

УДК 622.221

К ВЫБОРУ И ОБОСНОВАНИЮ МЕТОДА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ

*Иманкулов М.А. – аспирант,
Такеева А.Р. – аспирант*

Аннотация. В работе отражены основные результаты ретроспективного анализа по методам оценки устойчивости бортов карьеров. Если для решения задач на плоскости рассмотрены формулировка Иофина и метод Бишоп, то на трехмерном пространстве предлагается решение с использованием азимутных меридиональных сеток.

Ключевые слова: устойчивость, борт карьера, удерживающие и сдвигающие силы.

TO THE CHOICE AND JUSTIFICATION OF THE METHOD FOR CALCULATING THE STABILITY OF LEDGES AND SIDES OF QUARRIES

*Imankulov M.A. – researcher,
Takeeva A.R. – researcher*

Annotation. The paper reflects the main results of a retrospective analysis on the methods for assessing the stability of the sides of a quarry. If the Iofin formulation and Bishop's method are considered for solving problems on a plane, then a solution is proposed on a three-dimensional space using azimuth meridional grids.

Key words: stability, quarry edge, holding and shearing forces.

КАРЬЕРЛЕРДИН КАПТАЛ ДУБАЛДАРЫНЫН ЖАНА КЫРЛАРЫНЫН ТУРУКТУУЛУГУН ЭСЕПТӨӨ ЫКМАСЫН ТАНДООГО ЖАНА НЕГИЗДӨӨ

*Иманкулов М.А. – аспирант,
Такеева А.Р. – аспирант*

Аннотация. Иште карьердин каптал дубалдарынын туруктуулугун баалоо методдору боюнча ретроспективдүү анализдин негизги жыйынтыктары чагылдырылган. Тегиздикте маселелерди чечүү үчүн Иофиндин формуласы жана Бишоптун ыкмасы каралса, анда азимуттук меридионалдык торлорду колдонуу менен үч өлчөмдүү мейкиндикте чечим сунушталат.

Негизги сөздөр: туруктуулук, карьердин чети, кармап турган жана жылдыруучу күчтөр.

Одной из основных задач при разработке месторождении открытым способом является обеспечение устойчивости бортов карьеров. Устойчивость бортов карьеров зависит не только от технологических параметров карьера, но и геомеханического состояния склона. Поэтому при разработке полезных ископаемых открытым способом на первый план поставлена проблема оценки и прогноза геомеханических условий на карьерах. А теория предельного равновесия «сыпучей среды», которая включает и предельное равновесие связной среды с трением является механико-математической основой для методов расчета устойчивости откосов[1]. В теории предельного равновесия сыпучей среды рассматривается два случая, которая имеют отличия в методах решения этих задач:

- 1) удовлетворяется условие предельного напряженного состояния в каждой точке некоторой области массива;
- 2) удовлетворяется условие предельного напряженного состояния не во всех точках некоторой области массива, а лишь по ее внутренней границе;

Метод решения задач, в которых условие предельного равновесия удовлетворяется в каждой точке некоторой области прибортового массива для расчета параметров равно

устойчивых откосов вогнутого профиля и нагруженных откосов плоского профиля в условиях однородных пород разработан В.В. Соколовским[4] и С.С. Голушкевичем[2]. При дальнейшем развитии метода предельного напряженного состояния Г.Л. Фисенко и В.Т Сапожников[5] установили, что этим методом могут быть рассчитаны не только плоские нагруженные откосы, но также и откосы выпуклого профиля при определенных контурных условиях. Для практического использования в расчетах устойчивости откосов применяются методы, основанные на предельное равновесие в откосе, которое удовлетворяется не во всех точках некоторой области массива, а лишь по ее внутренней границе.

Направление сил, действующих на *i*-расчетный блок и соответствующий ему фрагмент многоугольника сил приведены на рис.1.

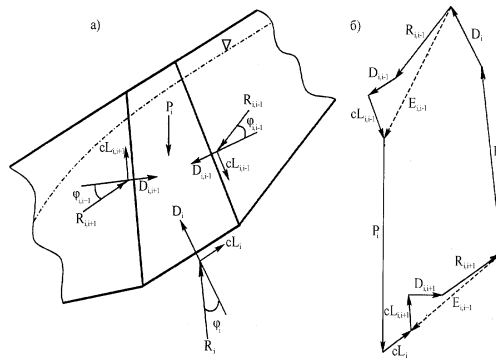


Рисунок 1. Схема к расчету условия предельного равновесия:

- а) - *i*-го блока в прибортовом массиве и распределение сил;
- б) - соответствующий фрагмент многоугольника сил;

Надо учитывать, что нижние границы блоков является поверхность скольжения, которая в зависимости от структурного строения прибортового массива горных пород частично или полностью может проходить по естественным поверхностям ослабления, по которым сопротивление сдвигу значительно меньше, чем по другим направлениям. Границы между блоками принимаются подобно тому, как располагается второе семейство поверхностей скольжения при расчетах методом предельного напряженного состояния.

Условие равновесия расчетного блока в проекции на его основание имеет следующий вид[3]:

$$\Delta T_i = P_i \cdot \sin(\gamma_i - \varphi_i) - \tilde{N}_{i,i-1} \cdot \cos \varphi_i + \tilde{N}_{i,i-1} \cdot L_{i,i-1} \cdot \cos(\gamma_{i,i-1} - \gamma_i + \varphi_i) - \tilde{N}_{i,i+1} \cdot L_{i,i+1} \cdot \cos(\gamma_{i,i+1} - \gamma_i + \varphi_i) + 0D_i \cdot \sin \varphi_i + D_{i,i-1} \cdot \sin(\gamma_{i,i-1} - \gamma_i + \varphi_i) - D_{i,i+1} \cdot \sin(\gamma_{i,i+1} - \gamma_i + \varphi_i), \quad (1)$$

где: ΔT_i – разность сдвигающих и удерживающих сил,

$\gamma_i, \gamma_{i,i-1}, \gamma_{i,i+1}$ – углы наклона соответствующих граней блока,

$\varphi_i, \varphi_{i,i-1}, \varphi_{i,i+1}$ – углы трения пород по соответствующим граням.

Уравнение равновесия (1) позволяет получить уравнение предельного равновесия прибортового массива, которая разделено на конечное число блоков:

$$\Delta T = \Delta T_n + f_{n,n-1} \cdot \Delta T_{n-1} + \dots + \prod_{i=1}^{n-1} f_i \cdot \Delta T_i, \quad (2)$$

$$\text{где: } f_i = \frac{\sin(\gamma_{i,i+1} - \gamma_i + \varphi_i + \varphi_{i,i+1})}{\sin(\gamma_{i,i-1} - \gamma_i + \varphi_i + \varphi_{i,i-1})}$$

Параметр f_i имеет значение проекционного коэффициента разности сдвигающих и удерживающих сил *i*-го блока на основание *i+1*-го блока.

Рассмотрим метод решения плоской задачи устойчивости бортов карьера. При расчете устойчивости бортов нагорных карьеров помимо геомеханических факторов, необходимо учитывать влияние формы верхней части склона, на котором формируется борт карьера и как следствие параметры потенциальной призмы обрушения. При крутых углах падения естественной поверхности ослабления, если этот угол много больше угла внутреннего трения, коэффициент устойчивости определяется по известной формуле, предложенной Иофиним С.Л.[6]:

$$K_y = \frac{P \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi' + C' S}{P \sin \alpha} \quad (3)$$

где P – масса всей призмы возможного обрушения; S – площадь потенциальной поверхности обрушения; C' , и φ' – расчетное сцепление и расчетный угол внутреннего трения по потенциальной поверхности скольжения; α – угол наклона поверхности ослабления, по которой возможно обрушение.

Расчетные значения сцепления C' и угла внутреннего φ' трения определяются по данным определяемых на образцах в пересчете на массив и с введением в последние минимального значения коэффициента запаса устойчивости $K_y = 1,2$.

Расчетное сцепление пород определяется по формуле:

$$C' = \frac{C_o}{k_y}, \quad (4)$$

Расчетный угол внутреннего трения определяется по формуле:

$$\varphi'_p = \frac{\operatorname{arctg} \varphi}{k_y} \quad (5)$$

здесь k_y – расчетное значение коэффициенты устойчивости; C_o – сцепление пород; φ – угол внутреннего трения пород, определенные на образцах соответственно.

Влияние на устойчивость бортов карьеров оказывают: рельеф склона; наличие структурных нарушений в виде разломов; трещины и их ориентация относительно борта карьера; местоположение карьера относительно склона; мощность зоны выветривания. При повышении влажности этих пород сцепление грунтах резко снижается на порядок и в этом случае для расчета значений коэффициенты устойчивости принимают следующее выражение:

$$\operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \varphi' = 1 \quad (6)$$

Из (6) следует, что устойчивость бортов карьеров на оползневых склонах и склонах определяется только углом падения наносов или трещин напластования и расчетным значением угла внутреннего трения.

В сильно трещиноватых породах склонов, при условии, что параметры уступов превышают расстояние между трещинами, что позволяет рассматривать прибортовой массив как изотропный, поверхность скольжения рассчитывается как криволинейная. В этом случае расчет устойчивости производится в пределах потенциальной призмы сползания методом алгебраического сложения сил[7], или метод Бишопа[8], при этом потенциальная поверхность скольжения призмы сползания разбивается на блоки длиной не менее одного метр. Коэффициент устойчивости рассчитывается по формуле

$$K_y = \frac{\sum N_i \operatorname{tg} \phi + \sum C'_i l_i}{\sum T_i} \quad (7)$$

где N_i, T_i – нормальная и касательная составляющие массы i -го блока призмы сползания; l_i – длина основания i -го блока призмы сползания.

В однородной среде предельный угол откоса можно рассчитать исходя из знания сцепления пород, плотности пород, а также условной и расчетной глубина карьера.

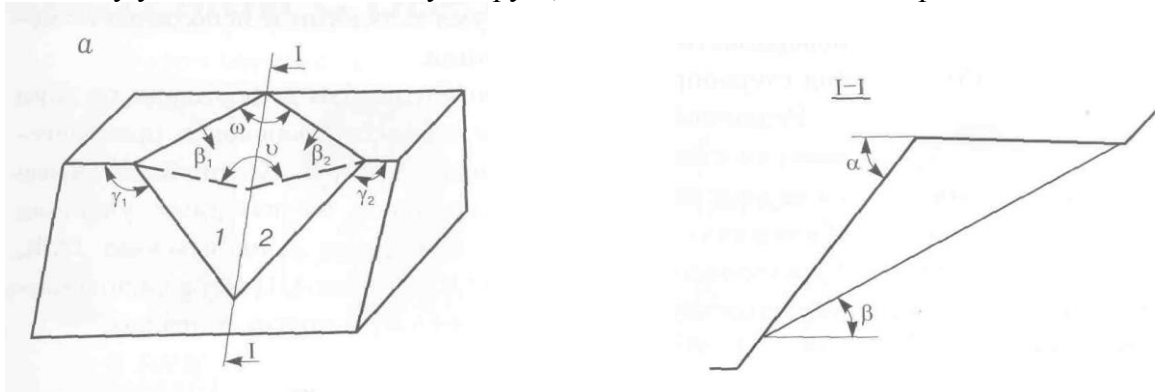
$$\beta_{\text{ид}} = \arctg \frac{\text{tg } \varphi}{1 - \frac{H_c}{H}} \quad (8)$$

где $H_c = \frac{6,14C}{\rho} \text{ctg}(45^\circ - \varphi/2)$ - условная глубина связности пород; H - фактическая глубина карьера C , и φ соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения; ρ - интегральная плотность пород.

Обрушения бортов нагорных карьеров происходят по тектоническим нарушениям, системам трещин или слоистости. При подрезке такого борта поверхность скольжения будет не плоской, а состоять по крайней мере из двух сопрягающихся плоскостей (рис.2). Величина угла сопряжения (δ) таких поверхностей обуславливается азимутами их простирания и углами падения. Максимальное значение этого угла, при котором возможен сдвиг пород по этим плоскостям должно быть не менее $\delta = 90^\circ - \varphi$. Такой метод называется - **метод решения объемной задачи устойчивости бортов карьера**

Для определения параметров поверхности скольжения, которая образовалось тектоническими нарушениями или системами трещин предлагается использовать азимутальные меридиональные сетки, у которых плоскость проекции совпадает с одним из меридианов [9]. Величину двугранного угла (δ) определяют в следующей последовательности [9]:

1. находят положение полюсов поверхностей, для чего линии простирания каждой из них совмещают с вертикальным диаметром сетки В.В.Каврайского и на горизонтальном диаметре откладывают от нее на расстоянии 90° точки P_1 и P_2 ;
2. совмещают с горизонтальным диаметром точку a_1 (след линии пересечения поверхностей 1 и 2) и также откладывают от нее расстояние 90° (точка К);
3. вращают кальку, с нанесенными на ней линиями поверхностей ослабления и откоса, до совмещения точек P_1 , P_2 и К и одним из меридианом, копируют его и отсчитывают угловое расстояние δ между поверхностями ослабления 1 и 2 по этому меридиану. Величину угла ω находят по дуге круга, отсчитывая по часовой стрелке.



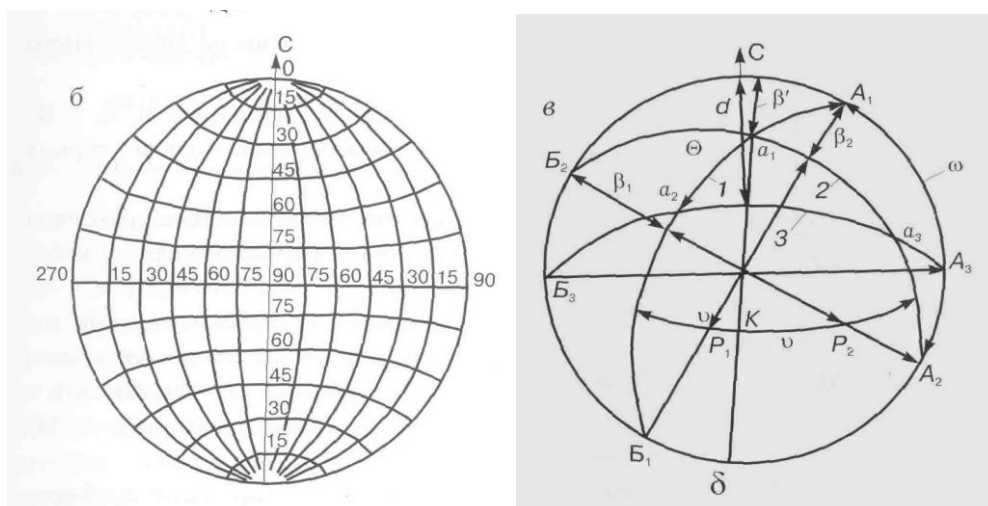


Рисунок 2. Схема для решения объемной задачи устойчивости откоса, ослабленного двумя сопряженными трещинами: а – модель откоса; и расчетный профиль; б – азимутальная сетка; в – определение параметров объемной поверхности скольжения;

На основании полученных значений элементов залегания потенциальной поверхности скольжения строится план и профиль участка уступа, и определяется коэффициент его устойчивости по формуле:

$$K_y = \frac{ctg \beta_1 tg \varphi'_1}{\sin \Theta} + \frac{ctg \Theta (tg \varphi'_2 \pm \sin \varepsilon tg \varphi')}{\cos \varepsilon} + \frac{C'_1 S_1 + C'_2 S_2}{P \sin \beta_1 \sin \Theta}, \quad (9)$$

где S_1 и S_2 - площади поверхностей ослабления 1 и 2.; P - масса потенциальной призмы разрушения; знак «+» соответствует значению $\varepsilon = \delta + 90^0$, знак «-» - значению $\varepsilon = \delta - 90^0$

Выводы:

По методу решения плоской задачи выявлено, что оценка напряженного состояния прибортового массива определялась методом алгебраического сложения сил. Метод этот не учитывает реакции между блоками и исходит из того, что призма возможного обрушения смещается как единое целое, хотя не соответствует практике. Это приводит к увеличению погрешности определяемого коэффициента запаса устойчивости[2]. Для метода плоской задачи, наиболее надежным и универсальным методом расчета устойчивости откосов является метод многоугольника сил (метод векторного сложения сил), учитывающий все силы, действующие по границам выделенных блоков, как внутренние, так и внешние (в том числе и силы гидростатического давления).

При расчете устойчивости бортов нагорных карьеров методом решения плоской задачи, помимо геомеханических факторов, необходимо учитывать влияние формы верхней части склона, на котором формируется борт карьера и как следствие параметры потенциальной призмы обрушения. Уменьшением угла сопряжения нарушений δ в прибортовом массиве δ увеличивается объемный эффект и возрастают силы распора породного клина[10]. При значениях $\delta = 90^0$, породный клин свободно смещается по поверхностям скольжения, при этом основными силами являются трение и сцепление.

С увеличением угла δ в прибортовом массиве уменьшается объемный эффект и как следствия снижается устойчивость этого клина. Предельной значение этот угол имеет при совпадении азимутов простираения и углов падения поверхностей 1 и 2(рис. 2).

Литературы:

1. Г.Л. Фисенко Устойчивость бортов карьеров и отвалов, Изд. «Недра», Москва 1965г.
2. Голушкевич С.С. Плоская задачи теории предельного равновесия сыпучей среды. М.: Гостехиздат, 1948

3. А.А. Григорьев, Е.В. Горбунова, А.Н. Девяткина. «Оценка устойчивости бортов карьеров (разрезов отвалов)», Метод. указания, Изд-во ДВГТУ, Владивосток 2009г.
4. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: Физматгиз, 1960
5. Фисенко Г.Л., Сапожников В.Т. обеспечение безопасного ведения горных работ в условиях деформирующихся бортов карьеров /Сдвигание земной поверхности и устойчивость откосов. – Л.; ВНИМИ, 1988, С.88-95
6. Иофин С.Л. Устойчивости бортов карьеров. Metallurgizdat M.: 1953. 91с.
7. Методические указания по определению углов наклона бортов, уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. –Л.:ВНИМИ, 1972.
8. Bishop F.W. The use of the circle in the stability analysis of slopes //Geotechnique, Mars, 1999
9. Газиев Э.Г. Устойчивость скальных массивов и методы их закрепления. М.:Стройиздат, 1977
10. Галустьян Э.Л. Геомеханика открытых горных работ. - М., Недра, 1992,-272с.