	—	—	2240	30
Граносениитовый порфир	6	3900	—	150	800	40

Изучение трещинной тектоники производилось в пределах контура карьера, а также близлежащих к карьере обнажениях. Расстояние между точками съемки определялось наличием доступных для съемки обнажений и характером изменения систем трещин. В среднем оно составляло 30—50 м.

Для изучения строения массива (трещинной тектоники) месторождения методом массовых замеров было произведена съемка в 153 точках (около 7000 замеров) элементов залегания плоскостей ослабления.

Статистическая обработка результатов съемки (для всего месторождения), произведенная на полярной ортографической сетке, показала существование на месторождении следующих главных направлений систем трещин (табл. 2).

Таблица 2

Системы трещин	Азимут линии простираения, град.	Угол падения трещин, град.	Частота проявления в % к общему числу
Юго-западные	220—250	60—75	35
Меридиональные и близкие к ним	265	65—70	
—»— —»—	300	80	20
—»— —»—	115	85	
Юго-восточные	145	60—70	10
Широтные и близкие к ним	05	65	
—»— —»—	35	85	
—»— —»—	330—335	60—80	15

В этой главе также приведены результаты вычисления величины интенсивности тектонической деформации массива в каждой точке замера по методу геометрии недр построена изоповерхность, определяющая тектоническую анизотропию массива, обусловленную наличием в массиве поверхностей ослабления.

В главе III определены устойчивые углы откосов Буурдинского карьера по некоторым характерным профилям по методу предельного равновесия. При решении задачи предельного равновесия нами принята схема с параболической зависимостью, так как с точки зрения математического анализа параболическая зависимость поддается интегрированию с наименьшими затруднениями и намного упрощает решение задачи по сравнению с циклоидной зависимостью.

По этому методу получают для скальных карьеров крутые очертания откосов близкие к вертикальному. Это показывает справедливость того положения, что точнейшие математические решения данной задачи при обоснованных данных, но без учета структуры массива не дают положительных результатов, тогда как простые инженерные расчеты, произведенные с учетом структуры массива, приводят к удовлетворительному решению задачи.

В этой главе также определены устойчивые углы откосов по тем же исходным данным по методам Н. Н. Маслова и других. Эти методы дают аналогичные значения углов, что и по методу предельного равновесия.

Глава IV. Наибольший удельный вес в работе занимает настоящая глава, в которой приводятся рекомендуемые методы расчета откосов.

Описываемые нами способы имеют различные исходные

позиции: одни основаны на принципе предельного равновесия сплошной среды, другие—на теории сопротивления материала, третьи—на эмпирических данных. Однако для условий Буурдинского карьера различные указанные способы в их чистом виде не могут быть использованы. В связи с этим при определении углов откоса Буурдинского карьера в указанные способы нами внесены соответствующие поправочные коэффициенты, учитывающие структуру массива. Эти коэффициенты получены на основе материалов непосредственного изучения структурных элементов месторождения. Следовательно, практическая величина откоса карьера может быть определена как функция от аналитической величины определяемого угла и от поправочного коэффициента механической неоднородности массива и может быть выражена в следующем виде:

$$\beta' = \Phi(\beta, W), \quad (1)$$

где β —величина угла откоса, определяемая одним из вышеперечисленных способов;

W —поправочный коэффициент, учитывающий интенсивность деформации массива.

1. Определение устойчивости откосов бортов Буурдинского карьера на основе теории предельного равновесия дает их чрезмерно завышенные значения (85—88°). Такие же значения дают и другие способы, теоретической базой которых является теория Кулона—Мора. Это объясняется тем, что прочность образца горной породы принимается равной прочности породы в массиве, без учета структурных ослабленностей.

Деформация массива, ослабленного трещинами, обычно приближается к свойствам пластической среды. На основании исследования бортов Буурдинского карьера установлено, что обрушения откосов происходят не по одной плоскости трещин, а по их линии пересечения или по некоторой кривой, суммирующей все плоскости ослабления анизотропного массива. Такой массив обладает свойствами квазипластического тела. Поэтому при определении устойчивых углов откосов скальных пород необходимо не ориентироваться на какую-либо систему трещин, а найти влияние плоскостей ослабления совокупно с учетом всех плоскостей ослабления по направлению возможного сдвига.

Еще не разработана методика определения макропрочности массива горных пород. Для учета интенсивности деформации массива автор пользовался приемом чл.-корр. АН КазССР А. Ж. Машанова, который может быть представлен в следующем виде.

$$W = \sum_1^n \tau_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (3)$$

где τ — число трещин одной системы в единице объема массива горных пород;

α_i — угол наклона трещин к плоскости проекции.

Для определения интенсивности трещиноватости кровли подземных выработок за плоскость проекции принимается горизонтальная плоскость, представляющая собой поперечное сечение направления действующей трещиноватости. А в случае учета трещиноватости по одной профильной линии откоса карьера за направление проектирования берется направление ожидаемой линии падения откоса.

На устойчивость борта в основном существенное влияние оказывают те трещины, которые падают в сторону горных выработок, поэтому в качестве перехода механических характеристик от отдельного образца к массиву необходимо учесть интенсивности этих трещин.

Пространственное выражение трещиноватости массива через сферические координаты дает возможность более полно обнаруживать закономерности распределения напряжений структуры отдельных участков массива горных пород и более правильное решение вопроса.

Как известно, сферические координаты точки определяются следующими соотношениями:

$$x = m \cos \alpha \cos \delta, \quad y = m \sin \alpha \cos \delta, \quad z = m \sin \delta, \quad (3)$$

где m — вектор, выражающий интенсивность деформации, определяющийся линейным размером частоты трещиноватости по азимуту падения;

α — азимут падения трещин;

δ — угол падения трещин.

По формулам (3) определяем интенсивность деформации массива в каждой координатной плоскости. Для нашего случая, если плоскость борта карьера направлена по оси X , то линия возможного сдвига направлена по плоскости YZ или близким к нему плоскостям. По другим направлениям за счет бокового защемления обрушений не произойдет. Для определения характера деформации массива по плоскости YZ строятся графики интенсивности трещиноватости. Затем для получения расчетной величины интенсивности определяется вариация механической неоднородности массива. Из теории прочности известно, что активное действие напряжения выражается как разность между максимумом и минимумом. Поэтому наибо-

лее целесообразно при выводе активной величины интенсивности систем трещин оперировать этой разностью, которая по теории математической статистики будет соответствовать среднеквадратическому отклонению механической неоднородности массива, по следующей формуле:

$$\alpha = \sqrt{\frac{(W_{\max} - W_{\min})}{n}} = \sqrt{\frac{(\Delta W)^2}{n}}, \quad (4)$$

где W_{\max}, w_{\min} — максимальное и минимальное значения интенсивности трещиноватости;

n — величина, пропорциональная площади обнаружения массива, на которую распространяется определенная величина интенсивности деформации (в данном случае число плоскостей обнажения).

Отношение среднеквадратического отклонения интенсивности к разности интенсивности между максимальными и минимальными значениями дает коэффициент вариации, который выражает механическую неоднородность массива.

$$W_\alpha = \frac{\alpha \cdot 100}{\Delta W}. \quad (5)$$

Формула (5) предлагается для получения активной интенсивности трещиноватости выражающей механическую неоднородность массива. Допуская, что коэффициент вариации, соответствующий углу откоса, получаемый по методу В. В. Соколовского равен единице, путем деления его на истинную величину вариации получаем реальный угол откоса, соответствующий данному состоянию трещиноватости. Надо отметить, что среднее значение активной интенсивности трещиновой деформации примерно соответствует отношению прочности пород на сжатие и прочности на растяжение. Так как определяемая прочность получена при сжатии, а откос карьера претерпевает растягивающие усилия, то выведенный нами коэффициент активной интенсивности трещиноватости вполне согласуется с условием равновесия откоса.

Величина интенсивности сколовых систем трещин теоретически может варьироваться в пределах от единицы до бесконечности. Причем единица означает единственную задаваемую плоскость карьера, т. е. массив не имеет никакой трещиноватости, никакой плоскости ослабления, кроме задаваемого откоса. Интенсивность трещиноватости имеет бесконечное значение в том случае, когда породы разбиты на самостоятельные куски и когда между ними нет никакой связи, что соответствует состоянию сыпучего тела или жидкости. В на-

шем случае эти два крайние варианта не имеют места. Наши наблюдения и статистическая обработка их по рассмотриваемому профилю дают величину активной интенсивности в среднем 15—30. Это означает, что массив пород месторождения в данном профиле ослаблен трещиноватостью против целого образца в 15—30 раз.

Следовательно, можно принять следующее выражение

$$W_{\alpha} K^1 = K, \quad (6)$$

где K —сцепление горной породы в образце, т/м²;

K^1 —сцепление горной породы в массиве, т/м².

При определении прочности горных пород сцепление и коэффициент внутреннего трения являются основными характеристиками прочности. Как показали исследования Г. Л. Фисенко, в анизотропном массиве величина силы сцепления изменяется в больших пределах, а на поверхности, ослабленной трещинами, угол внутреннего трения остается таким же, как в образце. Поэтому при учете анизотропности массива угол внутреннего трения массива принимается таким же, как в куске.

Если интенсивность рассчитывается по определенным глубинным законам, например, 0—25, 25—50, 50—100 и т. д., то к среднему активному состоянию она приводится по следующей формуле:

$$W_{\text{ср}} = \frac{1}{m} \left[W_1 + W_{II} + \dots + W_n \right] \quad (7)$$

где m — число горизонтов.

На основе замеров для профиля I погоризонтально определена интенсивность трещиноватости и построены графики для каждого горизонта. Вычисление по формулам (4) и (5) дают:

$$1) W_{\alpha} = \frac{0,40}{1,81} \cdot 100 = 23, \alpha = \sqrt{\frac{(2,30 - 0,49)^2}{20}} = 0,40$$

$$\Delta W = 1,81;$$

$$2) W_{\alpha} = \frac{0,31}{1,42} \cdot 100 = 22, \alpha = \sqrt{\frac{(1,90 - 0,48)^2}{21}} = 0,31$$

$$\Delta W = 1,42.$$

При этом среднее активное значение интенсивности для всего борта будет:

$$W_{\text{ср}} = \frac{1}{2} (22 + 23) = 22,5,$$

Тогда прочность породы в массиве при

$$K^1 = K : W = 1100 : 22,5 = 48,9 \text{ т/м}^2.$$

Затем решая задачу предельного равновесия для Буурдинского карьера получаем наиболее приемлемые углы откосов.

Это говорит о том, что метод предельного равновесия вполне может быть применен не только для глинистых, но и для скальных пород при соответствующем учете коэффициента ослабления интенсивности трещин.

2. Как известно, метод Н. Н. Маслова (метод « F_p ») является методом определения откоса по горизонтам на основании так называемой приведенной прочности.

При учете трещиноватости мы можем величину временно-го сопротивления материала (т. е. образца) разделить на значение относительной интенсивности трещиноватости, имея в виду, что чем больше интенсивность, тем больше угол откоса. Здесь, следуя Н. Н. Маслову, можно определить угол откоса погоризонтально, а также можно вывести средний угол на всю высоту откоса.

Как известно, и по М. М. Протодьяконову и по Н. Н. Маслову расчет ведется на единицу нагрузки, поэтому мы ведем расчеты также на единицу замера и интенсивности.

Относительная интенсивность на единицу площади обнажения определяется по следующей формуле:

$$W_0 = \frac{W_{\text{ср}}}{\Pi_{\text{ср}}} \quad (8)$$

Так, например, для профиля I активная интенсивность в среднем получается

$$W = \frac{22,5}{20,5} = 1,10.$$

При тех же значениях, для которых были определены углы откоса по методу Н. Н. Маслова мы получили значения « F_p », равные для горизонта 75 м — 6,15, для горизонта 150 м — 3,42, для горизонта 200 м — 2,62.

Если эти величины будем делить на погоризонтальную интенсивность, то получим соответственно:

$$F_1 = \frac{6,15}{1,10} = 5,58, F_2 = \frac{3,42}{1,10} = 3,10, F_3 = \frac{2,62}{1,10} = 2,38.$$

Углы ψ_w соответственно будут равными 80°, 72°, 66°.

Более строгую кривую откоса по этому методу (с учетом ослабления) можно построить следующим образом.

В основной формуле Н. Н. Маслова коэффициент трения принимается постоянным и равным 0,57 (для большинства горных пород угол внутреннего трения колеблется в пределах 30°, отсюда: $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}30^\circ = 0,57$). Коэффициент сцепления принимается в приведенном виде, т. е. $K = \frac{K'}{W}$.

Следовательно, формула Н. Н. Маслова принимает вид

$$F_p = \operatorname{tg}\psi_p = 0,57 + \frac{K}{W} \quad (9)$$

Подставляя приведенные выше значения для I профиля, получаем:

$$\operatorname{tg}\psi_p = 0,57 + \frac{K}{W\gamma H} \quad (10)$$

На основании формулы (10) составлена таблица значений угла ψ_p для I профиля (табл. 3).

Таблица 3

$\frac{H}{w}$	1 м	5 м	10 м	25 м	50 м	100 м	150 м	200 м
20	87°	78°	70°	58°	45°	38°	35°	34°
15	88	80	73	59	48	40	36	35
10	89°	83°	78°	66°	54°	44°	40°	39°

3. Как известно, коэффициент крепости пород проф. М. М. Протодьяконова является весьма распространенным показателем в горном деле. Коэффициент « F_p » Н. Н. Маслова является аналогом коэффициента крепости пород М. М. Протодьяконова, поэтому практически можно связать с этим коэффициентом величину угла откоса.

В работе дается попытка применить последний коэффициент для определения устойчивости откосов скальных карьеров.

Для этой цели на основе некоторых теоретических соображений и путем математических преобразований получаем выражение по определению приведенного коэффициента М. М. Протодьяконова (f'), в следующем виде:

$$f' = \operatorname{tg}\psi_p = \sqrt{\frac{f}{\Delta W}} - \sqrt{\frac{H\gamma}{100}} \quad (11)$$

где f — обычный коэффициент крепости пород;
 ΔW — относительная величина интенсивности ослабления (аналогичная коэффициенту безопасности).

Предлагаемый нами метод, основанный на коэффициенте крепости М. М. Протодьяконова, позволяет получить результаты, наиболее близкие к действительности, тогда как другие методы дают слишком крутые углы устойчивых откосов.

Для Буурдинского месторождения величина относительной интенсивности, определяемая по формуле (11), может быть принята равной $\Delta W = 2$ (см. стр. 12 $\Delta W \approx 2$).

Результаты вычисления при $\gamma = 2,7 \text{ т/м}^3$ сведены в таблицу 4.

Таблица 4

f	11	1 м	5 м	10 м	25 м	50 м	100 м	150 м	200 м
6	55	53	48	41	32	19	8	0	
8	60	57	53	48	42	31	22	14	
10	63	60	58	54	49	41	33	26	
12	66	63	62	58	53	47	41	35	
14	67	65	64	61	57	51	46	42	
16	68	66	65	63	60	55	52	47	

Для Буурдинского карьера наиболее подходящей является величина угла откоса, соответствующая величина $f = 10 + 12$, т. е. угол от 30° до 65°; в среднем на глубине 100 м угол устойчивого откоса равен 45°.

Можно рекомендовать также еще более упрощенный способ. В этом случае коэффициент М. М. Протодьяконова можно делить на величину активной интенсивности трещиноватости массива, т. е.

$$\operatorname{tg}\psi_w = \frac{Kf}{W_{cp}} \quad (12)$$

где K — коэффициент пропорциональности;

f — коэффициент М. М. Протодьяконова.

В нашем случае коэффициент крепости для кварцевых порфиров равен 13. При $K = 12$, $W_{cp} = 20$ получим угол откоса равный 53°.

Как известно, коэффициент крепости по М. М. Протодьяконову представляет собой сугубо условную характеристику пород. Для различных пород он имеет различную вариацию. Поэтому для наших целей желательно выразить его через величину предела прочности пород на сжатие, т. е.

$$f = \frac{\sigma}{100}$$

Интенсивность плоскостей ослабления в породе приводит

к снижению ее крепости, поэтому приведенный коэффициент крепости может быть выражен в виде

$$f' = \frac{f}{\Delta W} = \frac{\sigma}{100\Delta W} \quad (13)$$

Учитывая влияние глубины карьера на величину угла, мы можем рекомендовать следующую формулу:

$$f = \operatorname{tg} \psi_p = \frac{\sigma - H\gamma}{100\Delta W} \quad (14)$$

Легко догадаться, что при $H = 0$, т. е. на дневной поверхности, последняя формула (14) приобретает обычный вид (13).

Подставляя соответствующие значения величин, входящих в уравнение (14), получаем расчетную формулу следующего вида:

$$f = \operatorname{tg} \psi_f = \frac{900 - 2,6 H}{200} \quad (15)$$

где $\sigma = 900 \text{ т/м}^2$ для III профиля.

Результаты вычислений для Буурдинского карьера при $\sigma = 900 \text{ т/м}^2$, $\Delta W = 3$, $\gamma = 2,6 \text{ т/м}^3$ сведены в таблицу 5.

Таблица 5.

Г л у б и н а	1	50	100	150	200
Углы устойчивых откосов	71°	69°	65°	60°	52°

Если вести расчет для более слабых категорий пород карьера, то углы откоса окажутся более пологими, чем приведенные в таблице 5.

Таким образом, приведенный коэффициент крепости пород определяется несколькими способами. Но все эти способы тесно связаны между собой и решить, который из них наиболее приемлем, можно только на индивидуальной практике каждого конкретного рудника.

В заключение отметим, что здесь точность выбора коэффициентов f и K зависит от точности изучения физико-механических свойств горных пород, которые устанавливаются эмпирическим путем для каждого рудника в отдельности.

Рассмотренный пример не претендует на самостоятельность и универсальность. Наша задача в данном случае показать на примере, как предлагаемый метод может быть увя-

зан с хорошо известным коэффициентом крепости пород при решении конкретных задач.

Для определения устойчивого угла откоса могут быть использованы коэффициенты поперечной деформации, аналогичные коэффициенту Пуассона и бокового распора.

4. Коэффициент бокового распора, как известно, определяется при помощи поперечной деформации (коэффициента Пуассона), а именно

$$m = \frac{\mu}{1-\mu} \quad (16)$$

Коэффициент поперечной деформации в случае скально-трещиноватых пород резко отличается от понятия коэффициента Пуассона, принятого в известной теории упругости, и определяется в зависимости от величины угла наклона трещин скольжения.

На основании весьма простых суждений для определения этой величины мы предлагаем следующие выражения:

$$\mu = \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (17)$$

или

$$\mu = \cos^2 \alpha, \quad (18)$$

где α — угол наклона главной (результатирующей) системы трещин.

Первое выражение легко может быть иллюстрировано следующим соображением. Предположим, что залегающая горизонтально слоистая порода подвергается изгибу и боковому давлению, в результате которого путем скольжения слоев на плоскостях напластования пород собирается в складки. Очевидно, сокращение поперечного сечения рассматриваемого участка пласта находится в прямой зависимости от степени изгиба пласта, т. е. от угла наклона его к горизонту, а высота складки представляет собой его удлинение. Вместо плоскостей напластования можно рассматривать систему трещин, по которым происходит скольжение блоков пород; в этом случае путем элементарного построения легко может быть получено выражение (17). Что касается выражения (18), то оно может быть выведено несколькими способами по аналогии с выражением распределения нормальных напряжений по поперечному сечению, перпендикулярному к оси симметрии клина.

На основании формул (17) и (18) имеем:

172505

$$m = \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha - (1 - \sin \alpha)}, \quad (19)$$

$$m = \operatorname{ctg}^2 \alpha. \quad (20)$$

Устойчивый угол откоса борта карьера может быть определен как обратная величина бокового распора, т. е.

$$\operatorname{tg} \psi_m = \frac{1}{m}. \quad (21)$$

Подставляя в эту формулу значения величин, входящих в формулы (19, 20) имеем:

$$\operatorname{tg} \psi_m = \frac{\cos \alpha - (1 - \sin \alpha)}{1 - \sin \alpha}, \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} \psi_m = \operatorname{tg}^2 \alpha. \quad (23)$$

Согласно нашим данным и статистической обработке, угол максимальной интенсивности трещин для профиля I равняется приблизительно 50° . Подставляя это значение, получим:

$$\varphi_m = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\cos 50 - (1 - \sin 50^\circ)}{(1 - \sin 50^\circ)} = 52^\circ 40',$$

$$\varphi_m = \operatorname{arc} \operatorname{tg}^2 50^\circ = 54^\circ 51', \quad \psi_{\text{ср}} = 53^\circ 45'.$$

На основании формул (22) и (23) построены кривые зависимости между углом главной интенсивности трещин и углом откоса борта карьера.

Следует сказать, что примененные формулы являются весьма приближенными и годными для анализа деформации крупнотрещиноватого массива пород и не претендуют на математическую строгость в области теории упругости однородных материалов.

5. Необходимо также отметить, что применимость коэффициентов поперечной деформации и интенсивности ослабления к определению величины вертикального откоса. Как известно, для определения вертикального откоса почти все авторы пользуются следующей формулой

$$h = \frac{2K}{\gamma} \cdot \frac{\cos \rho}{1 - \sin \rho}, \quad (24)$$

где K —коэффициент сцепления пород;
 ρ —угол внутреннего трения;
 γ —объемный вес.

Согласно определению, коэффициент поперечной деформации выражается формулой

$$\mu = \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha}.$$

Во многих случаях величина вертикального откоса обратно пропорциональна коэффициенту поперечной деформации, т. е. пропорциональна выражению аналогичному числу Пуассона.

Кроме того, при определении величины вертикального откоса должна быть учтена интенсивность ослабления массива горных пород. На основании этих положений формула определения вертикального откоса приобретает следующий вид:

$$h = \frac{2K}{\gamma W} \cdot \frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha}. \quad (25)$$

Подставляя в это выражение численные значения показателей, имеем:

$$h = \frac{2 \cdot 100}{2,7 \cdot 20} \cdot \frac{\cos 50^\circ}{1 - \sin 50^\circ} = 15 \text{ м.}$$

Следовательно, вертикальный откос может быть определен при помощи приведенного нами коэффициента Пуассона с учетом величины ослабленности массива горных пород.

6. Наши исследования позволяют утверждать, что между углом сдвига и углом откоса существует определенная физико-механическая зависимость.

Угол сдвижения и угол откоса отличаются друг от друга на величину угла внутреннего трения рассматриваемой породы

$$\alpha = \beta - \rho,$$

где β —угол сдвижения,

ρ —угол внутреннего трения.

Обоснованием такой зависимости является то, что масса разрушенной породы, оказывая давление на поверхность скольжения, создает дополнительную силу трения, которая до некоторой степени уравнивает разрушающую силу. Эта сила трения может быть представлена как произведение некоторого коэффициента трения и нормальной составляющей силы трения.

Как известно, величина угла внутреннего трения для обычных скальных пород средней крепости колеблется в пределах от 55° до 85° , а величина угла внутреннего трения для указанных серий пород лежит в пределах от 25° до 35° . Следовательно, угол откоса для этих пород состоит 30° — 50° .

Эта зависимость приводится как первое приближение к решению задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методы, обоснованные на теории Кулона—Мора, не могут быть непосредственно применены для расчета углов борта карьера в условиях скальнотрещиноватых пород. Эти методы применимы лишь в том случае, если механические свойства пород практически остаются неизменными как в образце, так и в массиве. Это и является нижним пределом применимости данных методов.

За пределом неоднородности в физико-механических свойствах породы в кусках и массивах начинается область влияния структуры массива, причем чем больше эта разница, тем больше влияние структуры, и поэтому при определении устойчивых углов необходимо исходить из факта наличия плоскостей ослабления.

2. Исследованиями установлено, что при объективном учете структурной неоднородности массива метод предельного равновесия, принятый для оценки устойчивости горных пород, может дать наиболее приемлемые результаты по сравнению с другими методами. Поэтому за окончательный профиль борта карьера следует принимать поверхность устойчивого откоса, полученного по этому методу.

3. Для практического использования при установлении приближенного значения устойчивого угла откоса борта карьера могут быть рекомендованы расчетные формулы Н. Н. Маслова при условии учета структурной неоднородности массива и метод определения углов откосов при помощи приведенного коэффициента крепости вмещающих пород.

4. Когда структурная неоднородность массива устанавливается в зависимости от трещиноватости и угла наклона сколовых систем в интересующих участках (или профилях), устойчивые углы могут быть определены по предлагаемому методу, учитывающему силы бокового распора.

Интересно отметить, что расчеты, произведенные по методу предельного равновесия с учетом коэффициента трещиноватости, показали полную соизмеримость полученных величин углов откоса бортов Буурдинского карьера с величинами, определяемыми по предложенной нами теоретической формуле.

5. Детальное обследование инженерными замерами горно-технического состояния бортов Буурдинского карьера, а также учет трещиноватости массива при различных методах исследования позволяет при дальнейшем развитии открытых работ рекомендовать следующие устойчивые углы бортов карьера: для восточного борта 50° , для северного — 55° . В выветренных породах верхних горизонтов эти величины следует принимать меньшими на $5-6^\circ$.

6. На основании изложенного выше отметим, что почти все предлагаемые нами методы дают более или менее приемлемые значения величин углов откосов, если будут объективно определены коэффициенты, отражающие структурные особенности массива, и правильно применены в соответствующих расчетных формулах. В противном случае строгие и сложные анализы не в состоянии дать той точности, которая получается при помощи простых инженерных расчетов с учетом структуры массива. В этом заключается сущность предлагаемого метода расчета устойчивости углов борта карьера, основанного на учете механической неоднородности массива горных пород и многие положения, изложенные в данной работе могут найти свое практическое применение не только для Буурдинского рудника, а имеет методическое значение для других рудников.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Убакеев С. У., Машанов А. Ж. Теоретическое и практическое определение коэффициентов поперечной деформации, бокового давления и трения горных пород. Труды Отдела горного дела и металлургии АН Киргизской ССР, вып. 1, Фрунзе, 1958.

2. Убакеев С. У., Буров Б. С. Определение устойчивости бортов карьеров с учетом крепости вмещающих пород. Промышленность Киргизии № 1, 1960.

3. Убакеев С. У. Определение устойчивости бортов скальных карьеров, Изд. АН Кирг. ССР, 1960.

Сдано в набор 9/VII 1960 г. Подписано в печать 15/VII 1960 г. Формат
бумаги 60×92¹/₁₆. Объем 1,5 печ. л.
Д—05756 Тираж 150 Зак. 1678/1
Фрунзе, тип. АН Киргиз. ССР