

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра открытых горных работ

Составитель  
**В. Ф. Воронков**

## **ГЕОМЕХАНИКА**

**Методические указания к самостоятельной работе  
(7 семестр)**

Рекомендовано учебно-методической комиссией специализации 130403.65 «Открытые горные работы»  
в качестве электронного издания  
для самостоятельной работы

Кемерово 2013

## Рецензенты

Сысоев А.А. – д.т.н., профессор кафедры открытых горных работ.

Самусев П.А. – председатель учебно-методической комиссии специализации 130403.65 «Открытые горные работы»

**Воронков Владимир Федорович. Геомеханика** [Электронный ресурс]: методические указания к самостоятельной работе (7 семестр) для студентов специальности 130400.65 «Горное дело», специализация 130403.65 «Открытые горные работы», очной формы обучения / сост.: В.Ф. Воронков. – Кемерово: КузГТУ, 2013.

Приведено содержание самостоятельной работы. Изложены теоретические положения расчета устойчивости откосов, методов «алгебраического сложения сил» и «касательных напряжений», приведены исходные данные и порядок расчета устойчивости откосов, с проведением проверочных расчетов, а также приведены расчетные формулы. После каждой расчетно-графической работы приведены вопросы для самоконтроля.

©КузГТУ  
©Воронков В. Ф.,  
составление, 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студента в 7 семестре состоит в подготовке к лабораторным работам и в выполнении двух расчетно-графических работ. При подготовке к лабораторным работам студент должен использовать методические указания «Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве» [11]. Порядок выполнения расчетно-графических работ приведен ниже.

Расчетно-графические работы выполняются каждым студентом самостоятельно в соответствии с условиями индивидуального задания. Для расчетов используется графо-аналитический метод с выполнением рабочих чертежей в масштабе на миллиметровой бумаге и пояснительной записки, оформленной на бумаге формата А4 и сброшюрованной в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-79.

Выполненные работы сдаются на проверку преподавателю и при их положительной оценке допускаются к защите.

### *Расчетно-графическая работа № 1*

***Тема: Расчет устойчивости борта плоского профиля (уступа) карьера методом алгебраического сложения сил по круглоцилиндрической поверхности скольжения***

Работа заключается в расчете устойчивости борта (уступа) карьера, построении наиболее напряженной поверхности скольжения и проведении проверочных расчетов.

#### 1.1. Теоретические положения

Теоретическая основа расчетов устойчивости откосов – теория предельного равновесия сыпучей среды, в которой наибольшее применение нашло решение, предусматривающее наличие предельного равновесия откоса по внутренней границе (по поверхности скольжения).

Из известных инженерных методов расчета устойчивости откосных сооружений наиболее распространен и дает хорошие

результаты метод алгебраического сложения сил по круглоцилиндрической поверхности скольжения.

Допущения:

1) поверхность возможного скольжения является круглоцилиндрической, а ограниченный ею массив является «жестким клином»;

2) метод реализуется в однородных массивах, при горизонтальном залегании слоев или при падении слоев в сторону от выбранного пространства;

3) ожидаемое смещение массива рассматривается как вращение «жесткого клина» вокруг оси, параллельной откосу по простирацию и служащей осью кругового цилиндра, поверхностью которого является поверхность скольжения.

В сечении откоса борта (уступа) круглоцилиндрическая поверхность скольжения изображается дугой окружности  $CM$  с осью этой поверхности точкой  $O$  (рис. 1.1), а также ломаной  $BB'C$ .

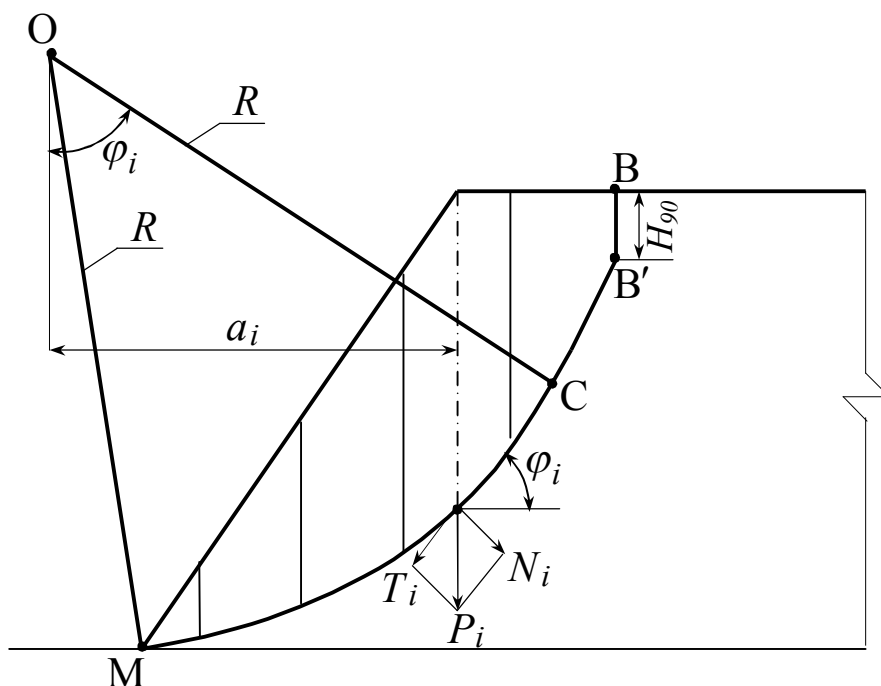


Рис. 1.1. Схема к расчету устойчивости откоса методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности скольжения

При состоянии предельного равновесия должно выполняться равенство моментов: удерживающих призму возможного обрушения  $M_y$  и сдвигающих ее или вращательных  $M_B$ , т.е.  $M_y = M_B$ .

Момент вращения си  $M_B$ , стремящимся повернуть массив пород вокруг точки  $O$ , определяется весом этого «клина»  $P$  и горизонтальным расстоянием  $A$  между центром тяжести «клина» и центром вращения (точкой  $O$ ), т.е.  $M_B = P \times A$ .

Обычно  $M_B$  определяют путем алгебраического сложения моментов от веса отдельных вертикальных блоков  $P_i$ , на которые разбивают призму возможного обрушения, т.е.

$$M_B = \sum_{i=1}^n P_i a_i. \quad (1.1)$$

Если  $a_i = R \sin \varphi_i$  – горизонтальное расстояние от центра вращения (точки  $O$ ) до центра тяжести отдельных блоков,  $R$  – радиус круглоцилиндрической поверхности скольжения, то

$$M_B = R \sum_{i=1}^n P_i \sin \varphi_i, \quad (1.2)$$

а так как,  $P_i \sin \varphi_i = T_i$ , то

$$M_B = R \sum_{i=1}^n T_i, \quad (1.3)$$

где  $n$  – число элементарных блоков;  $i$  – порядковый номер блока;  $\varphi_i$  – угол наклона основания  $i$ -го вертикального блока, град;  $T_i$  – касательная составляющая веса  $i$ -го блока.

В качестве сил, удерживающих призму возможного обрушения от смещения ( $F_{y_i}$ ), выступают силы трения по поверхности скольжения и силы сцепления

$$F_{y_i} = N_i \operatorname{tg} \rho + K \ell_i, \quad (1.4)$$

где  $N_i$  – нормальная составляющая веса вертикального блока, кН;  $K$  – сцепление пород в массиве, КПа;  $\ell_i$  – длина основания элементарного блока по поверхности скольжения, м.

Поскольку нормальная составляющая веса вертикального блока

$$N_i = P_i \cos \varphi_i, \quad (1.5)$$

то

$$F_{y_i} = \operatorname{tg} \rho P_i \cos \varphi_i + K \ell_i, \quad (1.6)$$

а момент вращения сил, удерживающих массив от смещения

$$M_y = R \operatorname{tg} \rho \sum_{i=1}^n P_i \cos \varphi_i + RK \sum_{i=1}^n \ell_i, \quad (1.7)$$

где  $\rho$  – угол внутреннего трения, град.

При состоянии предельного равновесия, т.е.  $M_B = M_y$ ,

$$R \sum_{i=1}^n P_i \sin \varphi_i = R \operatorname{tg} \rho \sum_{i=1}^n P_i \cos \varphi_i + RK \sum_{i=1}^n \ell_i. \quad (1.8)$$

Можно сократить  $R$  и принять  $\sum_{i=1}^n \ell_i = L$ , тогда

$$\frac{\operatorname{tg} \rho \sum_{i=1}^n P_i \cos \varphi_i + KL}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \varphi_i} = \frac{\operatorname{tg} \rho \sum_{i=1}^n N_i + KL}{\sum_{i=1}^n T_i} = 1, \quad (1.9)$$

где  $L$  – длина дуги поверхности скольжения МСВ', м.

Если откос находится в устойчивом состоянии, то удерживающие силы будут превосходить сдвигающие, т.е.

$$\frac{\operatorname{tg} \rho \sum_{i=1}^n N_i + KL}{\sum_{i=1}^n T_i} > 1, \quad (1.10)$$

если знак будет противоположный, то произойдет деформация откоса. По разным поверхностям скольжения эта величина будет различной.

Наиболее слабую поверхность скольжения определяют методом подбора.

## 1.2. Расчет устойчивых параметров откоса и порядок построения наиболее напряженной поверхности скольжения

Расчет устойчивости производится в два этапа. На первом этапе производится расчет параметров откоса по средневзвешенным по мощности слоев пород прочностным характеристикам массива. Но, т.к. сдвигающие и удерживающие силы действуют не по скважине, по результатам бурения которой были определены прочностные характеристики, а по поверхности скольжения, то на первом этапе необходимо построить ориентировочную поверхность скольжения.

На втором этапе, измерив на ориентировочной поверхности скольжения её длину, производят расчет параметров откоса по уточненным средневзвешенным по длине поверхности скольжения в пределах каждого слоя прочностным характеристикам и строят основную поверхность скольжения.

В большинстве расчетных методов для определения параметров уступов, бортов и отвалов с заданной степенью устойчивости расчетный коэффициент запаса устойчивости вводят в прочностные характеристики массива. Полученные характеристики сопротивления сдвигу пород массива называют расчетными и по ним определяют положение поверхности скольжения и рассчитывают устойчивость откоса.

Далее производят проверочные расчеты.

### 1.2.1. Порядок расчета и построение ориентировочной поверхности скольжения

Для получения исходных данных строится таблица.

Таблица 1.1

Таблица исходных данных

Высота уступа (борта), $H$ , м	Мощность слоев, $m$ , м	Строение уступа (борта)	Удельный вес пород, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Сцепление пород в массиве, $K$ , КПа	Угол внутреннего трения, $\rho$ , град

Принять:

- значение расчетного коэффициента запаса устойчивости равным – (по индивидуальному заданию);
- породы, слагающие уступ (борт) – (по индивидуальному заданию);
- залегание слоев – (по индивидуальному заданию).

1. Определяют средневзвешенные по мощности слоев пород характеристики массива:  $K'_{\text{м ср.вз}}$ ,  $\rho'_{\text{м ср.вз}}$ ,  $\gamma_{\text{м ср.вз}}$ .

2. По полученным средневзвешенным характеристикам с учетом принятого коэффициента запаса устойчивости вычисляют предварительные расчетные характеристики  $K'_n$ ,  $\rho'_n$ .

3. Определяют значение высоты вертикальной площадки отрыва  $H'_{90}$ .

4. Исходя из заданной высоты уступа  $H$  вычисляют приведенное значение высоты  $H' = H / H'_{90}$ .

5. По значениям  $H'$  и  $\rho'_n$  по графику зависимости между высотой плоского откоса и его углом (см. рис. 1.2) определяют значение соответствующего угла откоса  $\alpha'$ .

6. Определив значение  $\alpha'$ , рассчитывают значение ширины призмы возможного обрушения  $d'$ .

7. На миллиметровой бумаге в выбранном масштабе строится предварительный профиль откоса.

8. На профиле откоса строится ориентировочная поверхность скольжения в следующем порядке (рис. 1.3). От верхней бровки откоса А откладывают величину  $d' = АВ$  – ширину призмы обрушения. Из точек А и В вертикально откладывают  $H'_{90}$ , а из точек А' и В' проводят линии под углом  $45^0 + \rho'_n / 2$  к горизонту до пересечения в точке С. Из точки С восстанавливают перпендикуляр к линии В'С до пересечения его в точке О с перпендикуляром, восстановленным из точки М (нижняя точка откоса уступа) по направлению MN, составляющему с линией откоса (МА) угол  $(45^0 - \rho'_n / 2)$ . Радиусом  $R = ОС = ОМ$  проводят дугу. Линия ВВ'СМ является поверхностью скольжения.



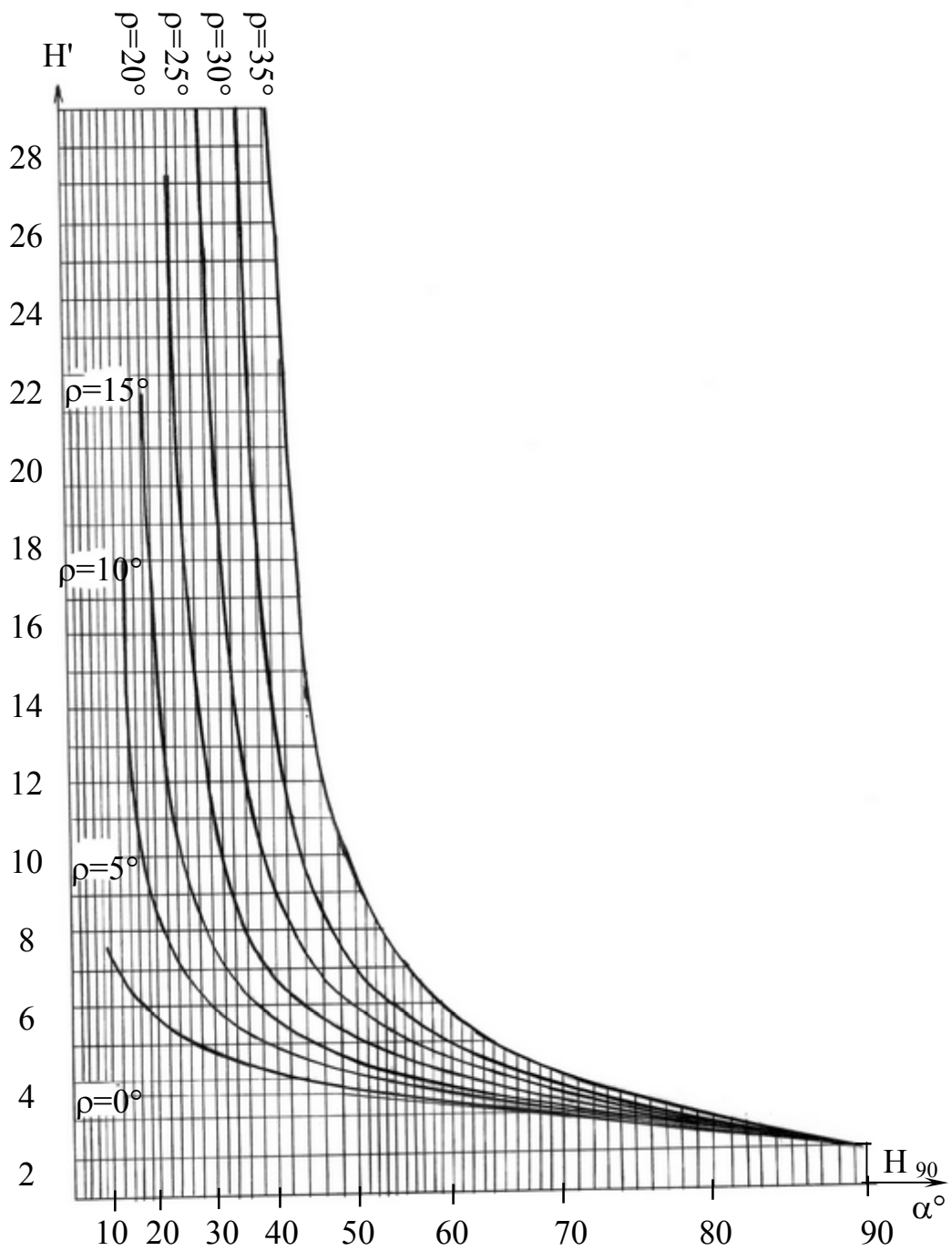


Рис. 1.2. График зависимости между высотой плоского откоса и его углом для различных значений расчетных характеристик

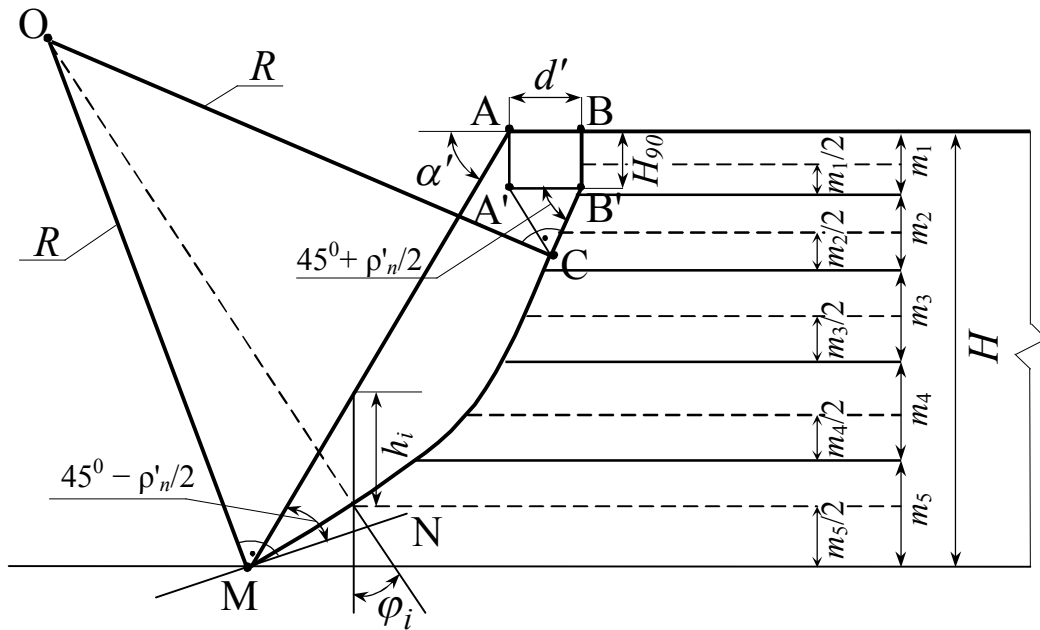


Рис 1.3. Схема построения ориентировочной круглоцилиндрической поверхности скольжения

### 1.2.2. Расчет параметров откоса и порядок построения основной поверхности скольжения

1. Измерив на ориентировочной построенной поверхности скольжения (ПС) её длину в пределах слоя породы определяют уточненные средневзвешенные по длине ПС прочностные характеристики массива

$$K_{\text{ср.вз}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad \text{и} \quad \rho_{\text{ср.вз}} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i l_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^n l_i \sigma_i}, \quad (1.11)$$

где  $l_i$  – длина ПС в пределах каждого слоя;  $\sigma_i$  – нормальное напряжение на ПС в середине каждого слоя;

$$\sigma_i = h_i \cos^2 \varphi_i \gamma_{\text{ср.вз}}, \quad (1.12)$$

где  $h_i$  – глубина залегания точки на ПС в середине слоя, м (измерять на чертеже);  $\varphi_i$  – угол наклона поверхности скольжения в середине слоя, град (измерять на чертеже).

Если середина слоя попадает на вертикальный участок РС, то  $\cos^2 \varphi_i$  принимается равным 1.

2. Определив средневзвешенные по длине ПС в пределах каждого слоя прочностные характеристики массива, повторяют расчет параметров откоса по пунктам 2, 3, 4, 5, 6, изложенным в разделе 1.2.1.

3. На втором листе миллиметровой бумаги в масштабе строится профиль откоса, но уже с новыми параметрами, и основная поверхность скольжения аналогично пунктам 7 и 8 раздела 1.2.1. (рис. 1.4.).

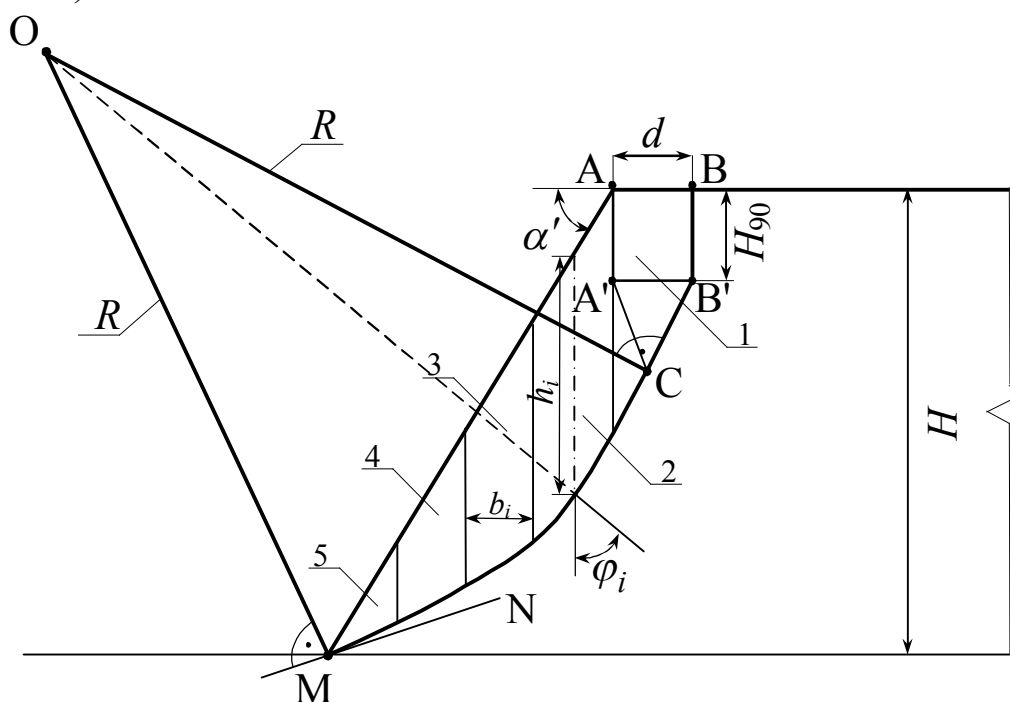


Рис. 1.4. Схема построения основной поверхности скольжения

### Проверочный расчет

Расчет производится методом алгебраического сложения сил:

а) разбивают призму возможного обрушения на вертикальные блоки (1, 2, 3, 4, 5; см. рис. 1.4) с шириной  $b_i = 0,1R$ ;

б) вычисляют вес каждого блока на длину уступа в 1м  $P_i = b_i h_i \gamma_{\text{ср.вз}}$  (где  $b_i$  – ширина  $i$ -го блока, м;  $h_i$  – высота  $i$ -го бло-

ка, замеряется в чертеже, м;  $\gamma_{\text{ср.вз}}$  – средневзвешенный удельный вес пород в массиве, кН/м<sup>3</sup>);

в) рассчитывают нормальную ( $N_i$ ) и касательную ( $T_i$ ) составляющие веса блока, кН;

г) определяют графически угол наклона основания блока в его середине ( $\varphi_i$ );

Расчеты сводятся в таблицу.

Таблица 1.2

Таблица проверочного расчета

Блоки	$b_i$	$h_i$	$P_i$	$\varphi_i$	$\sin \varphi_i$	$T_i$	$\cos \varphi_i$	$N_i$	$N_i \text{tg} \rho_n$	$l_i$	$Kl_i$
1											
2											
3											
4											
5											
...						$\sum T_i$			$\text{tg} \rho_n \sum N_i$		$\sum Kl_i$

д) по формуле

$$n = \frac{\text{tg} \rho_n \sum_{i=1}^n N_i + KL}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (1.13)$$

вычисляют значение коэффициента запаса устойчивости  $n$ . При  $n \neq 1$  расчет повторяют при другом значении  $\alpha$  – угле откоса уступа, т.е. при  $\alpha_2$ . Причем: если  $n > 1$ , то угол  $\alpha_2$  принимают  $> \alpha_1$ , если  $n < 1$ , то угол  $\alpha_2$  принимают  $< \alpha_1$ . Производят перерасчет параметров откоса с построением поверхности скольжения, проведением проверочного расчета и определением коэффициента запаса устойчивости  $n$ .

Для нахождения угла откоса уступа, соответствующего коэффициенту запаса устойчивости  $n=1$  или вообще заданному значению этого коэффициента, строят следующий график (рис. 1.5): по оси абсцисс откладывают в масштабе  $n$ ; по оси ординат –

угол откоса  $\alpha$  тоже в масштабе; строят полученные значения  $n_1$ ,  $\alpha$  и  $n_2$ ,  $\alpha_2$  и соединяют их линией; на пересечении линии с осью ординат получится  $\alpha_1$ , соответствующий  $n = 1$ .

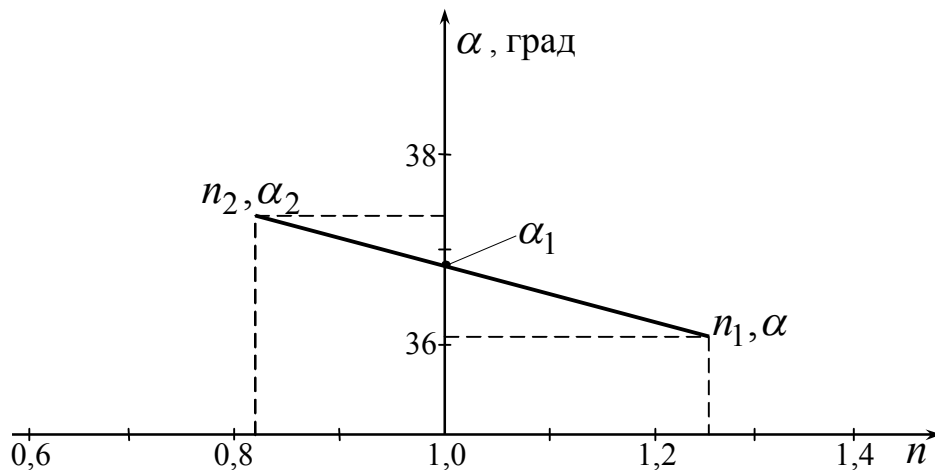


Рис. 1.5. Определение угла откоса при  $n \neq 1$

По данной методике возможны расчеты двух вариантов. Первый (наиболее распространенный случай) – известна высота откоса, необходимо определить угол откоса. Второй – известен или задан угол откоса и нужно определить возможную устойчивую высоту откоса.

### 1.3. Основные расчетные формулы для выполнения расчетно-графической работы

1. Расчетные прочностные характеристики массива пород ( $K_n$ ,  $\rho_n$ )

$$K_n = \frac{K_{\text{ср.вз}}}{n}, \text{ КПа}; \quad (1.14)$$

$$\rho_n = \frac{\rho_{\text{ср.вз}}}{n}, \text{ град.} \quad (1.15)$$

2. Высота вертикальной площадки отрыва ( $H_{90}$ )

$$H_{90} = \frac{2K_n}{\gamma_{\text{ср.вз}}} \text{ctg} \left( 45 - \frac{\rho_n}{2} \right), \text{ м}, \quad (1.16)$$

где  $K_n$  – расчетное значение сцепления пород в массиве, КПа;  
 $\rho_n$  – расчетное значение угла внутреннего трения пород, град;  
 $\gamma_{\text{ср.вз}}$  – средневзвешенный удельный вес пород, кН/м<sup>3</sup>.

3. Ширина призмы возможного обрушения  $d$

$$d = \frac{2H \left[ 1 - \text{ctg} \alpha \cdot \text{tg} \left( \frac{\alpha + \rho_n}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\text{ctg} \left( 45 - \frac{\rho_n}{2} \right) + \text{tg} \left( \frac{\alpha + \rho_n}{2} \right)}, \text{ м}, \quad (1.17)$$

где  $\alpha$  – угол откоса борта карьера, град.

4. Нормальное напряжение на поверхности скольжения в середине слоя ( $\sigma_i$ )

$$\sigma_i = h_i \cos^2 \varphi_i \gamma_{\text{ср.вз}}, \text{ КПа}, \quad (1.18)$$

где  $h_i$  – глубина залегания поверхности скольжения в середине слоя, м;  $\varphi_i$  – угол наклона поверхности скольжения в середине слоя, град.

5. Приведенное значение высоты уступа ( $H'$ )

$$H' = \frac{H}{H_{90}}, \quad (1.19)$$

где  $H$  – высота борта карьера, м.

### Вопросы для самоконтроля

1. Основное условие предельного равновесия.
2. Порядок построения наиболее напряженной поверхности скольжения.
3. Что такое угол  $\varphi_i$ ?
4. Что такое «сумма сдвигающих сил»?
5. Что такое «сумма удерживающих сил»?
6. Что показывает полученное в результате расчетов значение  $n = 1$ ?

## Расчетно-графическая работа № 2

**Тема: Расчет устойчивости откоса отвала выпуклого профиля с использованием алгебраического сложения сил без разделения сопротивления сдвигу на силы трения и сцепления (метод «касательных напряжений»)**

### 2.1. Теоретические положения

Работа заключается в расчете устойчивости и определении рациональных параметров отвалов, сложенных скальными и полускальными, а также слабыми (глинистыми) породами, отсыпаемыми на устойчивое основание.

Отвалы на открытых горных разработках отсыпаются из несвязных пород. При отсыпке отвалов скальных, полускальных пород и песков устойчивость отвала определяется условием равновесия частицы породы массой  $P$  на откосе с углом наклона  $\alpha$  (рис. 2.1). При этом сила трения равная  $P \times \operatorname{tg} \rho \times \cos \alpha$ , должна уравновешивать касательную составляющую веса частицы  $P \times \sin \alpha$

$$P \operatorname{tg} \rho \cos \alpha = P \sin \alpha . \quad (2.1)$$

Отсюда условие равновесия откоса несвязных пород ( $K = 0$ ) может быть записано следующим образом:  $\alpha = \rho$ .

Следовательно, равновесие в откосах несвязных скальных и полускальных пород, а также песков требует, чтобы угол откоса не превышал угла внутреннего трения.

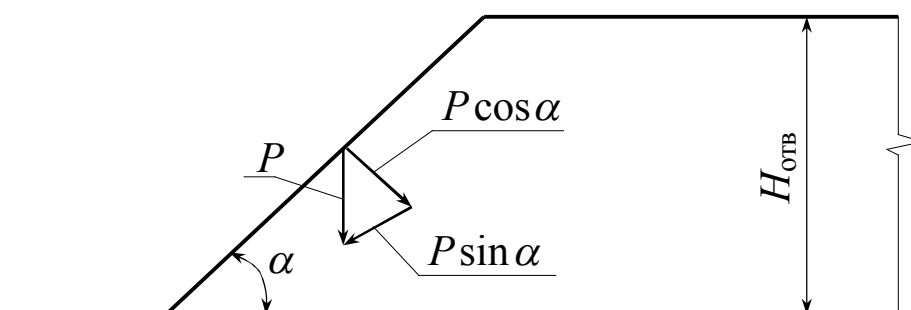


Рис. 2.1. Условие равновесия в откосах несвязных пород

В связи с этим отвалы крепких и средней прочности пород на устойчивом основании сохраняют устойчивость при углах естественного откоса практически при любой высоте. Их максимальная высота может быть установлена технико-экономическими расчетами, учитывающими удорожание транспортирования при увеличении высоты отвалов, расходов на устройство и поддержание транспортных коммуникаций и т.д.

Слабые (глинистые) горные породы при перемещении в отвал теряют свое естественное сцепление. Под влиянием уплотнения они затем приобретают некоторую величину сцепления, которая зависит от свойств пород и высоты отвала. Расчеты отвалов ведут исходя из придания ему выпуклой формы. За основу для расчета принимают паспорт прочности пород, полученный при лабораторных испытаниях рыхлых горных пород сопротивлению срезу при уплотнении их под различными нагрузками, при их естественной влажности и условиях, исключающих отжим воды. При испытаниях на срез пород отвалов и при расчетах их устойчивости необходимо исходить из действительного распределения по высоте отвала различных литологических разностей пород, которое устанавливается путем наблюдений в натурных условиях.

## 2.2. Порядок расчета параметров отвала, обеспечивающих его устойчивое состояние

Исходными данными для выполнения работы являются.

1. Паспорт прочности отвальных пород (рис. 2.2).
2. Породы, отсыпаемые в отвал – сухие.
3. Средневзвешенный удельный вес пород принять  $\gamma_{\text{ср.вз}} = \text{кН/м}^3$ .

Паспорт прочности пород представляет график зависимости нормальных и касательных напряжений  $\tau = f(\sigma_n)$ .

Для слабых песчано-глинистых и несвязных пород отвалов график имеет криволинейный вид (см. рис. 2.2).

1. Для определения показателей этих пород сдвигу  $\rho$  и  $K$  криволинейный участок графика на рабочем участке напряжений



между  $\sigma_{n_{\min}}$  и  $\sigma_{n_{\max}}$  упрощают путем его замены отрезком прямой АВ.

Минимум  $\sigma_{n_{\min}}$  соответствует точке пересечения графика с лучом, выходящим из начала координат под углом  $60^\circ$  к оси  $\sigma_n$ .

Максимум  $\sigma_{n_{\max}}$  соответствует наибольшему сопротивлению сдвига  $\tau_{\max}$  на участке рабочих напряжений.

Значение сцепления  $K$  равно координате, отсекаемой на оси  $\tau$  при продолжении отрезка АВ, а угол наклона этого отрезка – углу  $\rho$ .

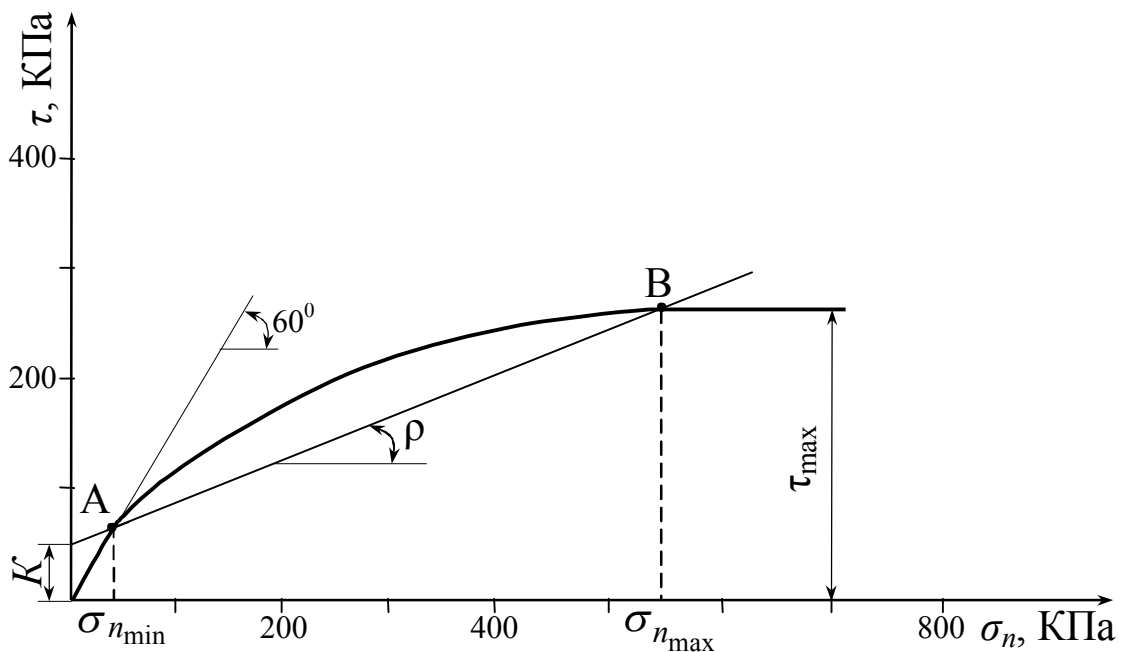


Рис. 2.2. Паспорт прочности пород

2. Далее, с учетом значения коэффициента запаса устойчивости  $n$ , вычисляют расчетные характеристики

$$K_n = \frac{K}{n}; \quad \rho_n = \frac{\rho}{n}; \quad \tau_n = \frac{\tau_{\max}}{n}, \text{ а также величину } H_{90} \text{ и } \gamma_{\text{ср}}.$$

3. Производят расчет предельной высоты отвала по эмпирической формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{5,14\tau_n}{\gamma_{\text{ср}}}. \quad (2.2)$$

Определяют условную предельную высоту

$$H' = \frac{H_{\text{пр}}}{H_{90}}. \quad (2.3)$$

По номограмме – графику предельного контура выпуклого откоса (рис. 2.3), на основе  $\rho_n$  для значения условной высоты определяют соответствующее значение условного заложения откоса  $L'$ , а затем действительное значение по формуле

$$L = L'H_{90}. \quad (2.4)$$

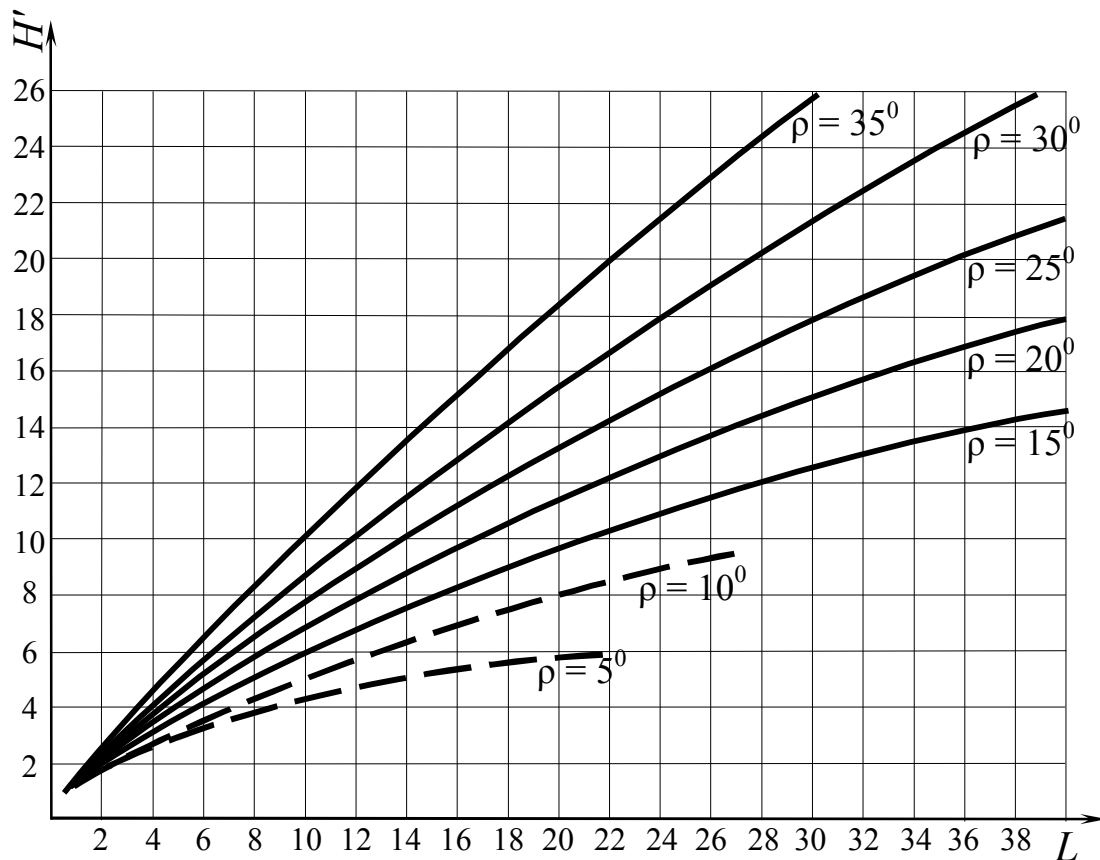


Рис. 2.3. График предельного контура выпуклого откоса

4. Рассчитывают угол откоса отвала

$$\alpha = \text{arctg} \frac{H_{\text{пр}}}{L}. \quad (2.5)$$

5. По полученным данным  $H_{\text{пр}}$  и  $\alpha$  строится предварительный профиль откоса (рис. 2.4), который в дальнейшем корректируется.

6. Корректировка (см. рис. 2.4):

а) нижняя часть откоса примерно на  $1/3H_{\text{пр}}$  принимается плоской и заоткашивается под предельным углом естественного откоса  $35-37^{\circ}$ ;

б) средняя часть высотой также  $1/3H_{\text{пр}}$  заоткашивается под углом, равным вычисленному углу  $\alpha$ ;

в) верхняя часть заоткашивается по линии, соединяющей верхнюю бровку откоса и точку излома линии откоса на глубине  $1/3H_{\text{пр}}$ .

Скорректированный таким образом профиль откоса подвергается проверочным расчетам по ряду поверхностей скольжения. Форму поверхности скольжения без ущерба для точности расчета устойчивости можно принять круглоцилиндрической.

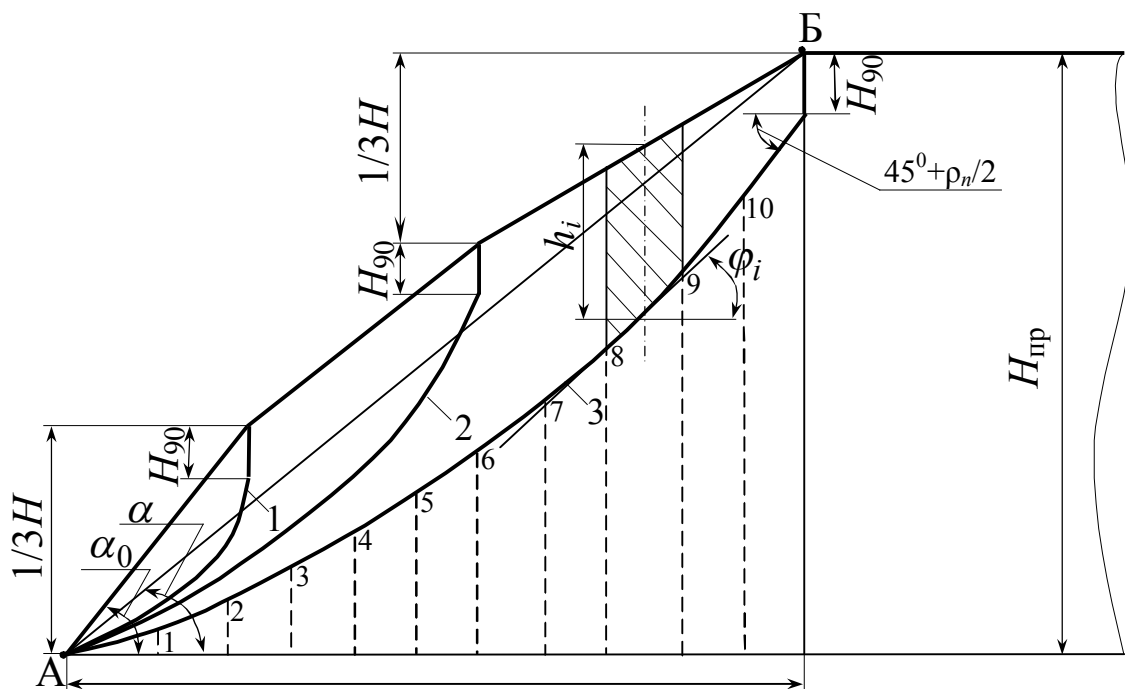


Рис. 2.4. Предварительный профиль откоса отвала

### Проверочный расчет

На профиле откоса строится ряд расчетных поверхностей скольжения упрощенным способом (4, с. 302) и по каждой проводятся проверочные расчеты (рис. 2.4).

Действительное заложение откоса делится на некоторые равные интервалы, например, 8-9 интервалов и в середине каждого интервала находится точка на поверхности скольжения (т. 1,2,...,9). В каждой точке вычисляют нормальные  $\sigma_n$  и касательные напряжения  $\tau_c$ .

$$\sigma_{n_i} = h_i \gamma_{\text{ср.вз.}} \cos^2 \varphi_i, \quad (2.6)$$

$$\tau_{c_i} = \frac{1}{2} h_i \gamma_{\text{ср.вз.}} \sin 2\varphi_i, \quad (2.7)$$

где  $h_i$  – высота отдельного столбика призмы возможного обрушения в т. 1,2,...,9;  $\varphi_i$  – угол наклона основания столбика, градус.

В точках А и Б эти напряжения будут равны нулю.

Расчеты сводят в таблицу.

Таблица 2.1

№ точек	$h_i$ , м	$h_i \gamma_{\text{ср}}$	$\varphi_i$ , градус	$\cos \varphi_i$	$\cos^2 \varphi_i$	$\sigma_{n_i}$ , КПа	$\sin 2\varphi_i$	$\tau_{c_i}$ , КПа	$\tau_{y_i}$ , КПа
1									
2									
...									
$n$									

Расчетная поверхность с отмеченными серединами оснований столбиков разворачивается в горизонтальную прямую (рис. 2.5) и в каждой отмеченной точке по оси ординат откладывают отрезки, соответствующие касательным сдвигающим напряжениям, концы которых соединяют прямыми линиями (1). Площадь, ограниченная осью абсцисс и этой кривой, выражает сумму сдвигающих сил, действующих по расчетной поверхности

$$\left( \sum_{i=1}^n F_{c_i} \right).$$

По паспорту прочности пород на основе нормальных напряжений  $\sigma_{n_i}$  определяют предельные удерживающие касательные напряжения  $\tau_{y_i}$ , величину которых также откладывают по оси ординат в соответствующих точках развернутой в горизон-

тальную прямую поверхности скольжения и концы соединяют прямыми линиями (2). Площадь между осью абсцисс и этой кривой будет равна сумме удерживающих сил  $\left( \sum_{i=1}^n F_{y_i} \right)$ .

Определяют коэффициент запаса устойчивости откоса отвала по данной поверхности скольжения

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n F_{y_i}}{\sum_{i=1}^n F_{c_i}}. \quad (2.8)$$

Аналогичные расчеты проводят по всем расчетным поверхностям скольжения. Находится наименьший коэффициент запаса устойчивости и, если он не соответствует заданному, необходима корректировка профиля. Если  $n < n_{\text{задан.}}$ , то высоту отвала уменьшают и наоборот. Проверочные расчеты для нового скорректированного профиля проводятся аналогичным способом.

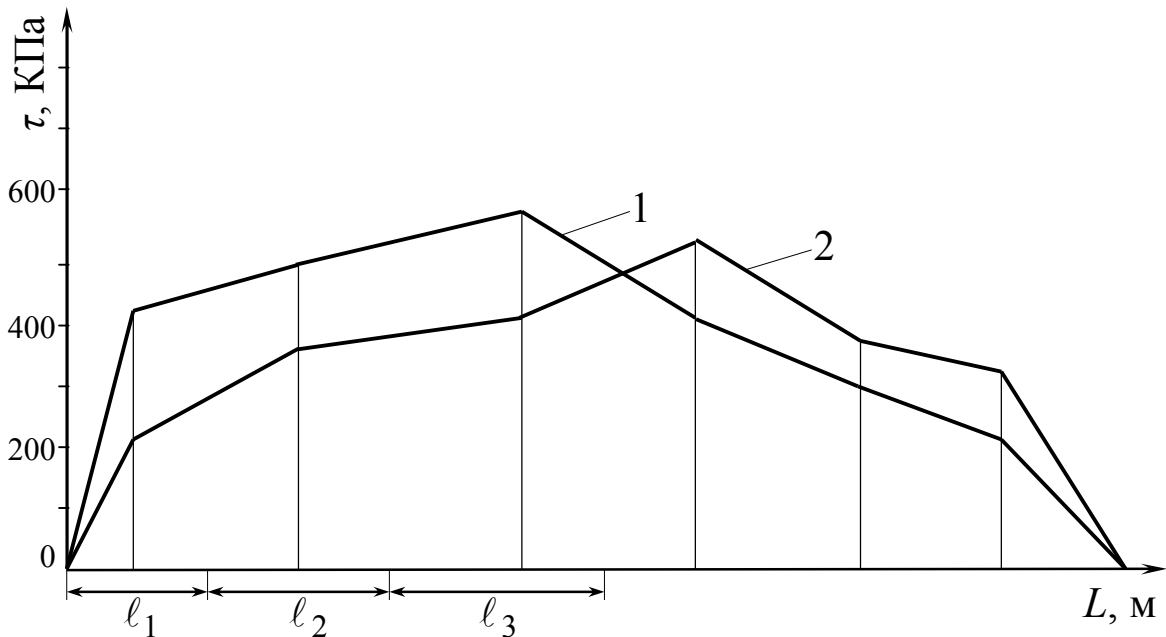


Рис. 2.5. Определение фактического коэффициента запаса устойчивости

## Вопросы для самоконтроля

1. Условие равновесия несвязных скальных и полускальных пород.
2. Что такое паспорт прочности пород?
3. Порядок определения исходных характеристик с паспорта прочности.
4. Что такое корректировка профиля отвала?
5. Как определить наименьший коэффициент запаса устойчивости отвала?
6. Как определяют удерживающие касательные напряжения по поверхности скольжения?

## Вопросы для экзамена

1. Цель и задачи дисциплины. Ее связь со смежными дисциплинами.
2. Массив горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.
3. Структурные особенности горных пород.
4. Тектурные особенности горных пород.
5. Дефекты строения горных пород.
6. Деформирование горных пород.
7. Разрушение горных пород.
8. Уровни разрушения горных пород.
9. Механизм разрушения горных пород.
10. Структурные характеристики массива горных пород.
11. Неоднородность массива горных пород.
12. Анизотропия массива горных пород.
13. Трещиноватость массива горных пород.
14. Основные инженерно-геологические типы горных пород.
15. Основные группы и подгруппы комплексов пород (по Г.Л. Фисенко).
16. Общая характеристика факторов, обуславливающих поведение массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.
17. Напряженное состояние массивов горных пород. Основные понятия о напряжениях.

18. Решение плоской задачи объемного напряженного состояния массива горных пород.
19. Напряженное состояние массива в естественных условиях для крепких горных пород.
20. Напряженное состояние массива в естественных условиях для слабых пластических пород.
21. Напряженное состояние массива горных пород под действием тектонических сил.
22. Изменение напряженного состояния массива горных пород при ведении открытых горных работ.
23. Условия предельного равновесия массивов горных пород.
24. Условия равновесия массивов в откосах, сложенных несвязными и идеально связными породами.
25. Условие равновесия массивов в откосах, сложенных реальными горными породами.
26. Призма возможного обрушения откосов, виды поверхностей скольжения.
27. Коэффициент запаса устойчивости.
28. Инженерные методы расчета устойчивости откосов.
29. Метод алгебраического сложения сил по круглоцилиндрической поверхности скольжения.
30. Метод расчета устойчивости откосов с использованием алгебраического сложения сил (метод «касательных напряжений»).
31. Учет взрывных нагрузок при расчетах устойчивости откосов.
32. Учет криволинейности откосов уступов, бортов карьера и отвалов при расчетах их устойчивости.
33. Порядок расчета устойчивости откосов, нагруженных весом тяжелого оборудования.
34. Учет обводненности массивов горных пород при расчетах их устойчивости.
35. Гидростатическое взвешивание.
36. Гидродинамическое давление, совместное воздействие гидростатических и гидродинамических сил при расчетах устойчивости обводненных откосов.
37. учет порового давления и увеличения удельного веса пород при их увлажнении в расчетах устойчивости откосов.

38. Климатические факторы, оказывающие влияние на устойчивость откосов.

39. Виды деформаций массивов горных пород при открытой разработке месторождений.

40. Деформации откосов уступов и бортов карьера (осыпи, обрушения, оползни).

41. Оползни откосов уступов и бортов карьера (общая характеристика, динамика развития)

42. Оползни изотропных массивов, контактные оползни.

43. Покровные оползни, глубинные оползни.

44. Фильтрационные деформации массивов горных пород (механическая суффозия, оплывание откосов).

45. Фильтрационные деформации массивов горных пород (выпор, химическая суффозия).

46. Фильтрационные деформации массивов горных пород (просадки, эрозия откосов).

47. Виды деформаций отвалов.

48. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физические свойства (влажность и плотность).

49. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физические свойства (водопроницаемость и морозостойкость).

50. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-химические свойства (растворимость и пластичность).

51. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-химические свойства (консистенция и набухаемость).

52. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-химические свойства (размокаемость, размягчаемость, размываемость).

53. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-механические свойства (деформационные для пород с жесткими связями).

54. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-механические свойства (деформационные для мягких связных и раздельнозернистых пород).



55. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-механические свойства (консолидация, просадочность и сжимаемость песчаных пород).

56. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-механические свойства (прочностные для пород с жесткими связями).

57. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-механические свойства (прочностные для мягких связных и раздельнозернистых пород).

58. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Физико-механические свойства (общая характеристика).

59. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Реологические свойства (ползучесть пород).

60. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве. Реологические свойства (длительная прочность).

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин, А. М. Геомеханика открытых горных работ: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Горное дело». – М. Горная книга, 2012. – 480 с.

2. Воронков, В.Ф. Геомеханика открытых горных работ: учеб. пособие [электронный ресурс] для студ. спец. 130403 / В. Ф. Воронков; КузГТУ. – Кемерово, 2011. – 61 с.  
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90625&type=utchposob:common>

3. Бахаева, С. П. Расчет устойчивости откосов при открытой геотехнологии: учеб. пособие [электронный ресурс] / С. П. Бахаева; КузГТУ. – Кемерово, 2011. – 158 с.  
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90548&type=utchposob:common>

4. Астафьев, Ю. П. Управление состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов / Ю. П. Астафьев, Р. В. Попов, Ю. М. Николашин. – Киев; Донецк: Высшая школа, 1986. – 272 с.

5. Галустьян, Э. Л. Геомеханика открытых горных работ: Справочное пособие. – М.: Недра, 1992. – 271 с.

6. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.1998 / М-во топлива и

энергетики РФ, РАН, Гос. науч.-исслед. ин-т горн. геомеханики и маркшейд. дела, Межотрасл. науч. центр ВНИМИ, 1998. – 208 с.

7. Штумпф, Г. Г. Геомеханика: учеб. пособие / Г. Г. Штумпф; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово: КузГТУ, 2000. – 115 с.

8. Геомеханика [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов по направлению "Горное дело" / П. В. Егоров [и др.]; ГОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т". – Кемерово, 2002. – 339 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90265&type=utchposob:common>

9. Зубков, А. В. Геомеханика и геотехнология / РАН, Урал. отд-ние, Ин-т горн. дела. – Екатеринбург, 2001. – 335 с.

10. Демин, А. М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз: / РАН, Всерос. ин-т науч. и техн. информации. – М.: ГЕОС, 2009. – 79 с.

11. Воронков, В. Ф. Свойства, определяющие поведение горных пород в массиве: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Геомеханика» для студентов спец. 130403 «Открытые горные работы» очной формы обучения. – Кемерово, 2012. – 21 с.