

нять гидравлические экскаваторы типа обратная и прямая лопата. Для обеспечения безопасных условий производства горных работ на глубоких горизонтах следует использовать комбинированную послойную схему проходки траншей.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку, технико-экономическое и практическое обоснование ресурсосберегающих технологических схем вскрытия и ввода в эксплуатацию глубоких горизонтов карьеров в сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях.

#### Список литературы

1. Методическое обоснование выбора рациональной схемы водоотлива в условиях кимберлитовых карьеров. / Е.Л. Алькова, С.В. Панишев, С.А. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. - № 10.- С.192-198.

2. Арсентьев А.И. Устойчивость бортов и осушение карьеров / А. И. Арсентьев, И. Ю. Букин, В.А. Мироненко. - М.: Недра, 1982. – 165 с.

3. Руководство по дренированию карьерных полей / под ред. В.А.Мироненко. – Л.: ВНИИМИ, 1968. – 171 с.

4. Организация горных работ при подготовке новых горизонтов на обводненных карьерах / И.И. Дуданов, Д.Н. Лигоцкий, Г.А. Холодняков, В.С. Авраамов // Записки Горного института. 2009. - Том 181.- С. 61-64.

5. Науман Э. Принять решение – но как? / Э. Науман – М.:Мир, 1987. – 198 с.

6. Слободянюк В.К., Турчин Ю.Ю. Совершенствование технологии проходки траншей в сложных горно-геологических условиях глубоких горизонтов железорудных карьеров. / В.К. Слободянюк, Ю.Ю. Турчин // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наукових праць / Ін-т Геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 103. – С. 203 – 210.

### **ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ НЕРАБОЧИХ БОРТОВ КАРЬЕРА КАТОКА**

*А.М. Маевский, Н.В. Несвитайло, Б.Е. Собко, А.Д. Казола, Государственное высшее учебное заведение «НГУ», Украина*

Для условий штокообразного месторождения Катока выбран и обоснован метод расчета устойчивости нерабочих бортов. Контур откоса, определенный данным методом, обеспечивает экономичность вскрышных работ.

Из теории управления состоянием горных массивов известно, что многообразие геологических и гидрогеологических особенностей разрабатываемых месторождений исключает существование какого-то универсального метода решения задачи по определению предельных параметров нерабочего борта карьера пригодного для всех конкретных условий. В связи с этим выбор метода расчета рекомендуется производить на основе двух групп критериев - общих и частных. Общие критерии определяют обоснованность метода в теоретическом отношении, частные – возможность использования данного метода в конкретных практических условиях.

Общие условия следующие:

1. Метод должен обеспечивать установление в массиве формы и положения определенной зоны в каждой точке которой соблюдается условие предельного равновесия, величины и направления напряжений действующих в этой зоне.

2. Метод должен позволять находить форму и положение в массиве наиболее сложной поверхности, отвечающей условию  $\sum y_d / \sum c_{dв} \rightarrow \min$  и управлениям равновесия статики, а также величину и направление напряжений, действующих по этой поверхности ( $\sum_{уд}$  и  $\sum_{сдв}$  соответственно сумма удерживающих и сдвигающих сил).

Частные критерии следующие:

Выбранный метод расчета должен основываться на таком типе механико-математической модели массива горных пород, который наиболее полно отражает свойства реального массива в данных конкретных условиях; в выбранном методе расчета должна учитываться схема деформации реального откоса, а также величина и направление внешних сил, действующих на реальный откос. Метод может быть рекомендован для практического использования лишь при условии, что он удовлетворяет одному из общих критериев и всем частным. Кроме того, при выборе метода расчета устойчивости откоса (помимо двух перечисленных групп критериев) следует учитывать еще два немаловажных момента:

1. Контур откоса, определенный данным методом, должен обеспечивать экономичность вскрышных работ.

2. Метод должен быть удобен на практике (минимальное число расчетов и графических построений, возможность использования графиков, таблиц, номограмм и пр.).

Необходимо указать, что ни один из известных методов расчета не отвечает в полном объеме упомянутым критериям. Поэтому в каждом конкретном случае требуется оценить хотя бы приближенно знак и величину погрешности коэффициента запаса устойчивости, обусловленных несоответствием применяемого метода общим или частным условиям.

Анализ геологических и гидрогеологических условий месторождения трубки Катока показали, что данное месторождение является сложноструктурным. С целью более точного и полного учета факторов, влияющих на устойчивость бортов карьера, месторождение (карьерное поле) разделено на четыре участка: северный (1-1), восточный (2-2), Южный (3-3), и западный (4-4). На каждом из этих участков горные породы, слагающие нерабочие борта имеют, в среднем, примерно одинаковые прочностные характеристики (сцепление, угол внутреннего трения и плотность). Как показал выполненный анализ, а также установленные зависимости их изменения с увеличением глубины карьера значения этих характеристик возрастают более резко до глубины 100-150 м. После 150 м возрастание их происходит медленнее.

С учетом геологического строения месторождения и установленных закономерностей изменения прочностных характеристик ( $C$ ,  $\varphi$ ,  $\rho$ ,  $\lambda$ ) с глубиной толщ пород нерабочего борта карьера следует рассматривать как двухслойную. Прочность пород в верхнем слое значительно отличается от нижнего и увеличивается с глубиной. В таких условиях целесообразно придать борту 2-х гранную форму его профиля, хотя по технологическим условиям (наличие перегрузочных пунктов) профиль борта может быть многогранным.

Экономическая целесообразность конструирования бортов выпуклого профиля в однородной среде достаточно обоснована в работах С.И. Попова, Г.Л. Фисенко, В.Т. Сапожникова. Теоретический криволинейный профиль выпуклого борта представляет собой геометрическое место точек, в каждой из которых соблюдается условие предельного напряженного состояния. Методика построения борта с реальным профилем заключается в том, чтобы вписаться в этот криволинейный профиль [1]. Значения параметров борта приближаются к оптимальным, но не достигают их. Для оптимизации параметров борта необходимо прежде всего разграничить призмы активного давления и упора, составляющие общую призму возможного обрушения.

Так как потенциальная поверхность скольжения в верхней части борта имеет максимальный угол наклона к горизонту, в призме активного давления преобладают сдвигающие силы. В нижней части борта поверхность скольжения пологая. Это обуславливает преобладание удерживающих сил в пределах призмы упора. Граница раздела между призмами проходит через ту точку криволинейной поверхности скольжения, в которой касательная наклонена к горизонту под углом

$$\beta_i = \rho, \quad (1)$$

где  $\rho$  – угол внутреннего трения пород.

Блок, осью которого является граница раздела между призмами давления и упора, нейтрален. Изменение его массы не оказывает влияния на соотношения сдвигающих и удерживающих сил, действующих на всю призму возможного обрушения. Во всех, блоках, расположенных ниже этой границы, преобладают удерживающие силы, а выше - сдвигающие. Следовательно, для построения борта с оптимальными параметрами необходимо найти положение нейтрального блока.

Положение границы раздела между призмами давления и упора предлагается определять следующим несложным методом (рис. 1).

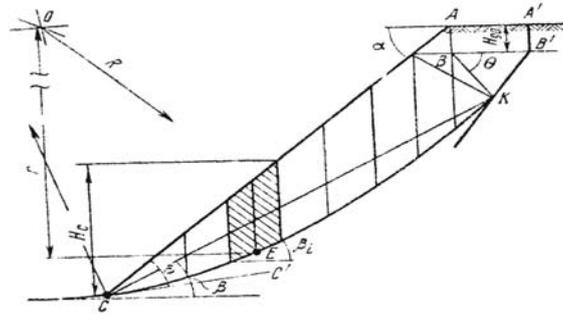


Рис. 1. Определение положения границ раздела между призмами упора и активного давления.

Для заданной высоты плоского борта определяют предельный угол его наклона [2,3].

$$\alpha = \alpha_{\text{rctg}} \frac{\text{tg } \rho}{1 - \frac{Hc}{H}}, \quad (2)$$

где 
$$Hc = \frac{6,14k}{\gamma} \text{ctg}(45^\circ - 0,5\rho) \quad (3)$$

На поперечнике борта ограничивают призму возможного обрушения круглоцилиндрической поверхностью скольжения. Положение ее в борту с предельными параметрами можно определить упрощенным методом [4]:

рассчитывают глубину трещины отрыва  $H_{90}$  и проводят вертикаль АВ;

строят угол  $\theta = 45^\circ + \rho/2$  в призме активного давления;

под углом  $\beta = (\alpha + \rho/2)$  к горизонту через основание откоса проводят прямую СК, а призму активного давления ограничивают ломаной А'В'К, симметричной АВК;

в основании откоса строят угол  $\epsilon = 45^\circ - \rho/2$  и проводят отрезок СС';

в точках С и К восстанавливают перпендикуляры к отрезкам СС' и В'К и из точки их пересечения О проводят дугу окружности СК радиусом R .

Чтобы найти положение точки Е оси нейтрального блока (заштрихована на рис. 3.4) на поверхности скольжения СК, необходимо определить расстояние r от точки О по вертикали

$$r = \frac{R}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \rho}}, \quad (4)$$

где R – радиус кривизны поверхности скольжения, величину которого получают непосредственным измерением на чертеже, выполненном в определенном масштабе.

На этом расстоянии проводят горизонтальную прямую до ее пересечения с поверхностью скольжения.

Для придания борту оптимальных параметров при фиксированном положении нейтрального блока необходимо:

1. Сконструировать участок борта в пределах призмы упора под максимальным по горно-техническим условиям углом наклона (профиль ВС, рис.2) и соединить точку В с верхней бровкой плоского борта (профиль АВ).

2. При необходимости сбалансировать объемы породы в призмах упора и давления, приняв за основу призму упора, что равносильно уравниванию удерживающих и сдвигающих сил в двугранном профиле борта.

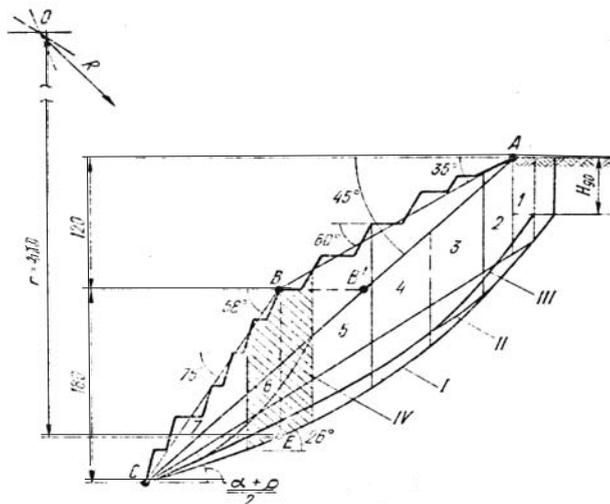


Рис. 2. Схема к конструированию и расчету устойчивости борта двугранного профиля.

В однородных породах самым экономичным является двугранный профиль борта. Коэффициент устойчивости борта с таким профилем мало отличается от борта с плоским профилем при той же высоте.

Ступенчатый профиль борта бывает необходим и в условиях однородных пород, когда на борту необходимо разместить перегрузочный узел, дробильно-сортировочный комплекс и др. (профиль СВВ'А). При этом существенно увеличится запас устойчивости борта в целом.

Многогранный профиль целесообразно придавать борту в условиях многослойной толщи, когда прочность пород в верхних слоях значительно отличается от нижних, увеличиваясь с глубиной. Обычно в таких случаях борту придают плоский профиль, а расчеты устойчивости производят по средневзвешенным характеристикам пород [1]. По методике [2] профиль борта отстраивают в пределах каждого слоя пород по их характеристикам. На рис.3 изображен многогранный профиль борта высотой 540 м, отстроенный в четырехслойной среде. В каждом слое участок борта имеет предельный угол наклона. В зависимости от горно-технических условий угол в нижнем слое может быть увеличен до граничного значения (профиль ВС). Метод построения профиля борта прост в пределах каждого слоя откладывают по вертикали значение  $H_c$ , рассчитанное по формуле (3) с учетом остаточных значений трения и сцепления и проводят прямую под углом внутреннего трения пород до границы слоя.

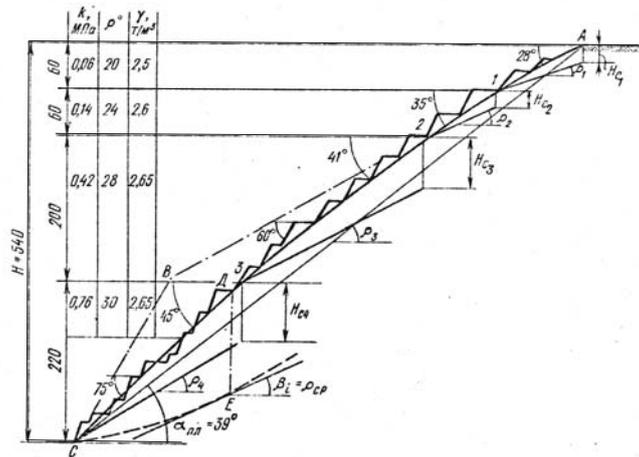


Рис.3. Схема к конструированию борта многогранного профиля в четырехслойной среде.

Оптимизация параметров бортов начинается с оптимизации параметров уступов. Факторами, ограничивающими эти параметры, являются требования ЕПБ, технологические возможности оформления уступов и берм без разрушения законтурного массива, физико-механические свойства пород и их структура. Углы откосов уступов ЕПБ не ограничивают, в условиях крепких скальных пород они достигают  $90^\circ$  при максимальной нормативной высоте уступов. Но это возможно лишь в тех случаях, когда в законтурном массиве сохраняется его природная прочность. В нарушенных породах высота уступов не может устанавливаться независимо от углов их откоса. Методика расчета предельных параметров уступов в различных геологических условиях приведена в работе [3].

Если нормативная высота объединенного уступа  $h < H_{90}$ , то геомеханические условия не ограничивают угол его откоса. Технологические возможности качественного оформления нерабочих уступов под крутыми углами с надежной защитой законтурного массива от взрывов обуславливаются наличием соответствующей буровой техники и применением рациональных технологических схем отработки приконтурных полос и заоткоски уступов.

Оптимальными параметрами откосов массивов горных пород, слагающих нерабочие борта карьера, будут в том случае, если наряду с обеспечением их устойчивости достигается минимальный объем вскрышных работ в конечных контурах карьера.

Следует отметить, что на конструкцию нерабочего борта карьера значительное влияние оказывает технология разработки месторождения особенно циклично-поточная (ЦПТ), т.е. транспортная система разработки с применением комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта. ЦПТ предусматривает размещение на нерабочем борту перегрузочных пунктов (ПП), Сооружение ПП требует увеличенной ширины площадок на концентрационных горизонтах (40-60 м). Учитывая то, что перенос ПП производится через 80-120 м, таких площадок на нерабочем борту карьера трубки Катока будет 3 (при  $H_k=450$  м).

#### Список литературы

1. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. / Л.: ВНИМИ. –1972. –164 с.
2. Попов С.И., Совместное определение угла погашения и глубины открытых работ. Сб. "Горное дело". Тр. Горно-метал. Инст., Metallurgizdat, Свердловск, 1951. С 67-75.
3. Арсентьев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А. Устойчивость бортов и осушение карьеров. Учебник для вузов. М.: Недра, 1982. – 165 с.
4. Фисенко Г.Л. Укрепление откосов в карьерах / Г.Л. Фисенко, М.А. Ревазов, Э.Л. Галустьян. – М.: Недра, 1974. – 206 с.