

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МОСКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНАЯ АКАДЕМИЯ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.Б. МАКАРОВ
И.А. БАЛАКИРЕВ

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по курсу «Сдвижение горных пород»
(для студентов III курса)

Утверждено
Редакционным советом центра дистанционного образования

Москва
2000 г.

УДК 622.831.327(075.8)

А.Б. МАКАРОВ
И.А. БАЛАКИРЕВ

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Сдвигение горных пород»
(для студентов III курса)

МГГРУ, 2005г.

Содержание

Введение	4
1. Обратный расчет прочностных свойств массива по оползню	5
1.1. Вводный комментарий	5
1.2. Основы метода обратного расчета	7
1.3. Указания по работе	9
2. Проектирование контура борта карьера с заданным коэффициентом запаса устойчивости	11
2.1. Вводный комментарий	11
2.2. Методика проектирования контура борта карьера	12
2.3. Указания по работе	14
3. Оценка устойчивости фактического контура борта карьера	16
3.1. Вводный комментарий	16
3.2. Построение поверхности скольжения в однородном откосе	17
3.3. Указания по работе	19
Литература	21

Введение

Открытый способ разработки месторождений остается основным способом добычи полезных ископаемых. У нас в стране более $\frac{3}{4}$ объема горных работ выполняется открытым способом. Фактическая глубина карьеров превышает 400 м (Коркинский угольный разрез), а проектная достигает 1000 м (карьеры Кривбасса). С увеличением глубины горных работ существенное значение приобретает вопрос определения оптимального контура борта карьера, обеспечивающего, с одной стороны, требуемую безопасность работ и надежность технологической схемы за счет обеспечения устойчивости откосов и предотвращения оползней, а с другой – минимальный объем вскрыши. Например, при глубине карьера 300 м увеличение угла наклона борта карьера на 1 градус снижает объем вскрышных работ на 2,8 млн.м³ на каждом километре протяженности борта. В то же время деформации откосов вызывают потери полезного ископаемого, нарушают график отработки месторождения. Ликвидация последствий оползней требует значительных затрат. Экономический ущерб от деформаций бортов также нарастает с увеличением глубины карьеров.

Предельные углы наклона бортов глубоких карьеров у нас в стране составляют в скальных породах 35-40 градусов. В зарубежной практике имеется опыт обеспечения устойчивости бортов с углами наклона 50-60 градусов. Решение проблемы оптимизации контуров бортов карьеров складывается из решения следующих задач: изучение инженерно-геологических условий месторождений, определяющих устойчивость откосов карьеров, выбор способа расчета устойчивости откосов, обоснование технических решений, обеспечивающих устойчивость откосов.

Методы расчета устойчивости карьерных откосов регламентируются «Методическими указаниями по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров», разработанными институтом ВНИМИ в 1972 г. Комплекс лабораторных работ, составленный для студентов-горняков, предназначен для выработки навыков расчетов устойчивости и проектирования бортов карьеров.

Лабораторная работа № 1

Обратный расчет прочностных свойств массива по оползню

1.1. Вводный комментарий

Для расчета устойчивых параметров бортов карьеров необходимо знать прочностные свойства массива горных пород – сцепление C и угол внутреннего трения φ , которые характеризуют прямолинейную огибающую предельных кругов напряжений О. Мора (рис. 1).

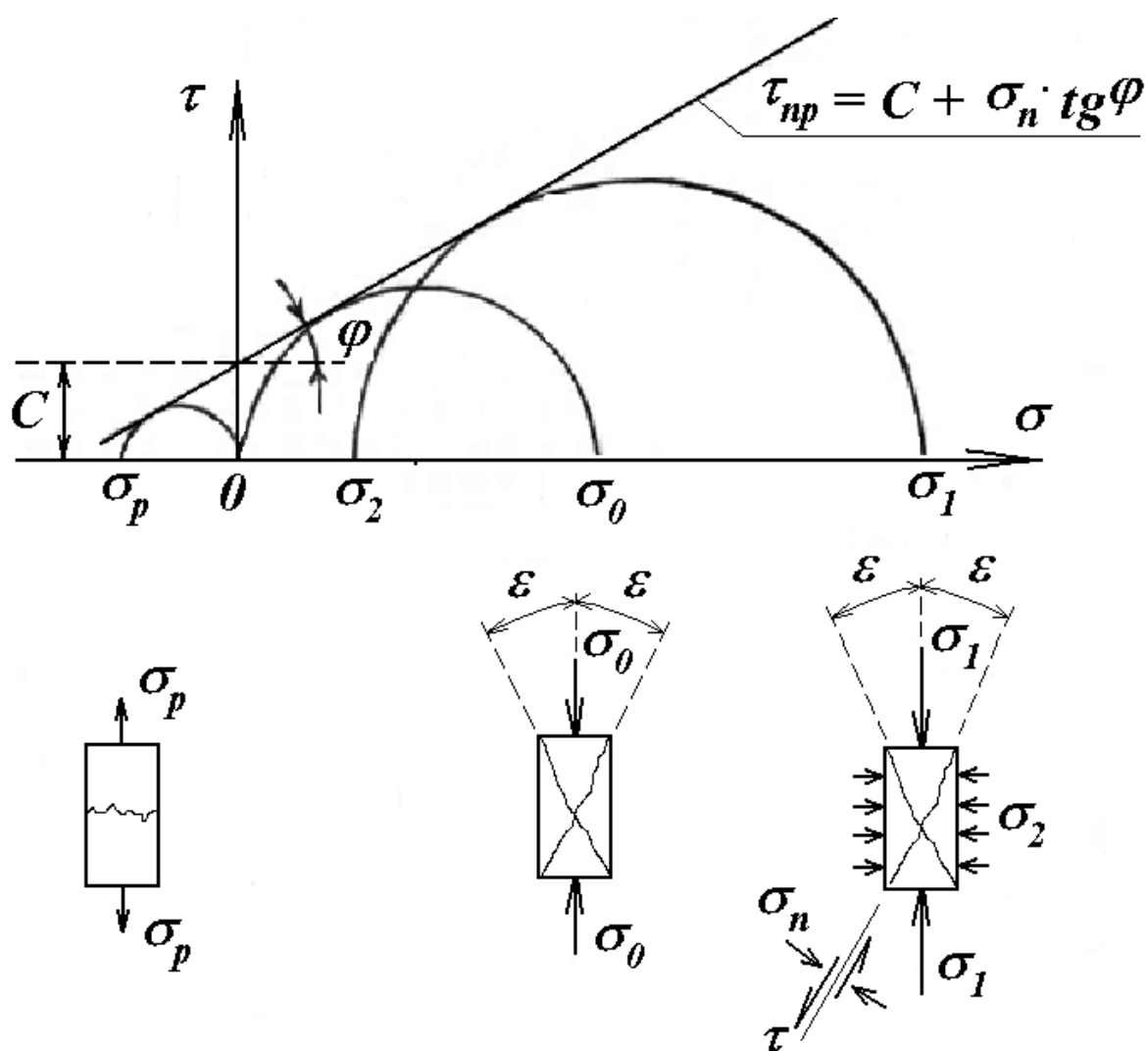


Рис. 1. Построение паспорта прочности горных пород с прямолинейной огибающей (τ_{np}) по результатам испытаний на растяжение (σ_p), одноосное сжатие (σ_θ) и объемное сжатие (σ_1).

В лабораторных условиях сцепление и угол внутреннего трения определяют по результатам испытаний образцов горных пород в стабилометрах. Стабилометр – установка, позволяющая определить прочность горной породы при заданном постоянном боковом давлении. Испытывая на прочность серию образцов на растяжение σ_p , на одноосное сжатие σ_o , на объемное сжатие σ_1 при различных боковых давлениях σ_2 , ($\sigma_1 > \sigma_2$) получают данные для построения кругов О. Мора в различных напряженных состояниях, по которым строят предельную огибающую и находят ее параметры C и φ . Для прямолинейной огибающей сопротивление горных пород сдвигу τ_{np} определяется по формуле:

$$\tau_{np} = C + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

где σ_n - напряжение, нормальное к поверхности сдвига.

В монолитных породах площадки сдвига располагаются под углами

$$\varepsilon = \pm (\pi/4 - \varphi/2) \quad (2)$$

к направлению действия максимального главного напряжения σ_1 .

При переходе к главным напряжения критерий разрушения пород сдвигом (1) с учетом (2) примет вид:

$$\sigma = \sigma_o + \sigma_2 \cdot \operatorname{tg}^2 (\pi/4 + \varphi/2) \quad (3)$$

Результаты лабораторных испытаний горных пород нельзя напрямую использовать для расчета устойчивости бортов карьера, поскольку прочностные свойства массива за счет наличия поверхностей ослабления (трещин, тектонических нарушений) значительно ниже, чем в монолитных образцах. Для определения прочностных свойств массивов горных пород существуют три подхода:

- прямых испытаний крупных блоков горных пород в натурных условиях,
- расчет с помощью коэффициента структурного ослабления, показывающего соотношение прочности пород в массиве и в образце,
- обратный расчет по факту происшедших оползней.

При проектировании, строительстве и эксплуатации крупных карьеров, как правило, используют все три способа определения прочностных свойств массива.

1.2. Основы метода обратного расчета

Обратный расчет сцепления C и угла внутреннего трения φ в массиве по параметрам происшедшего оползня представляет собой пассивный эксперимент, в котором активную роль сыграли природные силы (гравитация). Задача расчета состоит в том, чтобы из факта деформации (разрушения) откоса в оползень получить величины сцепления и угла внутреннего трения.

Для определения двух неизвестных величин необходимо иметь два уравнения. Одно уравнение составляется из баланса удерживающих и сдвигающих сил до обрушения (в предельно устойчивом откосе), а второе – после сдвижения борта (в оползне). Оба уравнения описывают состояние равновесия откоса борта: до и после обрушения, т. е. в обоих случаях удерживающие силы уравновешивают сдвигающие. Различие между этими двумя уравнениями состоит в изменении геометрии откоса борта карьера до и после сдвижения, а также в том, что в процессе сдвижения происходит срыв сцепления по поверхности скольжения. Таким образом, равновесие оползневого тела на поверхности скольжения обеспечивается только удерживающими силами трения. В предельно устойчивом откосе сдвигающие силы уравновешиваются силами трения и сцепления по поверхности скольжения.

Чтобы вести обратный расчет прочностных свойств массива по факту сдвижения борта карьера, необходимо выполнить съемку откоса до и после деформации и построить вертикальные разрезы. Предполагается, что разрушение и сдвижение борта карьера произошло под действием собственного веса (силы тяжести).

Поверхность скольжения имеет вид плавной кривой с переменным углом наклона к горизонту, поэтому для разложения силы тяжести оползневого тела на сдвигающие (тангенциальные к поверхности скольжения) и удерживающие (нормальные) силы используют следующий прием. Сдвигающийся массив в предельно устойчивом откосе и в оползне (от поверхности откоса или оползня до линии скольжения) разбивают вертикальными линиями (по

направлению действия силы тяжести) на ряд блоков (рис. 2). Вес каждого блока представляется сосредоточенной силой, приложенной к поверхности скольжения и раскладывается на нормальную N_i и касательную T_i составляющие.

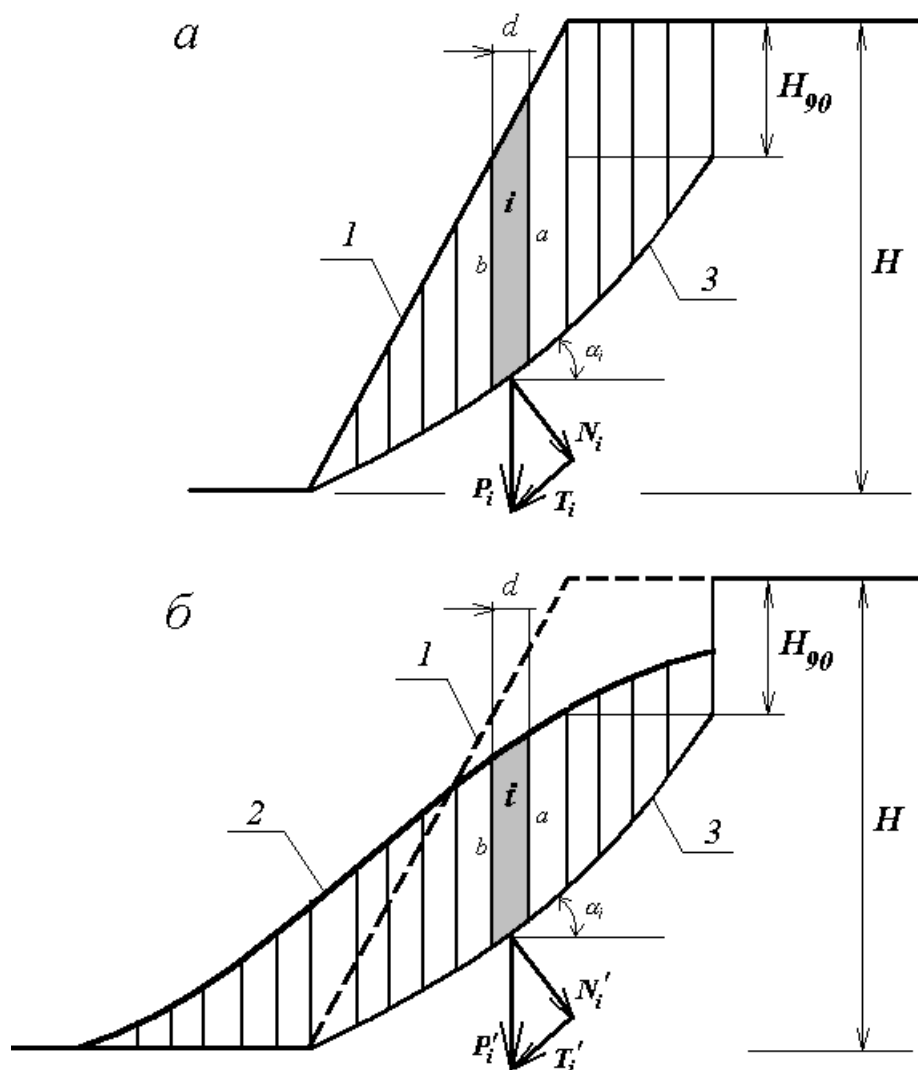


Рис. 2. Расчетная схема определения прочностных свойств массива методом блокировки: а – откоса в предельном состоянии перед сдвижением; б – оползневого тела после сдвижения; 1, 2 – контуры предельно устойчивого откоса и оползневого тела; 3 – поверхность скольжения.

Условия равновесия оползневого тела:

$$\sum T_i' = \operatorname{tg} \varphi \cdot \sum N_i' \quad (4)$$

Из уравнения равновесия оползня (4) определяется угол внутреннего трения

$$\varphi = \operatorname{arctg}(\sum T_i' / \sum N_i') \quad (5)$$

Найденное значение угла внутреннего трения φ в массиве подставляется в *уравнение равновесия, составленное для исходной формы откоса*, которое имеет вид:

$$\sum T_i = \operatorname{tg} \varphi \cdot \sum N_i + CL \quad (6)$$

где C – средневзвешенная величина сцепления в массиве (для неоднородных откосов); L – длина наклонной поверхности скольжения.

Из уравнения (6) определяется сцепление:

$$C = (\sum T_i - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sum N_i) / L \quad (7)$$

Аналогично рассчитываются и контактные прочностные характеристики при обрушении откосов по плоским поверхностям ослабления (трещинам, тектоническим разломам, контактам слоев).

1.3. Указания по работе

Исходные данные: геометрию откоса до деформации (высоту и угол наклона борта карьера), положение поверхности скольжения и форму оползня задает преподаватель. Средний удельный вес пород, слагающих откос, $\gamma = 2,6 \text{ т/м}^3$.

Допущения: принимаем, что протяженность оползня по длине борта карьера достаточно велика, поэтому расчет ведется в плоском варианте на единицу длины оползня; разрыхлением пород в оползне пренебрегаем.

Определить: средневзвешенные значения сцепления в массиве и углы внутреннего трения.

Порядок выполнения работы:

1. В масштабе 1:1000 построить по заданным величинам высоты и угла наклона вертикальный разрез борта карьера.
2. Преподаватель на построенный разрез наносит положение поверхности скольжения и форму оползня.
3. Тело оползня до и после сдвижения разбить на блоки

равной ширины (8-10 блоков для каждого состояния).

4. Определить вес каждого i -того блока по формуле:

$$P_i = \gamma d(a + b)/2 \quad (8)$$

где a и b – высоты границ блоков, определяются графически по разрезу с учетом масштаба; d – ширина расчетных блоков.

5. В середине каждого блока графически определяется угол наклона поверхности скольжения α_i .

6. Разложить вес каждого блока на касательную (сдвигающую) и нормальную к поверхности скольжения (удерживающую) составляющие по формулам

$$T_i = P_i \cdot \sin \alpha_i; \quad N_i = P_i \cdot \cos \alpha_i \quad (9)$$

7. Результаты расчетов свести в таблицы 1 (в оползне) и 2 (в откосе) по форме:

№ блока	P_i	α_i	T_i	N_i
---------	-------	------------	-------	-------

Количество строк в таблицах равно количеству блоков, на которые разбиты оползень и предельно устойчивый откос.

8. В таблице 1 найти суммы сил $\sum T'_i$ и $\sum N'_i$, действующих в оползне. По формуле (5) определить угол внутреннего трения φ .

9. Графически по разрезу определить длину наклонной линии скольжения откоса L от нижней бровки борта до глубины H_{90} от земной поверхности.

10. В таблице 2 найти суммы сил $\sum T_i$ и $\sum N_i$, действовавших в предельном устойчивом откосе. С учетом полученных значений φ и L по формуле (7) рассчитать сцепление C .

Лабораторная работа № 2
Проектирование контура борта карьера с заданным коэффициентом запаса устойчивости.

2.1. Вводный комментарий.

При расчетах бортов карьеров под коэффициентом запаса устойчивости понимается отношение сумм сил, удерживающих откос, к сумме сил, сдвигающих его:

$$n = (tg \varphi \cdot \Sigma N_i + CL) / \Sigma T_i \quad (10)$$

Если правый и левый члены этого выражения разделить на n , то получим соотношение:

$$1 = (tg \varphi/n \cdot \Sigma N_i + C/n \cdot L) / \Sigma T_i \quad (11)$$

Из соотношения (11) следует, что устойчивое равновесие откоса борта с коэффициентом запаса n можно рассматривать как предельное равновесие (с коэффициентом запаса устойчивости, равным единице) с новыми характеристиками прочности массива, уменьшенными по сравнению с реальными характеристиками в n раз:

$$C_n = C/n; \quad \varphi_n = \arctg (tg \varphi/n) \quad (12)$$

Таким образом, чтобы проектировать контур борта карьера с заданным коэффициентом запаса устойчивости n , необходимо перейти от реальных значений сцепления C и угла внутреннего трения φ в массиве к расчетным значениям C_n и φ_n по формулам (12), т.е. коэффициент запаса n вводится в прочностные характеристики массива. Рекомендуемые значения коэффициента запаса устойчивости приведены в таблице.

Общая характеристика откоса (борта карьера)	Коэффициент запаса при сроке службы откоса	
	До 5 лет	Более 5 лет
Нерабочий борт, сложенный глинами или скальными трещиноватыми породами	1,20	1,30
Нерабочий борт с преобладанием песчаных или гравелистых пород	1,15	1,20
Рабочий борт	1,20	-

2.2. Методика проектирования контура борта карьера.

Расчет величины угла устойчивого откоса по заданным величинам коэффициента запаса устойчивости, проектной высоты борта (глубины карьера) при известных параметрах прочностных свойств массива производится по методике института ВНИМИ /3/.

Для однородного откоса, когда в массиве горных пород нет поверхностей ослабления, падающих в сторону выемки, предельно допустимая высота борта определяется по формуле:

$$H_{np} = 2C \cdot \operatorname{tg} (\pi/4 + \varphi/2) / \{ \gamma [1 - (\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)^{0,5}] \} \quad (13)$$

где наряду с ранее принятыми обозначениями: α – угол наклона борта карьера; $\beta = (\alpha + \varphi)/2$.

В формуле (13) величина:

$$2C \cdot \operatorname{tg} (\pi/4 + \varphi/2) / \gamma = H_{90} \quad (14)$$

представляет собой **предельную высоту вертикального откоса H_{90}** .

Если обе части выражения (13) разделить на H_{90} , то получим выражение для расчета условной высоты откоса борта карьера H' :

$$H' = H_{np} / H_{90} = [1 - (\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)^{0,5}]^{-1} \quad (15)$$

Для упрощения расчетов на рис. 3 приведена номограмма связи предельной высоты и угла наклона однородного борта карьера, на которой каждая кривая $H' = f(\alpha, \varphi)$ соответствует заданной величине угла внутреннего трения φ .

Номограммой пользуются следующим образом:

1. По заданным величинам коэффициента запаса прочности n и прочностных свойств массива C , φ по формулам (12) находят расчетные характеристики прочности массива C_n и φ_n .

2. По заданным величинам C_n , φ_n , γ по формуле (14) определяют предельную высоту вертикального откоса H_{90} в массиве с заданными прочностными свойствами;

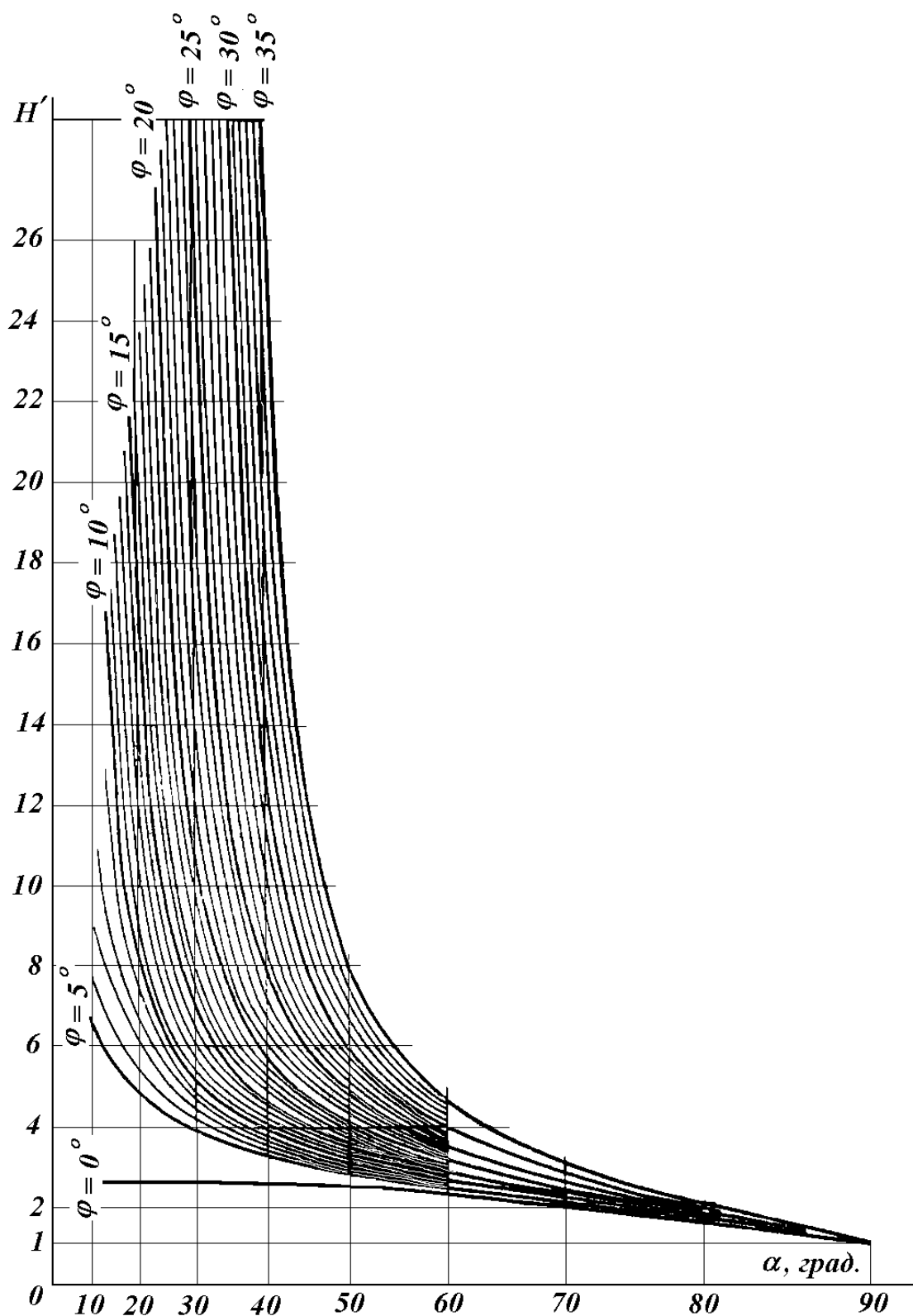


Рис. 3. Номограмма зависимости между предельной высотой плоского однородного откоса и углом его наклона для различных значений угла внутреннего трения.

3. Если задан проектный угол откоса α , и необходимо определить предельную проектную высоту борта H , при которой борт карьера будет иметь заданный коэффициент запаса устойчивости n , то необходимо:

- на оси абсцисс номограммы найти заданный угол откоса α и по ординате, соответствующей этому углу, провести вертикальную линию до кривой, соответствующей расчетному углу внутреннего трения φ_n ;
- по точке пересечения с кривой на оси ординат определить условную величину откоса H' ;
- найденную величину H' умножить на H_{90} и получить искомую высоту проектного откоса H , устойчивость которого имеет заданный коэффициент запаса n .

4. Если задана проектная высота откоса H , и необходимо определить проектный угол наклона борта, при котором борт карьера будет иметь заданный коэффициент запаса устойчивости n , то необходимо:

- определить условную высоту борта карьера $H' = H / H_{90}$;
- найденную величину H' отложить на оси ординат номограммы и провести горизонтальную линию до кривой, соответствующей расчетному углу внутреннего трения φ_n ;
- по точке пересечения с кривой на оси абсцисс найти проектный угол наклона откоса α , при котором борт карьера будет иметь заданный коэффициент запаса устойчивости n .

2.3. Указания по работе.

Исходные данные: проектная высота борта карьера H (принимается равной заданной в лабораторной работе № 1 или задается преподавателем); проектный коэффициент запаса устойчивости $n = 1,2$; удельный вес пород, сцепление и угол внутреннего трения в массиве принимаются по данным, полученным в лабораторной работе № 1.

Допущения: откос плоский, прямолинейный в плане, не имеет поверхностей ослабления.

Определить: проектный угол наклона борта карьера заданной высоты, обеспечивающей устойчивость с заданным проектным коэффициентом запаса.

Порядок выполнения работы:

1. По формулам (12) определить расчетные значения сцепления C_n и угла внутреннего трения φ_n ;
2. По полученным значениям расчетных характеристик массива по формуле (14) рассчитать величину H_{90} ;
3. Определить условную высоту откоса $H' = H/H_{90}$;
4. С помощью номограммы (рис. 3) по известным значениям H' и φ_n найти значение проектного угла наклона борта карьера;
5. Нанести проектный контур борта карьера на вертикальный разрез, построенный при выполнении лабораторной работы № 1;
6. Рассчитать увеличение объема вскрытия (на 1 пог.м протяженности борта карьера в плане), которая позволила бы избежать оползня; увеличение объема вскрытия определяется по формуле:

$$\Delta V = H^2 \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_l - \operatorname{ctg} \alpha_n) / 2 \quad (16)$$

где α_l – угол наклона борта карьера, первоначально заданный в лабораторной работе № 1, α_n – найденный проектный угол наклона;

7. Из лабораторной работы № 1 определить объем оползня (на 1 пог.м протяженности борта):

$$V_{on} = \Sigma P_i / \gamma \quad (17)$$

и сопоставить с увеличением объема вскрытия;

8. Решить вопрос о целесообразности выколаживания борта карьера для предотвращения его деформации оползнем. В первом приближении, выколаживание борта карьера целесообразно, если $V_{on} \geq \Delta V$.

Лабораторная работа № 3
Оценка устойчивости фактического контура борта карьера.

1. Вводный комментарий.

После определения проектного угла наклона борта карьера производится поверочный расчет коэффициента запаса устойчивости борта методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной (самой слабой) поверхности скольжения. При отсутствии в откосе неблагоприятно расположенных (падающих в сторону выемки) поверхностей ослабления массива поверхность скольжения является криволинейной, близкой по форме к круглоцилиндрической поверхности.

Форма и расположение поверхности скольжения в неослабленном массиве, прилегающем к откосу, определяются основными положениями теории предельного равновесия сыпучей среды, включающей также и предельное равновесие связной среды с трением.

В однородном массиве горных пород элементарные площадки скольжения возникают при напряжении σ_l равном

$$\sigma_l = \sigma_0 = 2C \cdot \operatorname{ctg} (\pi/4 - \varphi/2), \quad (9)$$

где C , φ - сцепление и угол внутреннего трения; σ_0 – прочность породы на одноосное сжатие.

В однородном массиве площадки скольжения возникают с глубины

$$H_{90} = \sigma_0 / \gamma = 2C \cdot \operatorname{ctg} (\pi/4 - \varphi/2) / \gamma, \quad (10)$$

где γ - плотность пород.

К направлению наибольшего главного напряжения элементарные площадки скольжения располагаются под углом

$$\varepsilon = \pi/4 - \varphi/2.$$

В массиве горных пород вдали от откоса направление наибольшего главного напряжения совпадают с вертикалью; по мере приближения к поверхности откоса наибольшее главное

напряжение отклоняется от вертикали в сторону откоса и на поверхности откоса совпадает с ним.

Наклон отдельных участков поверхности скольжения в однородном массиве плавно изменяется от направления под углом ε к вертикали в верхней части поверхности скольжения до направления под углом ε к поверхности откоса в нижней части поверхности скольжения (рис. 4).

Выделенная поверхностью скольжения призма возможного обрушения борта разбивается на 8-10 вертикальных блоков, для каждого из которых определяется их вес (P_i) и раскладывается на нормальные (N_i) и касательные (T_i) составляющие к наиболее вероятной поверхности скольжения. Фактический запас устойчивости борта карьера определяется по формуле (10).

Т. к. заданный проектный коэффициент запаса устойчивости уже учтен переходом от реальных параметров прочностных свойств массива (C) и (φ) к расчетным (C_n) и (φ_n) формулам (12), то *поверочный расчет должен дать величину $n = 1$* . Если в результате поверочного расчета окажется, что вычисленный коэффициент запаса устойчивости борта отличается от 1 более, чем на $\pm 5\%$, то необходимо внести коррективы в параметры борта: увеличить или уменьшить угол его наклона в зависимости от того, больше или меньше 1 вычисленный коэффициент запаса устойчивости.

3.2. Построение поверхности скольжения в однородном откосе.

Поверхность скольжения, по которой может произойти оползень, в однородном откосе графически строится в следующей последовательности.

1. По заданному коэффициенту запаса устойчивости определяются расчетные прочностные параметры массива C_n и φ_n .

2. По известным величинам C_n , φ_n находится значение H_{90} .

3. От верхней бровки A в принятом масштабе по земной поверхности откладывается ширина призмы сдвижения a и находится точка B (рис. 4).

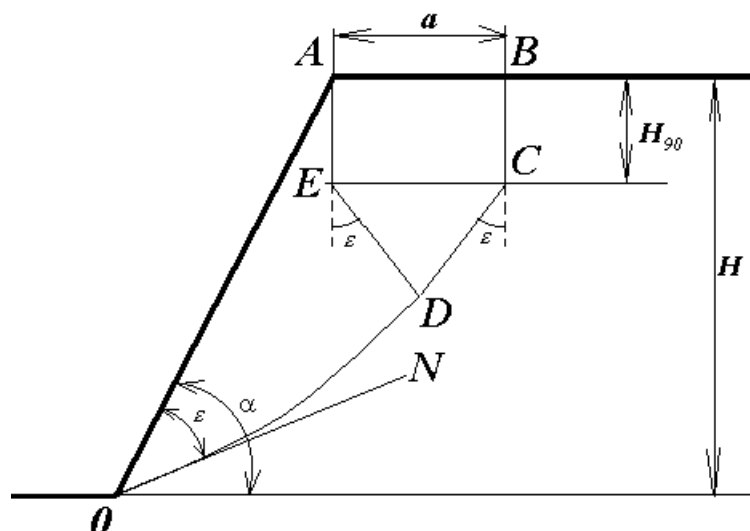


Рис. 4. Построение круглоцилиндрической поверхности скольжения в однородном откосе.

4. Из точек A и B по вертикали вниз откладывается величина H_{90} и находятся точки E и C .

5. Из точек E и C проводятся прямые линии под углами $\varepsilon = \pm (\pi/4 - \varphi_n/2)$ к вертикали до их пересечения в точке D .

6. Из точки O проводится линия ON под углом ε к поверхности откоса;

7. Из точек O и D к линиям ON и DC восстанавливают перпендикуляры и находится точка O' их пересечения. Эта точка является центром окружности радиусом $R = OO' = O'D$.

8. Из точки O' между точками O и D проводится дуга окружности, являющаяся частью поверхности скольжения.

Примечание: построения по п. 7 и 8 на рис. 4 не показаны.

Построенная поверхность скольжения выделяет в прибортовом массиве вероятную призму сдвижения. Для расчета коэффициента запаса устойчивости по найденной поверхности скольжения призма сдвижения разбивается на вертикальные блоки, а коэффициент запаса устойчивости рассчитывается методом алгебраического сложения сил по формуле (10).

3.3. Указания по работе.

Исходные данные: проектные высота, угол наклона и коэффициент запаса устойчивости борта карьера (берутся по результатам выполнения лабораторной работы № 2); значения сцепления и угла внутреннего трения в массиве (принимаются по результатам выполнения лабораторной работы № 1).

Определить: положение наиболее вероятной поверхности скольжения и фактический коэффициент запаса устойчивости борта карьера по ней.

Порядок выполнения работы:

1. В масштабе 1:1000 построить вертикальный разрез проектного контура борта.

2. С переменной ширины призмы сдвига a построить (в последовательности, описанной в п. 3.2) семейство поверхностей скольжения (рис. 5).

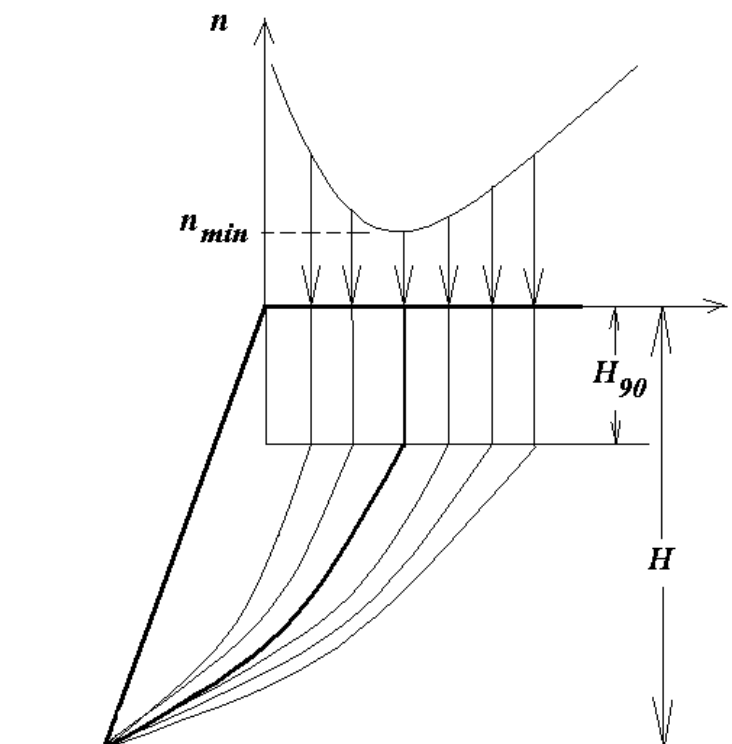


Рис. 5. Нахождение потенциальной поверхности сдвига откоса по минимальному значению коэффициента запаса устойчивости

3. Для каждого варианта линии скольжения рассчитать коэффициент запаса устойчивости по формуле (10), используя методику, описанную в п. 2.1.

4. По полученным значениям n построить зависимость коэффициента запаса устойчивости от ширины призмы сдвижения борта карьера по поверхности $n = f(a)$.

5. По минимальному значению коэффициента запаса устойчивости найти наиболее напряженную поверхность сдвижения откоса и выделить ее цветом или утолщением.

6. Решить вопрос о корректировке проектного угла наклона борта:

- если $n > 1,05$, то необходимо увеличить проектный угол наклона борта карьера на $0,5 \div 1^\circ$;
- если $n < 0,95$, то проектный угол борта необходимо уменьшить на $0,5 - 1^\circ$;
- если $0,95 \leq n \leq 1,05$, то проектный угол наклона борта карьера сохраняется прежним.

Литература

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М., Недра, 1965.
2. Фисенко Г.Л., Ревазов М.А., Галустьян Э.Л. Укрепление откосов в карьерах. - М., Недра, 1974.
3. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов, уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. - Л., ВНИМИ, 1972.
4. Борщ-Компониец В.И. Геодезия. Маркшейдерское дело. - М., Недра, 1989.