

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Горные работы»

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ
И ОТВАЛОВ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-51 02 01
«Разработка месторождений полезных ископаемых»
специализации 1-51 02 01-01 «Открытые горные работы»

М и н с к 2 0 0 5

УДК 622.271.333 (076.5)

ББК 33.22я7

У 81

Составитель С.Г. Оника

Рецензенты:

Ф.Г. Халявкин, А.А. Кологривко

В издании изложены методы исследования устойчивости бортов карьеров и отвалов, рассмотрены примеры практического выполнения работ.

ISBN 985-479-143-2

© Оника С.Г.
составление, 2005

ВВЕДЕНИЕ

Развитие открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых обуславливает дальнейшее увеличение глубины горных работ, ухудшение гидрогеологических условий. С ростом глубины карьеров увеличивается площадь обнажения горных пород, а следовательно и опасность деформации бортов. Негативное влияние на устойчивость оказывает также повышенная обводненность горных пород. Поэтому обеспечение устойчивости бортов карьеров является одним из основных вопросов при открытом способе разработки.

Целью изучения дисциплины "Устойчивость бортов карьеров и отвалов" является освоение студентами теоретических основ и практических навыков принятия инженерных решений по прогнозированию, обеспечению и контролю устойчивости откосов. Одной из важнейших задач дисциплины является приобретение будущими специалистами знаний по методам расчета устойчивости бортов и откосов выработок и инженерных сооружений. Выполнение приведенных в издании лабораторных работ будет способствовать усвоению и закреплению приобретенных знаний.

Разнообразие горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых предопределяет применение различных методов исследования устойчивости, что отражается в тематике лабораторных работ. Исследуется влияние веса потенциально неустойчивых частей массива горных пород, внешних статических и динамических нагрузок, принимаются решения о конструкции борта карьера.

Надежное прогнозирование устойчивости откосов уступов и бортов карьеров позволит разрабатывать мероприятия по предотвращению опасных деформаций, повышению полноты извлечения запасов полезных ископаемых из недр, сокращению объема вскрышных пород и площадей земель, изымаемых из оборота.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ПО МЕТОДУ СОКОЛОВСКОГО – СЕНКОВА

1.1. Постановка задачи. Исходные данные

Исследовать форму поверхности равнопрочного откоса высотой $H = 14$ м, сложенного суглинком.

Исходные данные по вариантам приведены в табл. 1.1, где γ – объемный вес грунта; ϕ – угол внутреннего трения; c – сцепление.

Т а б л и ц а 1.1

№ варианта	Вид грунта	γ , т/м ³	ϕ , град	c , т/м ²
1	Суглинок	2,00	18	1,5
2		2,00	17	1,5
3		2,00	16	1,5
4		2,00	20	1,5
5		2,00	25	1,5
6		2,00	28	1,5
7		2,00	18	1,8
8		2,00	18	1,4
9		2,00	18	1,6
10		2,00	18	1,7
11		1,90	18	1,8
12		1,70	18	1,9

1.2. Краткие теоретические сведения

Расчет координат устойчивого откоса производится в следующей очередности:

1. Определяется постоянная величина:

$$a = \frac{2c(1 + \sin\varphi)}{\gamma(1 - \sin\varphi)},$$

где c – сцепление, т/м²;

γ – объемный вес, т/м³;

φ – угол внутреннего трения, град.

2. Задают прямоугольную систему координат (z, y) . В начале координат (точке O) находится верхняя бровка уступа (z – вертикальная ось; y – горизонтальная).

3. Последовательно задаются координатами откоса y_i через произвольный интервал и вычисляется относительная координата m_i :

$$m_i = \frac{y_i}{a}.$$

4. Соответственно каждой условной координате m_i вычисляется значение переменной ε_i :

$$\varepsilon_i = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{e^{m_i}}.$$

5. Определяется координата z_i :

$$z_i = -a\varepsilon_i - y_i \operatorname{tg}\varphi.$$

Вычисленные значения заносятся в табл. 1.2 и по её значениям строится график (рис. 1.1).

1.3. Пример выполнения работы

Исходные данные:

– объёмный вес $\gamma = 1,93$ т/м³;

– угол внутреннего трения $\varphi = 17^\circ$;

– сцепление $c = 1,9$ т/м²;

- высота уступа $H = 14$ м;
- вид грунта – суглинок.

Решение. Определяем постоянную величину a :

$$a = \frac{2 \cdot 1,9(1 + \sin 17^\circ)}{1,93(1 - \sin 17^\circ)} = 3,65 .$$

Задаем прямоугольную систему координат. В точке O находится верхняя бровка уступа.

Последовательно задаём координаты y_i через произвольный интервал и вычисляем относительную координату m_i .

Соответственно каждой условной координате m_i вычисляем значение переменной ε_i .

Определяем координату z_i . Результаты расчетов заносим в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

$y_{i,м}$	a	m_i	ε_i	$a \varepsilon_i$	$\text{tg } \varphi$	$y_i \text{tg } \varphi$	z_i
1	3,6	0,28	0,80	2,880	0,306	0,31	-3,19
2		0,56	1,00	3,600		0,61	-4,21
3		0,83	1,15	4,140		0,918	-5,058
4		0,11	1,25	4,500		1,22	-5,72
6		1,67	1,35	4,850		1,84	-6,69
8		2,22	1,47	5,300		2,45	-7,75
10		2,78	1,50	5,400		3,06	-8,46
12		3,36	1,53	5,460		3,67	-9,13
14		3,89	1,55	5,570		4,28	-9,85
24		6,67	1,55	5,570		7,35	-12,2

По данным расчетов строим график (рис. 1.1).

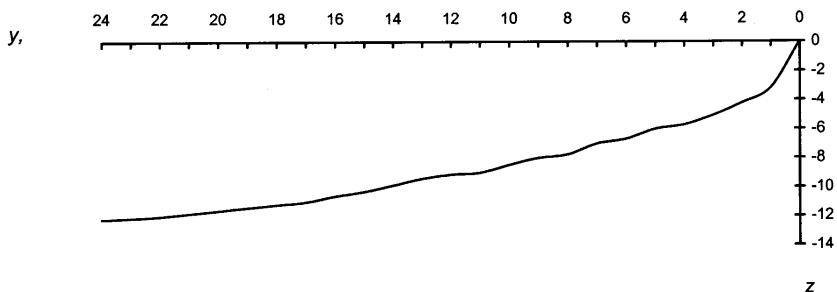


Рис. 1.1.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПО МЕТОДУ СОКОЛОВСКОГО – ГОЛОВАНОВА

2.1. Постановка задачи. Исходные данные

Исследовать форму поверхности равнопрочного откоса высотой $H = 20$ м в глинистом грунте по методу Соколовского – Голованова. Установлено, что грунт имеет угол внутреннего трения φ , общее сцепление c , объемный вес γ . Минимальный коэффициент запаса $k_{\text{зап}} = 1,25$.

Исходные данные по вариантам приведены в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Вариан-ты	Литологические наименования горных пород	Объемный вес, т/м ³	Сцепление, т/м ²	Угол внутреннего трения, град
1	2	3	4	5
1	Глина брекчиевидная	2,19	7,6	28
2	Глина бокситовидная	2,20	4,1	27
3	Глина опоковидная	1,64	1,55	23
4	Глина песчаная	2,02	1,25	18-28

1	2	3	4	5
5	Глина пестроцветная	1,96	1,5	14-18
6	Глина коры выветривания	1,94	1,0	15-17
7	Глина плотная пылеватая	1,96	1,75	9-15
8	Глина плотная лигнитовая	1,99	1,75	13
9	Глина жирная	1,91	5	9
10	Глина плотная	1,98	3,5	16-25

2.2. Краткие теоретические сведения

Исходными данными для расчетов устойчивого откоса по данному методу являются:

H – высота откоса, м;

φ' – угол внутреннего трения, град;

c' – сцепление, т/м²;

γ – объемный вес, т/м³;

K_3 – коэффициент запаса устойчивости.

Расчеты производятся в следующей очередности.

Определяется величина угла внутреннего трения (φ) и сцепления (c) с учетом коэффициента запаса

$$\varphi = \frac{\varphi'}{K_3}, \quad c = \frac{c'}{K_3}.$$

Определяется высота участка откоса, который будет устойчив при угле откоса 90°:

$$H_0 = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{\gamma(1 - \sin \varphi)}.$$

Подсчитывается значение коэффициента A_0 :

$$A_0 = \frac{(1 + 2 \cdot \sin \varphi) \cdot c \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{\gamma \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \cdot (1 - \sin \varphi)} \cdot \left(e^{(\pi - 2 \cdot \varphi) \cdot \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right).$$

Задаются значениями переменной ω в интервале от 0-30 и вычисляется соответствующее значение переменной ν :

$$\nu = A_0 \cdot \varphi - A_0 \cdot \arccos \left(e^{-\frac{\omega}{A}} \cdot \cos \varphi \right).$$

Определяются координаты устойчивого откоса:

$$x = (\nu - \omega \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos^2 \varphi ; \quad y = (\omega + \nu \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \cos^2 \varphi .$$

По результатам расчетов строится профиль устойчивого откоса (рис. 2.1).

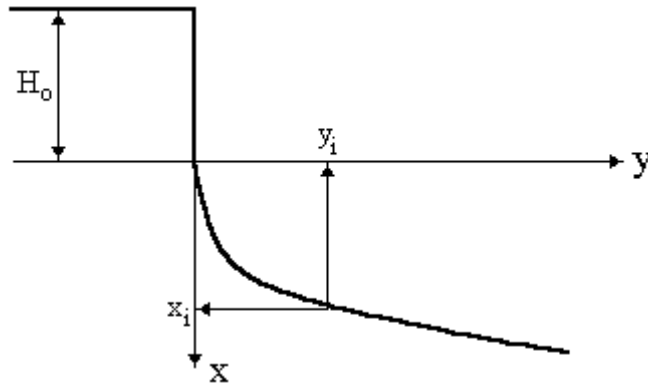


Рис. 2.1

2.3. Пример выполнения работы

Рассчитать откос по методу Соколовского – Голованова при следующих исходных данных:

- высота откоса $H = 10$ м;
- угол внутреннего трения $\varphi' = 26^\circ$;
- сцепление $c' = 2,37$ т/м;
- объемный вес $\gamma = 1,93$ т/м³;
- коэффициент запаса устойчивости, $K_3 = 1,25$.

Решение. Определяем величину угла внутреннего трения (φ) и сцепления (c) с учетом коэффициента запаса K_3 :

$$\varphi = 26^\circ / 1,25 = 21^\circ;$$

$$c = 2,37 / 1,25 = 1,896 \text{ т/м}^2.$$

Определяем высоту участка откоса, который будет устойчив при угле откоса 90° :

$$H_0 = \frac{2 \cdot 1,896 \cdot \cos 21^\circ}{1,93 \cdot (1 - \sin 21^\circ)} = 2,65 \text{ м.}$$

Подсчитываем значение коэффициента A_0 :

$$A_0 = \frac{(1 + 2 \cdot \sin 21^\circ) \cdot 1,896 \cdot \operatorname{ctg} 21^\circ}{1,93 \cdot \left(\frac{\pi}{2} - 21^\circ\right) \cdot (1 - \sin 21^\circ)} \cdot \left(e^{(\pi - 2 \cdot 21^\circ) \cdot \operatorname{tg} 21^\circ} - 1\right) = 6,6.$$

Задаем значение переменной $\omega = 0, 1, 2, 4, 8, 16, 30$ и вычисляем соответствующие ей значения переменной ν (табл. 2.2). Определяем координаты устойчивого откоса.

Таблица 2.2

ω	v	x	y
0	-	-	-
1	-2,04	-2,14	0,34
2	-3,23	-3,51	0,92
4	-4,8	-5,5	2,31
8	-6,5	-8,16	5,5
16	-7,85	-11,65	12,42

Строим профиль устойчивого откоса (рис. 2.2).

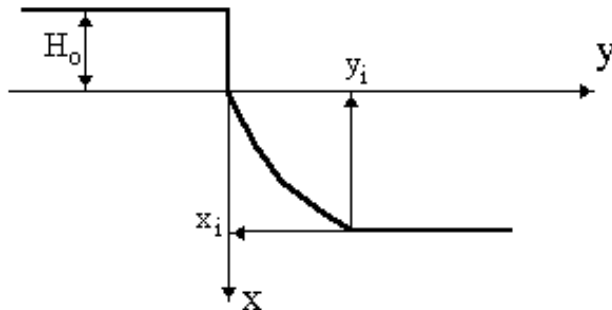


Рис. 2.2

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ПО МЕТОДУ СОКОЛОВСКОГО – ГОЛОВАНОВА ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ НА ВЕРХНЕЙ ПЛОЩАДКЕ ОТКОСА

3.1. Постановка задачи. Исходные данные

Исследовать форму поверхности равнопрочного откоса высотой H в слабом глинистом грунте при наличии на его поверхности равномерно распределенной нагрузки с давлением по подошве фунда-

мента P_0 . Установлено, что грунт имеет угол внутреннего трения φ' , общее сцепление c' и объемный вес γ . Минимальный коэффициент запаса принят K_3 .

Исходные данные для вариантов приведены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

Вариант	φ'	c' , т/м ²	γ , т/м ³	H , м	K_3	P_0 , т/м ²
1	21	2,37	1,93	10	1,25	12
2	17	1,9	1,8	14	1,25	12
3	20	1,9	1,65	14	1,24	12
4	20	1,9	1,7	14	1,3	10
5	45	1,9	1,7	14	1,25	12
6	17	0,9	1,7	14	1,3	10
7	40	0,03	1,8	14	1,24	12
8	45	0,9	1,65	14	1,25	10
9	17	0,3	1,7	14	1,3	10
10	17	1,9	1,7	14	1,25	10

3.2. Краткие теоретические сведения

Расчетная схема задачи имеет вид (рис. 3.1)

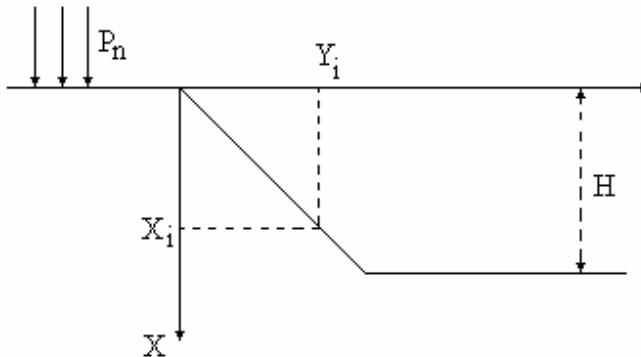


Рис. 3.1

Исходными данными для исследования являются:

- высота откоса H , м;
- угол внутреннего трения φ' °;
- сцепление c' , т/м³;
- объёмный вес γ , т/м³;
- коэффициент запаса K_3 ;
- нагрузка (внешняя) на поверхности P_0 .

Расчёт устойчивости откоса по методу Соколовского – Голованова производится в следующей очередности.

На первом этапе вычисляются сцепление и угол внутреннего трения с учётом коэффициента запаса, затем постоянные и переменные функции, значение которых определяют координаты x , y откоса.

Решение. Определяем значение сцепления c и угла внутреннего трения φ с учетом коэффициента запаса устойчивости K_3 :

$$c = \frac{c'}{K_3}; \quad \varphi = \frac{\varphi'}{K_3}.$$

Находим постоянные величины B , θ , P по формулам

$$B = \frac{\text{ctg} \varphi}{2} \ln \left[\left(\frac{P_0}{c \cdot \text{ctg} \varphi} + 1 \right) \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right];$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - B;$$

$$P = c \cdot \text{ctg} \varphi \left[\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{(\pi - 2\varphi) \text{tg} \varphi} - 1 \right].$$

Определяем значение коэффициента A по формуле

$$A = \frac{(1 + 2\sin\varphi)(P - P_0)}{\gamma(\theta - \varphi)(1 + \sin\varphi)}.$$

Задаёмся переменной ω и вычисляем соответственно переменную v :

$$v = A(B + \varphi) - A \cdot \arccos\left(\ell \frac{\omega}{A} \cdot \cos(B + \varphi)\right).$$

Для определения координат точек на поверхности равнопрочного откоса x и y используем формулы

$$x = (v - \omega \operatorname{tg}\varphi) \cos^2\varphi;$$

$$y = (\omega + v \operatorname{tg}\varphi) \cos^2\varphi.$$

3.3. Пример выполнения работы

Определить форму поверхности равнопрочного откоса высотой $H = 8$ м в слабом глинистом грунте при наличии на его поверхности равномерно распределенной нагрузки с давлением по подошве фундамента $P_0 = 20$ т/м². Установлено, что грунт имеет угол внутреннего трения $\varphi' = 18^\circ$, общее сцепление $c' = 5,21$ т/м² и объемный вес $\gamma = 2$ т/м³. Минимальный коэффициент запаса $K_3 = 1,3$.

Решение. Определяем значение φ и c с учетом принятого коэффициента запаса K_3 :

$$\varphi = \frac{\varphi'}{K_3} = \frac{18}{1,3} = 14^\circ; \quad c = \frac{c'}{K_3} = \frac{5,21}{1,3} = 4 \text{ т/м}^2.$$

Находим постоянные величины B , θ , P :

$$B = \frac{\operatorname{ctg}\varphi}{2} \ln \left[\left(\frac{P_0}{c \cdot \operatorname{ctg}\varphi} + 1 \right) \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \right];$$

$$B = \frac{\text{ctgl}4}{2} \ln \left[\left(\frac{20}{4\text{ctgl}4} + 1 \right) \frac{1 - \sin 4}{1 + \sin 4} \right] = 0,64;$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - B, \text{ при } B = 0,64 \quad \theta = \frac{3,14}{2} - 0,64 = 0,93;$$

$$P = c \cdot \text{ctg} \varphi \left[\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \ell^{(\pi - 2\varphi) \text{tg} \varphi} - 1 \right];$$

$$P = 34,8.$$

Определяем значение коэффициента A по формуле

$$A = \frac{(1 + 2\sin \varphi)(P - P_0)}{\gamma(\theta - \varphi) - (1 + \sin \varphi)};$$

$$A = 12,94.$$

Задаёмся переменной ω в интервале $0 \dots 20$.

Для определения координат точек на поверхности равнопрочного откоса x и y используем формулы

$$x = (\nu - \omega \text{tg} \varphi) \cos^2 \varphi;$$

$$y = (\omega + \nu \text{tg} \varphi) \cos^2 \varphi.$$

Значение ν в этих формулах определяется из выражения:

$$\nu = (B - \varphi) - A \arccos \left[\ell^{-\frac{\omega}{A}} \cos(B + \varphi) \right].$$

Результаты расчетов заносим в табл. 3.2.

Таблица 3.2

ω	v	x	y
0	0	0	0
1	0,66	0,86	0,79
2	1,27	1,66	1,58
4	2,45	3,24	3,18
6	3,36	4,54	4,86
8	4,25	5,87	6,52
10	4,87	6,93	8,37
12	5,67	8,15	9,95
20	6,97	11,25	17,15

По результатам расчетов строим профиль равноустойчивого откоса (рис. 3.2).

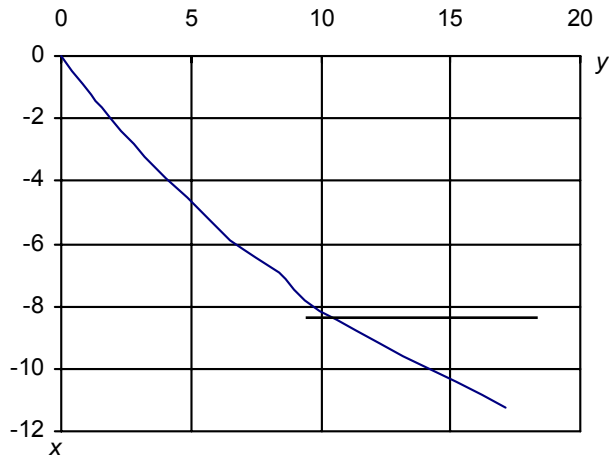


Рис. 3.2

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА НА ОСНОВЕ F_p -МЕТОДА ДЛЯ ОДНОРОДНЫХ ПОРОД

4.1. Постановка задачи. Исходные данные

Определить устойчивые углы откосов для нерабочего борта карьера с использованием модели равнопрочного откоса при следующих исходных данных: H – глубина карьера; h – высота уступа; γ – объёмный вес; φ – угол внутреннего трения; c – сцепление.

Т а б л и ц а 4.1

Варианты	Горная порода	H , м	h , м	γ , т/м ³	φ , град	c , т/м ²
1	Песок	30	10	1,4	30	0,2
2		30	10	1,6	28	0,5
3		30	10	1,7	31	1
4		15	5	1,4	30	2
5		15	5	1,6	28	3
6	Глина	30	10	1,8	15	0,5
7		30	10	1,7	28	5
8		30	10	1,65	40	10
9		15	5	1,7	30	12
10		15	5	1,6	35	12

4.2. Краткие теоретические сведения

Коэффициент сопротивления сдвигу F_p :

$$F_p = \operatorname{tg}\varphi + c / P_n, \quad (4.1)$$

где φ – угол внутреннего трения;

c – сцепление;

P_n – нагрузка, равная для горизонта, залегающего на глубине z :

$$P_n = \gamma z, \text{ т/м}^2. \quad (4.2)$$

Здесь γ – объемный вес породы, т/м^3 ;
 z – высота столба грунта, м.

Установив величину F_p , мы этим определяем тангенс угла сопротивления породы сдвигу при запасе устойчивости $n = 1$, т.е.

$$\text{tg}\varphi_p = F_p. \quad (4.3)$$

Если же построить угол наклона борта карьера исходя из выражения

$$\text{tg}\alpha = \text{tg}\varphi_p / n, \quad (4.4)$$

то получим этот борт с коэффициентом запаса устойчивости n .

4.3. Пример выполнения работы

Необходимо определить угол наклона борта карьера, сложенного однородной породой, с параметрами: глубина карьера $H = 30$ м, объемный вес породы $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$ и сцепление $c = 12 \text{ т/м}^2$. Коэффициент запаса прочности n принимаем равным 1,2.

Решение. Разделяем откос по высоте на три зоны, исходя из высоты уступа 10 м.

Находим для глубины $z_3 = H$ по выражению (4.2) величину нагрузки на склон горной породы:

$$P_{n_3} = \gamma z_3 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ т/м}^2.$$

Подсчитываем по формуле (4.1) коэффициент сопротивления сдвигу:

$$F_{p_3} = \text{tg}\varphi + c / P_{n_3} = \text{tg}30 + 12 / 60 = 0,78.$$

Определяем величину устойчивого угла борта карьера:

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = F_{p_3} / n = 0,78 / 1,2 = 0,65.$$

Аналогичные подсчеты производим для каждого горизонта.

Определив значения α_1 , α_2 , и α_3 , строим устойчивый борт карьера (рис. 4.1).

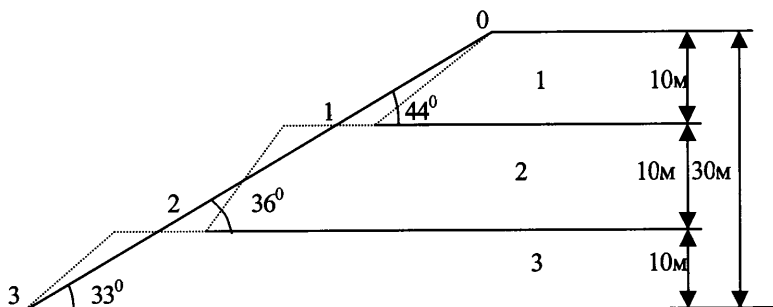


Рис. 4.1

Расчеты углов откоса борта карьера при однородной породе записываем в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2

Горизонт (сверху вниз)	z , м	γ , т/м ³	$P_n = \gamma z$, т/м ²	c , т/м ²	c/P_n	φ°	$\operatorname{tg} \varphi$	$F_p = \operatorname{tg} \varphi + c/P_n$	N	$\operatorname{tg} \alpha_3 = F_p / n$	α° (округленно)
1	10	2	20	12	0,6	30	0,58	1,18	1,2	0,98	44
2	20	2	40	12	0,3	30	0,58	0,88	1,2	0,73	36
3	30	2	60	12	0,2	30	0,58	0,78	1,2	0,65	33

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА НА ОСНОВЕ F_p -МЕТОДА ДЛЯ РАЗНОРОДНЫХ ПОРОД

5.1. Постановка задачи. Исходные данные

Определить устойчивые углы откосов для нерабочего борта карьера с использованием модели равнопрочного откоса для неоднородных пород при следующих исходных данных: глубина карьера H , высота уступа (мощность слоя) h_i , объёмный вес по разновидности γ_i , угол внутреннего трения ϕ_i , сцепление c_i .

Исходные данные по вариантам (табл. 5.1).

Т а б л и ц а 5.1

№ п/п	Мощность слоя песка, м	Мощность слоя глин, м	h_i , м	H , м	γ , т/м ³	ϕ , град	c , т/м ²
1	5	-	5	10	1,6	25	0,05
	-	5	5		1,8	15	0,03
2	10	-	10	20	1,6	26	0,1
	-	10	10		1,8	15	0,03
3	20	-	10	40	1,6	27	0,15
	-	20	10		1,7	28	0,3
4	20	-	10	50	1,6	28	0,2
	-	30	10		1,7	28	0,3
5	10	-	10	30	1,8	25	0,1
	-	20	10		1,65	40	0,9
6	20	-	10	30	1,8	30	0,2
	-	10	10		1,65	40	0,9

5.2. Краткие теоретические сведения

(см. лабораторную работу № 4).

5.3. Пример выполнения работы

Борт карьера складывается из четырёх слоёв породы с характеристиками, приведёнными в табл. 5.2. Принимая $n = 1,3$, устанавливаем значение углов откосов этих слоёв. Исходные данные для расчёта углов откоса приведены в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5.2

Слои	Вертикальная мощность h , м	Объёмный вес γ , т/м ³	Угол трения φ °	Сила сцепления c , т/м ²
1	3,75	1,5	40	0,3
2	6,52	2	45	8
3	11,25	2,4	40	30
4	15	2,2	35	18

Прежде всего определяем величины расчётных средневзвешенных объёмных весов $\gamma_{\text{расч}}$ для каждого слоя:

для первого слоя

$$\gamma_{\text{расч1}} = \frac{0 + \gamma_1 \cdot h_1}{h_1};$$

для второго слоя

$$\gamma_{\text{расч2}} = \frac{\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2}$$

и т.д.

Результаты расчёта средневзвешенного объёмного веса запишем в табл. 5.3.

Т а б л и ц а 5.3

Слои	H , м	γ , т/м ³	$\gamma_{\text{расч}}$
1	3,75	1,5	1,5
2	6,25	2,0	1,8
3	11,25	2,4	2,1
4	15	2,0	2,15

Затем последовательно подсчитываем P_n , F_p и α для каждого слоя и данные занесем в табл. 5.4.

Т а б л и ц а 5.4

Слои	Но- ме- ра то- чек	$\gamma_{расч}$, т/м ³	Z, м	$P_n =$ $= \gamma z$	φ°	$\text{tg } \varphi$	c, т/м	$\frac{c}{P_n}$	$F_p =$ $= \text{tg} \varphi +$ $+\frac{c}{P_n}$	n	$\text{tg} \alpha =$ $= \frac{F_p}{n}$	α°
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1,5	3,75	5,6	40	0,84	0,3	0,05	0,89	1,3	0,68	34
2	2	1,8	10	18	45	1	8	0,44	1,44	1,3	1,1	48
3	3	2,1	21,25	45	40	0,84	30	0,67	1,51	1,3	1,16	49
4	4	2,15	36,25	78	35	0,7	18	0,23	0,93	1,3	0,72	36

По результатам расчётов строим устойчивый борт карьера (рис. 5.1).

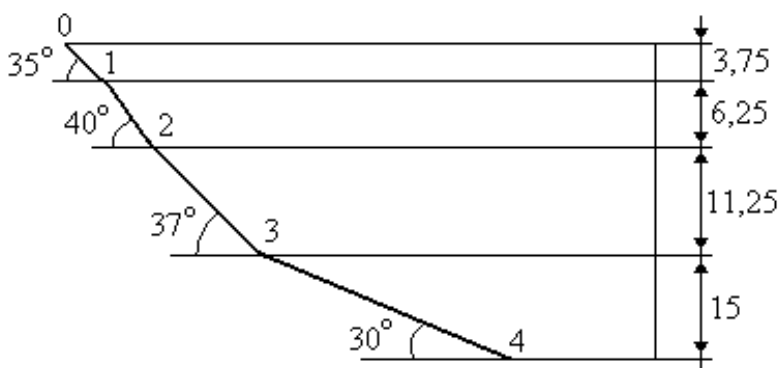


Рис. 5.1

ИССЛЕДОВАНИЕ КООРДИНАТ РАВНОПРОЧНОГО ОТКОСА НА ОСНОВЕ МЕТОДА Н. Н. МАСЛОВА

6.1. Постановка задачи. Исходные данные

Исследовать форму поверхности равнопрочного откоса. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 6.1, где H – высота откоса; φ – угол внутреннего трения; c – сцепление; γ – объемный вес.

Т а б л и ц а 6.1

N п/п	H , м	φ , град	c , т/м ²	γ , т/м ³	
1	10	32	0,9	1,98	Песок
2	12	32	0,8	1,98	
3	10	32	0,7	1,98	
4	13	32	0,9	1,98	
5	9	32	0,5	1,98	
6	13	30	0,17	1,98	Супесь
7	10	30	0,17	1,98	
8	12	34	0,17	1,98	
9	10	33	0,17	1,98	
10	11	34	0,17	1,98	

6.2. Краткие теоретические сведения

Расчет координат равнопрочного откоса по методу Маслова производится в следующей очередности:

Задаётся прямоугольная система координат y, z , начало которой совпадает с верхней бровкой уступа.

Задаётся координата z устойчивого откоса.

Вычисляется абсцисса равнопрочного откоса по формуле

$$y = 1 / \gamma \operatorname{tg}^2 \varphi (\operatorname{tg} \varphi \gamma z + c \ln c - c \ln (\operatorname{tg} \varphi \gamma z + c)),$$

где γ – объемный вес;
 φ – угол внутреннего трения;
 z_i – ордината устойчивого откоса;
 c – сцепление.

6.3. Пример выполнения работы

При строительстве земляного полотна необходимо определить допустимую крутизну откоса насыпи, возводимого из суглинка, если высота откоса составляет 13 м, $\varphi = 19^\circ$, $c = 3,2 \text{ т/м}^2$, $\gamma = 1,98 \text{ т/м}^3$.

Решение. Вычисляем абсциссу равноустойчивого откоса y по формуле

$$y = 1 / \gamma \operatorname{tg}^2 \varphi (\operatorname{tg} \varphi \gamma z + c \ln c - c \ln (\operatorname{tg} \varphi \gamma z + c)),$$

Результаты сводим в табл. 6.2.

Т а б л и ц а 6.2

y	0	0,04	0,26	0,94	2	6,18	9,63	13,5	19,6
z	0	0,5	1	2	3	6	8	10	13

По результатам расчетов строим профиль устойчивого откоса в координатах z, y (рис. 6.1).

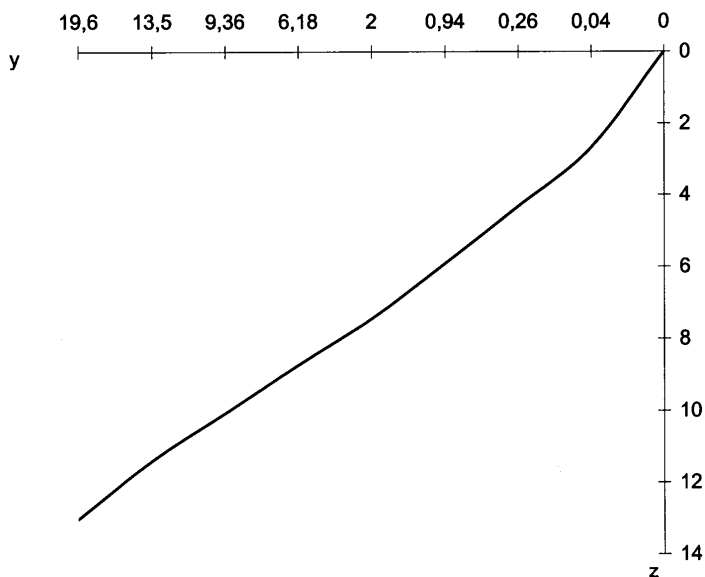


Рис. 6.1

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ МАССИВА ГРУНТА И ФОРМЫ РАВНОУСТОЙЧИВОГО ОТКОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ

7.1. Постановка задачи. Исходные данные

Исследовать максимальное давление на горизонтальную поверхность массива грунта и определить форму равноустойчивого откоса. Исходные данные по вариантам представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Варианты	φ°	α°	$\gamma, \text{т/м}^3$	$c, \text{т/м}^2$
1	20	30	1,4	0,08
2	20	30	1,45	0,1
3	20	30	1,5	0,13
4	20	30	1,55	0,17
5	20	30	1,6	0,2
6	30	30	1,65	0,25
7	30	30	1,67	0,27
8	30	30	1,69	0,3
9	30	30	1,71	0,33
10	30	30	1,74	0,36

7.2. Краткие теоретические сведения

Определение максимального предельного давления производится по формуле:

$$P_{\text{пред}} = \bar{\sigma} \cdot c + P_e$$

где $\bar{\sigma}$ – значение безразмерного предельного давления, принимаемое по специальной таблице в зависимости от угла внутреннего трения и угла откоса, а также относительной ординаты y ;

c – сцепление, т/м^2 ;

P_e – давление связности, т/м^2 ;

$$P_e = c \cdot \text{ctg}\varphi,$$

где φ – угол внутреннего трения, град.

Расчетная схема задачи изображена на рис 7.1.

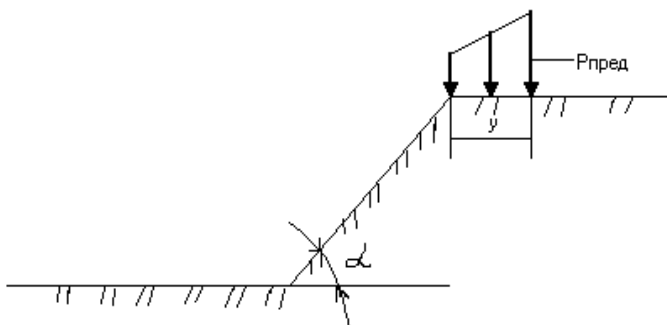


Рис. 7.1

Значение безразмерного предельного давления $\bar{\sigma}$, которое мы принимаем по специальной таблице, является функцией угла откоса, угла внутреннего трения φ и относительного расстояния y :

$$\bar{\sigma} = f(\alpha, y, \varphi)$$

Относительная координата \bar{y} связана с абсолютной координатой y соотношением

$$y = \bar{y} \left(\frac{c}{\gamma} \right),$$

где γ – объемный вес, т/м³.

Форма равноустойчивого откоса, полученного в результате численного решения дифференциальных уравнений с помощью ЭВМ, приведена на рис. 7.2.

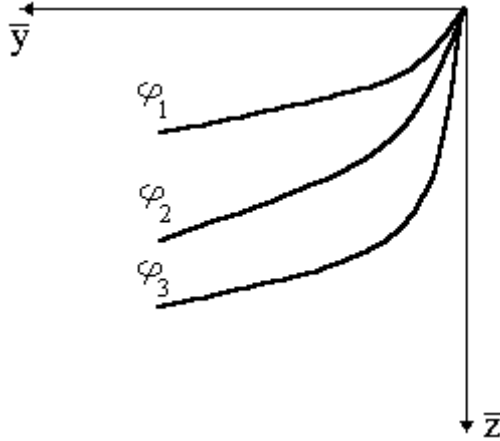


Рис. 7.2

Переход от относительных координат к абсолютным производится по формулам:

$$z = \bar{z} \left(\frac{c}{\gamma} \right), \quad y = \bar{y} \left(\frac{c}{\gamma} \right). \quad (7.1)$$

7.3. Пример выполнения работы

Задание 1. Определить величину предельной нагрузки для данного откоса на верхней площадке если известны:

- угол внутреннего трения $\varphi = 40^\circ$;
- угол откоса уступа $\alpha = 30^\circ$;
- объемный вес $\gamma = 1,6 \text{ т/м}^3$;
- сцепление $c = 1,8 \text{ т/м}^2$;
- абсолютная ордината точки приложения нагрузки $y = 3 \text{ м}$.

$$P_{\text{пред}} = \bar{\sigma} \cdot c + P_e ;$$

$$P_e = c \cdot \text{ctg}\varphi = 1,8 \cdot \text{ctg}40 = 2,14.$$

Из приложения 1 принимаем значение $\bar{\sigma}$, равное 79,98.

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{пред}} &= 79,98 \cdot 1,8 + 2,14 = 146,104, \text{ т/м}^2; \\ \bar{y} &= y \left(\frac{\gamma}{c} \right) = 3 \cdot \left(\frac{1,6}{1,8} \right) = 2,67. \end{aligned} \right\} (7.2)$$

Задание 2. Определить очертания устойчивого откоса, используя результаты численного решения дифференциальных уравнений Соколовского, представленные на графике (прил. 2) при следующих исходных данных:

$$\varphi = 40^\circ;$$

$$c = 1,8 \text{ т/м}^2;$$

$$\gamma = 1,6 \text{ т/м}^3.$$

По графику (см. прил.2) определяем относительные координаты \bar{y} и \bar{z} и по формулам (7.1) переходим к абсолютным их значениям.

Результаты заносим в табл. 7.2.

Т а б л и ц а 7.2

\bar{y}	y	\bar{z}	z
1	1,125	4	4,5
4	4,5	10	11,25
8	9	15	16,875
16	18	25	28,125
24	27	34	38,25
32	36	41	46,13

Строим очертания устойчивого откоса (рис. 7.3).

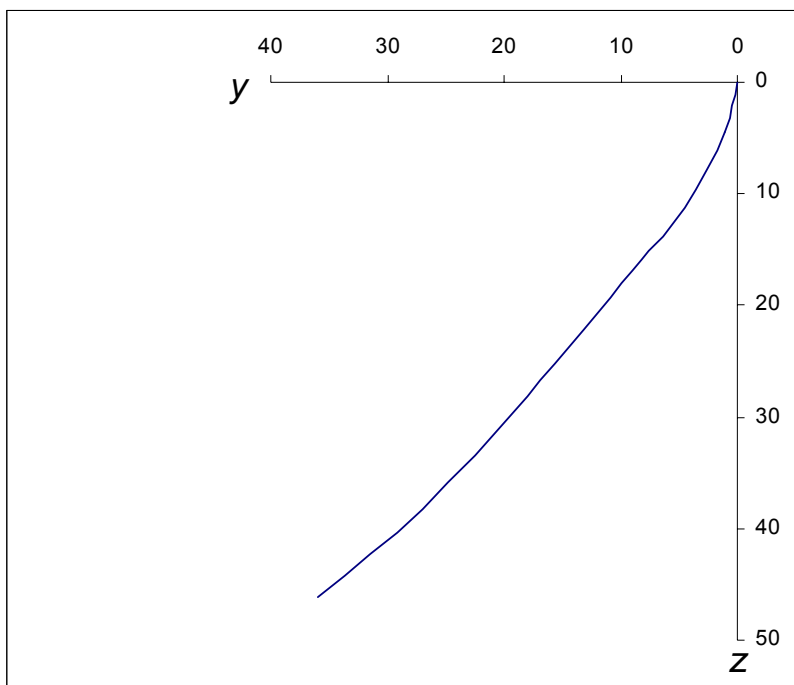


Рис. 7.3

Лабораторная работа № 8

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ПРИ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ. МОДЕЛЬ П.М. ЦИМБАРЕВИЧА

8.1. Постановка задачи. Исходные данные

Определить допустимую высоту откоса при следующих исходных данных (табл. 8.1).

Т а б л и ц а 8.1

Варианта	Исходные данные				
	c , т/м ²	γ , т/м ³	φ , град	α , град	
1	350	2,64	20	40	30
2	220	2,70	20	40	30
3	140	2,44	20	40	30
4	170	2,67	20	40	30
5	50	2,53	20	40	30
6	28	1,26	20	40	30
7	13,6	2,12	20	40	30
8	3,2	2,07	20	40	30
9	1,39	2,0	20	40	30
10	1,2	2,12	20	40	30

c – сцепление;
 γ – объемный вес грунта;
 φ – угол внутреннего трения;
 α – угол откоса.

8.2. Краткие теоретические сведения

Модель Цимбаревича применяется при расчетах устойчивости откосов, сложенных однородными породами. Для упрощения расчетов П.М. Цимбаревич предложил считать поверхность скольжения плоской. Это позволило ему вывести аналитическую формулу для определения допустимой высоты откоса при заданном угле откоса:

$$H = \frac{2c \sin \alpha \cos \varphi}{\gamma \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}}$$

Метод Цимбаревича помогает решить и обратную задачу, т.е. при заданной высоте откоса определить допустимый угол откоса (α), что может быть достигнуто методом подбора величины α .

8.3. Пример выполнения работы

Исходные данные:

сцепление $c = 0,395 \text{ т/м}^2$;

угол внутреннего трения $\varphi = 37^\circ$;

объемный вес грунта $\gamma = 2,56 \text{ т/м}^3$.

Выполнить расчеты допустимой высоты уступа при углах откоса $\alpha = 40^\circ$; $\alpha = 30^\circ$.

Решение. При угле откоса $\alpha = 40^\circ$:

$$H = \frac{2c \sin \alpha \cos \varphi}{\gamma \sin^2 \frac{\alpha - \varphi}{2}} =$$
$$= \frac{2 \cdot 0,395 \cdot \sin 40^\circ \cdot \cos 37^\circ}{2,56 \cdot \sin^2 \frac{40^\circ - 37^\circ}{2}} = 5,37 \text{ м.}$$

При угле откоса $\alpha = 30^\circ$:

$$H = \frac{2 \cdot 0,395 \sin 30^\circ \cos 37^\circ}{2,56 \sin^2 \frac{30^\circ - 37^\circ}{2}} = 14,73 \text{ м.}$$

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА МЕТОДОМ КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ

9.1. Постановка задачи. Исходные данные

Определить коэффициент устойчивости откоса при следующих исходных данных (табл. 9.1):

c – сцепление, т/м²;
 φ – угол внутреннего трения, град;
 l – длина поверхности скольжения, м;
 G – вес каждого отсека, т;
 α – угол, образуемый радиус-вектором с вертикалью, град.

Т а б л и ц а 9.1

Ва-ри-ант	Порода	c , т/м ²	φ , град	l , м	G , т (по отсекам)	α (по отсекам), град.
1	Песчаник	1,1	35	12	7;18;30;4	55;30;-5;-15
2	Алевролит	0,6	31	25	15;13;8;3	60;40;0;-5
3	Аргиллит	0,8	29	19	10;15;20;6	40;25;-10;-20
4	Супесь	0,017	32	15	5;13;9;4	45;35;5;-10
5	Песок мелко-зернистый	0,025	31	13	13;15;8;5	50;35;-10;-15
6	Мел переотложенный	0,05	35	14	9;13;15;6	45;40;35;10
7	Глина жирная	0,05	9	17	12;20;25;8	52;35;10;0
8	Суглинок пылеватый	0,03	24	20	14;17;12;7	40;20;-5;-15
9	Глина плотная	0,25	20	21	15;19;21;9	35;25;10;-10
10	Песок тонко-зернистый	0,028	30	23	16;18;12;5	50;30;10;0

9.2. Краткие теоретические сведения

Для определения коэффициента устойчивости последовательно производят ряд следующих действий:

1. Из некоторого центра O_1 через нижнюю бровку проводят поверхность скольжения BDC , которая определяет контур призмы скольжения. Определение положения центра O_1 показано на рис. 9.1.

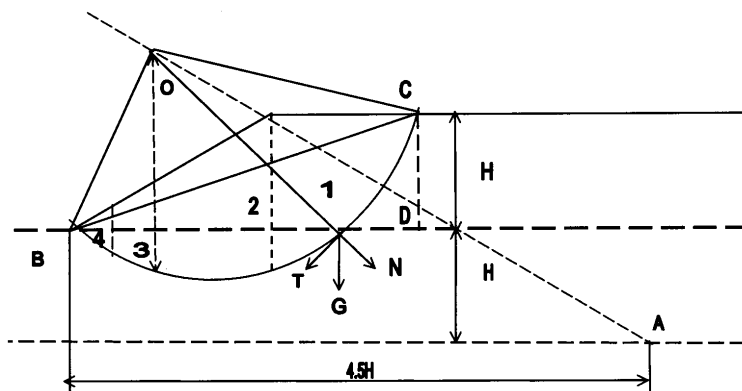


Рис. 9.1

2. Призму скольжения BDC разбивают на отсеки (блоки), а вес каждого последующего блока G_i раскладывают на нормальную N_i и касательную T_i составляющие. Местом их приложения будет точка пересечений средней линии отсека с поверхностью скольжения.

3. Обозначим через α_1 угол, образуемый радиус-вектором (в нашем случае OD) с вертикалью G_i .

4. Согласно рис. 9.1 $N_i = G_i \cos \alpha$; $T_i = G_i \sin \alpha$.

5. Коэффициент устойчивости определяют по формуле

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \operatorname{tg} \varphi + c \ell}{\sum_{i=1}^n T_i}.$$

9.3. Пример выполнения работы

Определить коэффициент устойчивости откоса при следующих данных:

сцепление – $2,1 \text{ т/м}^2$;

угол внутреннего трения – 15° ;

длина поверхности скольжения – $19,6 \text{ м}$;

веса откосов, т:

- 1 – 23,4 т;
- 2 – 44,1 т;
- 3 – 33,6 т;
- 4 – 12,9 т.

5) угол, образуемый радиус-вектором с вертикалью по отсекам:

- 1 – 55°;
- 2 – 28°;
- 3 – 9°
- 4 – (-9°).

Последовательность расчетов отражена в табл. 9.2.

Т а б л и ц а 9.2

Отсека	G_i , т	α_i	$\cos\alpha_i$	N_i , т	$N_i \operatorname{tg}\varphi$, т	$\sin\alpha_i$	T_i , т
1	23,4	55	0,574	13,4	3,7	0,819	19,7
2	44,1	28	0,883	39	10,7	0,469	20,7
3	33,6	9	0,988	33,2	9,2	0,156	5,2
4	12,9	-9	0,988	12,7	3,5	0,156	2,0

$$\sum N_i = 98,3; \quad \sum N_i \operatorname{tg}\varphi = 27,1; \quad \sum T_i = 43,6;$$

Определяем коэффициент запаса устойчивости:

$$K = \frac{27,1 + 41,2}{43,6} = 1,56.$$

Лабораторная работа № 10

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТАБЛИЦ ГОЛЬДШТЕЙНА**

10.1. Постановка задачи. Исходные данные

Задание 1. Определить коэффициент устойчивости откоса при условии, что поверхность скольжения проходит через нижнюю бровку откоса.

Исходные данные приведены в табл. 10.1.

Т а б л и ц а 10.1

№ п/п	Крутизна откоса, α	Поверхность скольжения, прохо- дящая через ниж- нюю бровку откоса		H, м	c , т/м ²	γ , т/м ³	φ , град
		A	B				
1	1:1,5	2,64	6,50	12	0,9	1,5	45
2	1:1,25	2,64	6,05	20	0,05	1,6	25
3	1:1	2,34	5,79	10	0,03	1,77	15
4	1:1,75	2,87	6,58	14	0,04	1,77	14
5	1:1	2,34	5,79	25	0,50	1,5	45

Задание 2. Определить коэффициент устойчивости откоса при условии, что поверхность скольжения проходит через основание на

глубине $E = \frac{1}{4} H$.

Исходные данные приведены в табл. 10.2.

Т а б л и ц а 10.2

№ п/п	Крутизна откоса, α	Поверхность скольжения, проходящая через нижнюю бровку откоса		H, м	c, т/м ²	γ , т/м ³	φ , град
		A	B				
1	1:1	2,56	6,10	10	2	1,5	20
2	1:1,25	2,66	6,32	15	0,05	1,6	25

Задание 3. Определить высоту откоса при заданной крутизне откоса. Поверхность скольжения проходит через основание на глубине E. Исходные данные приведены в табл. 10.3.

Т а б л и ц а 10.3

№ п/п	Крутизна откоса	Поверхность скольжения, проходящая через нижнюю бровку откоса		H, м	c, т/м ²	γ , т/м ³	φ , град
		A	B				
1	1:1	2,56	6,10	10	2	1,5	20
2	1:1,25	2,66	6,32	15	0,05	1,6	25

10.2. Краткие теоретические сведения

Расчеты по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения можно значительно ускорить, если воспользоваться специальными таблицами, разработанными М.Н.Гольдштейном. На основе расчётов, выполненных с использованием метода круглоцилиндрических поверхностей, им была установлена зависимость коэффициента устойчивости массива от определяющих параметров по следующей формуле:

$$k = A \operatorname{tg} \varphi + \frac{cB}{\gamma H},$$

где A и B – эмпирические коэффициенты, которые принимают по специальной таблице Гольдштейна;

$\text{tg } \varphi$ – коэффициент трения;

φ – угол внутреннего трения, град;

c – сцепление, т/м²;

γ – объёмный вес породы, т/м³;

H – высота откоса, м.

Используя табл. 10.4 (Гольдштейна), можно решить обратную задачу, позволяющую при заданном заложении (крутизна откоса) найти его высоту, при которой будет обеспечен принятый коэффициент устойчивости. Для этого уравнение Гольдштейна для коэффициента устойчивости решается относительно H по следующей формуле:

$$H = \frac{cB}{\gamma(k - A \text{tg} \varphi)}$$

Т а б л и ц а 10.4

Кру- тизна откоса	Поверхность скольжения, проходящая через ниж- нюю бровку откоса		Поверхность скольжения, проходящая через осно- вание на глубине E							
	A	B	$E = 1/4H$		$E = 1/2H$		$E = H$		$E = 1,5H$	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1:1	2,34	5,79	2,56	6,10	3,17	5,92	4,32	5,80	5,78	5,75
1:1,25	2,64	6,05	2,66	6,32	3,24	6,02	4,43	5,86	5,86	5,80
1:1,5	2,64	6,50	2,80	6,53	3,32	6,13	4,54	5,93	5,94	5,85
1:1,75	2,87	6,58	2,93	6,72	3,41	6,26	4,66	6,00	6,02	5,90
1:2	3,19	6,70	3,10	6,87	3,53	6,40	4,78	6,08	6,10	5,95
1:2,25	3,23	7,27	3,26	7,23	3,56	6,56	4,90	6,16	6,18	5,98
1:2,5	3,53	7,30	3,46	7,62	3,82	6,74	5,03	6,26	6,26	6,02
1:2,75	3,59	8,02	3,68	8,0	4,04	6,95	5,17	6,36	6,34	6,05
1:3	3,59	8,81	3,93	8,40	4,24	7,20	5,31	6,47	6,44	6,09

10.3. Пример выполнения работы

Задание 1. Определить коэффициент устойчивости откоса высотой 15 м, угол внутреннего трения 40° сцепление $1,5 \text{ т/м}^2$, объёмный вес породы $1,2 \text{ т/м}^3$. Поверхность откоса проходит через нижнюю бровку откоса. Угол откоса задан её крутизной 1:1,25.

Исходные данные приведены в табл. 10.5.

Т а б л и ц а 10.5

№ п/п	Крутизна откоса, α	Поверхность скольжения, проходящая через нижнюю бровку откоса		H , м	c , т/м^2	γ , т/м^3	φ , град
		А	В				
1	1:1,25	2,64	6,05	15	1,5	1,2	40

Очередность выполнения работы следующая

Определяется коэффициент устойчивости откоса по формуле

$$k = A \operatorname{tg} \varphi + \frac{cB}{\gamma H}.$$

Подставив в формулу исходные данные, получим:

$$k = 2,64 \operatorname{tg} 40 + \frac{1,5 \cdot 6,05}{1,2 \cdot 15} = 2,22 + 0,5 = 2,72.$$

Таким образом, $k = 2,72$.

Аналогично заданию 1 выполняются задания 2 и 3.

Лабораторная работа № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСА

11.1. Постановка задачи. Исходные данные

Определить коэффициент устойчивости откоса с учетом взрывных нагрузок при следующих исходных данных (Табл. 11.1).

Т а б л и ц а 11.1

Вариант	Порода	c , т/м ²	φ , град	l , м	G , т (по отсекам)	α , (по отсе- кам), град	K_c
1	Песчаник	11	35	120	7;18;30;4	55;30;-5;-15	0,75
2	Алевролит	6	31	250	15;13;8;3	60;40;0;-5	0,5
3	Аргиллит	8	29	190	10;15;20;6	40;25;-10;-20	0,6
4	Супесь	0,17	32	150	5;13;9;4	45;35;5;-10	0,65
5	Песок мелко- зернистый	0,25	31	130	13;15;8;5	50;35;-10;-15	0,8
6	Мел переот- ложенный	0,5	35	140	9;13;15;6	45;40;35;10	0,7
7	Глина жирная	0,5	9	170	12;20;25;8	52;35;10;0	0,67
8	Суглинок пы- леватый	0,3	24	200	14;17;12;7	40;20;-5;-15	0,48
9	Глина плотная	2,5	20	210	15;19;21;9	35;25;10;-10	0,58
10	Песок тонко- зернистый	0,28	30	230	16;18;12;5	50;30;10;0	0,73

11.2. Краткие теоретические сведения

В процессе производства горных работ откосы уступов и бортов карьеров помимо нагрузки от собственного веса испытывают и другие нагрузки, в частности от производства взрывных работ, гидростатическое давление и другие, требующие учёта.

В большинстве случаев наличие дополнительных нагрузок приводит к уменьшению нормальной и увеличению касательной составляющей веса призмы возможного обрушения и тем самым ухудшает коэффициент устойчивости. Величина дополнительных нагрузок имеет существенное значение для откосов отдельных ус-

тупов и значительно меньшее значение для борта в целом, так как вес потенциальной призмы обрушения в этом случае в 10-100 раз (на 1-2 порядка) больше дополнительных нагрузок.

Учёт влияния взрывных нагрузок на устойчивость откоса производится с помощью коэффициента сейсмичности. Коэффициентом сейсмичности называют отношение ускорения колебаний (j), вызываемых взрывом или природным землетрясением, к ускорению свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

$$K_c = \frac{j}{g}.$$

Коэффициент устойчивости откоса с учётом действия взрывных нагрузок или колебаний, вызванных природными землетрясениями, определяется по формуле

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n G_i (\cos\alpha_i - K_c \sin\alpha_i) \operatorname{tg}\varphi + cl + \sum_{i=1}^n G_{i,\text{уд}} \sin\alpha_i}{\sum_{i=1}^n G_{i,\text{сдв}} \sin\alpha_i + \sum_{i=1}^n G_i \cos\alpha_i K_c},$$

где G_i – вес отсека;

α_i – угол, который образует касательная к поверхности скольжения элементарного блока (отсека) с горизонтальной плоскостью;

K_c – коэффициент сейсмичности;

c – сцепление;

ℓ – длина поверхности скольжения;

φ – угол внутреннего трения.

Если сейсморегистрирующими приборами записывается не ускорение, а скорость смещения массива, то ускорение колебаний $j = 2\pi f v$ и соответственно коэффициент сейсмичности

$$K_c = \frac{2\pi f v}{g}.$$

где f – преобладающая частота колебаний, c^{-1} ;

v – скорость смещения массива, м/с;

g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

π – математическая постоянная ($\pi = 3,14$).

Исследователями Горного бюро США установлены значения ускорений, при которых происходит повреждение объектов (табл. 11.2).

Т а б л и ц а 11.2

j	Последствия сотрясений	Характеристика сотрясений	Скорость смещения, см/с	Баллы
(0,01-0,1)g	Лёгкие предметы дребезжат и вибрируют	Очень лёгкое	0,8-1,5	4
(0,1-0,5)g	Предметы дрожат, люстра раскачивается, летит пыль, появляются мелкие трещины	Лёгкое	1,5-3	5
(0,5-1,0)g	Отдельные предметы дребезжат, появляются большие трещины	Среднее	3-6	6
(1,0-1,5)g	Предметы падают, осыпается штукатурка	Сильное	6-12	7
(1,5-2,0)g	Тонкие трещины в кладке, окна разбиваются	Очень сильное	12-24	8

11.3. Пример выполнения работы

Исходные данные:

$$c = 0,09 \text{ т/м}^2;$$

$$\varphi = 29^\circ;$$

$$\ell = 145 \text{ м};$$

$$K_c = 0,76.$$

Данные по отсекам: $G_1 = 7,1 \text{ т}; G_2 = 17,6 \text{ т}; G_3 = 29,2 \text{ т}; G_4 = 3,4 \text{ т};$

$$\alpha_1 = 57^\circ; \alpha_2 = 30^\circ; \alpha_3 = -5^\circ; \alpha_4 = -15^\circ$$

Решение. Расчетная схема задачи имеет вид (рис. 11.1).

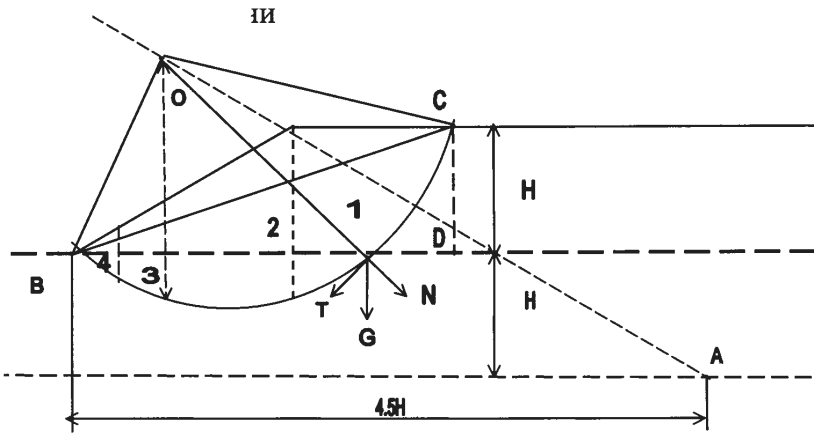


Рис. 11.1

Определим удерживающие силы. К удерживающим относятся силы, которые действуют в блоках 3 и 4, поскольку они поддерживают блоки 1 и 2. Определить блоки, в которых действуют удерживающие силы, можно по углу откоса уступа (в поддерживающих блоках его значение указано со знаком “-”):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n G_{i.уд.} \sin \alpha_i &= 29,2 \sin(-5^\circ) + 3,4 \sin(-15^\circ) = \\ &= -2,5449 - 0,88 = -3,4249. \end{aligned}$$

В конечную формулу суммарное значение удерживающих сил следует подставлять в виде модуля. Тогда

$$\sum_{i=1}^n G_{i.уд.} \sin \alpha_i + |-3,4249| = 3,4249.$$

Определим сдвигающие силы. Как было сказано выше, блоки, в которых действуют удерживающие силы – это блоки 3 и 4. Теперь нужно определить сдвигающие силы, которые действуют в блоках 1 и 2:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n G_{i.сдв.} \sin \alpha_i &= 7,1 \sin 57^\circ + 17,6 \sin 30^\circ = \\ &= 5,9546 + 8,8 = 14,7546. \end{aligned}$$

Определим значения оставшихся частей уравнения и вычислим коэффициент устойчивости:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n G_i \cos \alpha_i K_c &= (7,1 \cos 57^\circ + 17,6 \cos 30^\circ + \\ &+ 29,2 \cos(-5^\circ) + 3,4 \cos(-15^\circ)) 0,76 = \\ &= (3,8669 + 15,242 + 29,0889 + 3,2841) 0,76 = 39,1262; \\ \sum_{i=1}^n G_i (\cos \alpha_i - K_c \sin \alpha_i) &= 7,1 (\cos 57^\circ - \sin 57^\circ) + \\ &+ 17,6 (\cos 30^\circ - 0,76 \sin 30^\circ) + 29,2 (\cos(-5^\circ) - 0,7 \sin(-5^\circ)) + \\ &+ 3,4 (\cos(-15^\circ) - 0,76 \sin(-15^\circ)) = -0,6585 + 8,554 + \\ &+ 31,023 + 3,9529 = 42,8714; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_y &= \frac{\sum_{i=1}^n G_i (\cos \alpha_i - K_c \sin \alpha_i) \operatorname{tg} \varphi + cl + \sum_{i=1}^n G_{i.уд.} \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^n G_{i.сдв.} \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^n G_i \cos \alpha_i K_c} = \\ &= \frac{42,8714 \cdot \operatorname{tg} 29^\circ + 0,09 \cdot 145 + 3,4249}{14,7546 + 39,1262} = 0,7468. \end{aligned}$$

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО УГЛАМ ОТКОСОВ НЕРАБОЧИХ БОРТОВ С УЧЕТОМ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

12.1. Постановка задачи. Исходные данные

Определить углы откосов нерабочих бортов карьера из условия расположения на нерабочем борту транспортных коммуникаций (транспортных берм, съездов). Полученное значение угла откоса нерабочего борта карьера проверить на устойчивость. Для неустойчивого борта предложить меры по его выполаживанию.

Вариант 1. Конструкция нерабочего борта (рис. 12.1).

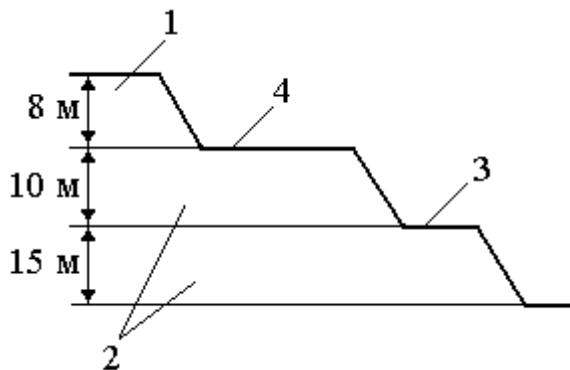


Рис. 12.1

Условные обозначения: 1 – суглинок; 2 – мергель; 3 – предохранительная берма; 4 – транспортная берма.

Параметры нерабочего борта: высота уступа по вскрыше – 8 м; высота уступа по полезному ископаемому – 10 м, 15 м; число полос движения – 2; транспорт – БелАЗ-548А грузоподъемностью 40 т.

Вариант 2. (Рис. 12.2).

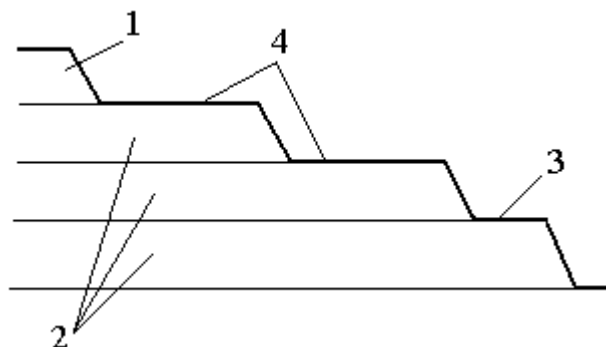


Рис. 12.2

Условные обозначения: 1 – супесь; 2 – глина; 3 – предохранительная берма; 4 – транспортная берма.

Параметры нерабочего борта: высота уступа по вскрыше – 10 м; высота уступа по полезному ископаемому – 10 м; число полос движения – 2; транспорт – КраЗ-256Б грузоподъемностью 12 т.

Проверку нерабочего борта на устойчивость в первом варианте выполнить методом круглоцилиндрической поверхности скольжения, а во втором варианте – методом равнопрочного откоса Н.Н. Маслова для разнородных пород.

12.2.Краткие теоретические сведения

Угол откоса нерабочего борта карьера из условия размещения транспортных коммуникаций определяется графически построением поперечного сечения борта после предварительного решения вопросов о ширине транспортных берм, съездов и предохранительных берм. Кроме того, угол откоса нерабочего борта карьера может вычисляться по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sum_1^n h_i}{\sum_1^n h_i \operatorname{ctg} \alpha_i + \sum_1^{n_1} \sigma_{\text{П}i} + \sum_1^{n_2} \sigma_{\text{T}i} + \sum_1^{n_3} \sigma_{\text{С}i}},$$

где n – число уступов;

h_i – высота уступов;

α_i – углы откосов нерабочих уступов;

n_1 – число предохранительных берм в данном сечении;

$\sigma_{\text{П}i}$ – ширина предохранительных берм;

n_2 – число транспортных берм в данном сечении;

$\sigma_{\text{T}i}$ – ширина транспортных берм;

n_3 – число съездов в данном сечении;

$\sigma_{\text{С}i}$ – ширина съезда.

Ширина транспортной бермы определяется расчетным путем. Ширина предохранительных берм принимается по нормам технологического проектирования.

12.3. Пример выполнения работы

Необходимо принять решение по углам откоса нерабочего борта карьера, исходя из условия расположения на борту транспортных коммуникаций и условия устойчивости. Конструкция нерабочего борта карьера имеет следующий вид (рис. 12.3).

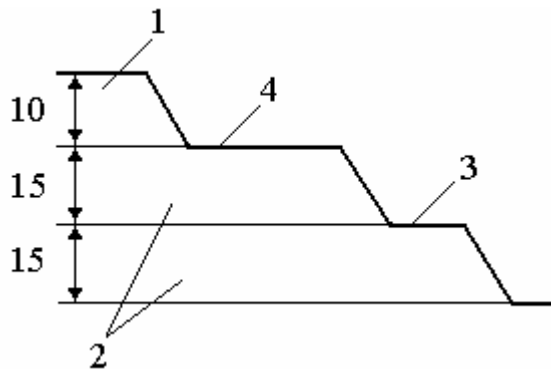


Рис. 12.3

Условные обозначения: 1 – суглинок; 2 – мел; 3 – предохранительная берма; 4 – транспортная берма.

Параметры нерабочего борта: высота уступа по вскрыше – 10 м; высота уступа по полезному ископаемому – 15 м; число полос движения – 2; транспорт – БелАЗ-540 грузоподъемностью 27 т.

Определяем ширину транспортной бермы по типовым проектным решениям Союзгипронефуда для рыхлых и мягких пород:

$$v_{\text{п}} = a_1 + a_2 + a_3 + 2\Pi_0 + \Pi_{\text{п}} + a_4 + a_5 + a_6$$

где a_1 – расстояние от лотка до нижней бровки уступа, $a_1 = 0,5$ м;

a_2 – ширина лотка по верху, $a_2 = 1,9$ м;

a_3 – расстояние от лотка до обочины, $a_3 = 1$ м;

Π_0 – ширина обочины автодороги, $\Pi_0 = 1,5$ м;

$\Pi_{\text{п}}$ – ширина проезжей части, определяемая расчетом или принимаемая по нормам;

a_4 – ширина полосы для линий электропередач и освещения (может отсутствовать), $a_4 = 1$ м;

a_5 – ширина основания ограждающего вала, $a_5 = 2$ м;

a_6 – расстояние от ограждающего вала до верхней бровки откоса нижележащего уступа, $a_6 = 1$ м.

Ширина проезжей части ($\Pi_{\text{п}}$):

$$\Pi_{\text{п}} = n B_{\text{а}} + (n-1) t + 2 v,$$

где n – число полос движения, $n = 2$;

$B_{\text{а}}$ – ширина автосамосвала по задним колесам, $B_{\text{а}} = 3,48$ м;

t – зазор между встречными автосамосвалами, $t = 0,7 \dots 1,7$ м; принимаем $t = 1,5$ м;

v – ширина полосы наката, $v = 0,4 \dots 1,0$ м; принимаем $v = 0,5$ м.

$$\Pi_{\text{п}} = 2 \cdot 3,48 + (2 - 1) \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,5 = 9,46 \text{ м.}$$

Принимаем $\Pi_{\text{п}} = 10$ м.

Ширина транспортной бермы ($v_{\text{п}}$):

$$v_{\text{п}} = 0,5 + 1,9 + 1 + 2 \cdot 1,5 + 9,46 + 1 + 2 + 1 = 19,86 \text{ м.}$$

Принимаем $e_n = 20$ м.

Ширину предохранительной бермы принимаем в соответствии с нормами технологического проектирования ($e_n = 8$ м). Углы откосов нерабочих уступов по вскрыше и полезному ископаемому принимаем по нормам технологического проектирования ($\alpha_i = 55^\circ$).

Угол откоса нерабочего борта:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{40}{20 + 8 + 10 \cdot \operatorname{ctg} 55 + 15 \cdot \operatorname{ctg} 55 + 15 \cdot \operatorname{ctg} 55} = 0,73;$$

$$\gamma = 36^\circ.$$

Проверяем полученный угол откоса нерабочего борта карьера на устойчивость по методу равнопрочного откоса. Расчленим откос по высоте на два слоя, исходя из заданных типов пород (табл. 12.1).

Т а б л и ц а 12.1

Слой	Наименование	Объем, т/м ³	Вертикальная мощность слоя	Угол внутреннего трения	Сцепление c , т/м ²
1	Суглинок	1,8	10	24°	10
2	Мел	2,3	30	30°	15

Определяем величины средневзвешенных расчетных весов для каждого слоя:

$$\gamma_{\text{расч } 1} = \frac{0 + \gamma_1 h_1}{h_1} = \frac{1,8 \cdot 10}{10} = 1,8$$

$$\gamma_{\text{расч } 2} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{1,8 \cdot 10 + 2,3 \cdot 30}{10 + 30} = 2,18.$$

Расчет устойчивых углов откосов по каждому слою производим в табл. 12.2.

Т а б л и ц а 12.2

Слой	$\gamma_{\text{расч}}$	z	$P_n = \gamma_{\text{расч}} z$	φ°	$\text{tg } \varphi$	c	$\frac{C}{P_n}$	$F_p = \text{tg } \varphi + \frac{c}{P_n}$	n	$\text{tg } \alpha = \frac{F_p}{n}$	α°
1	1,8	10	18	24	0,44	10	0,56	1	1,3	0,77	37
2	2,18	40	84,2	30	0,58	15	0,17	0,75	1,3	0,58	30

По результатам расчетов строим устойчивый борт карьера (рис.12.4).

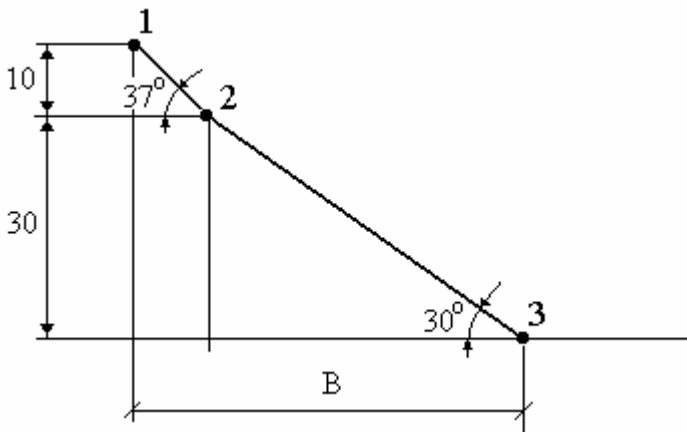


Рис. 12.4

Заложение нерабочего борта (B) вычисляется по формуле

$$B = 30 \cdot \text{ctg}30 + 10 \cdot \text{ctg}37 = 30 \cdot 1,73 + 10 \cdot 1,3 = 64,9 \text{ м.}$$

Результирующий угол

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{10 + 30}{64,9}\right) = 32^\circ.$$

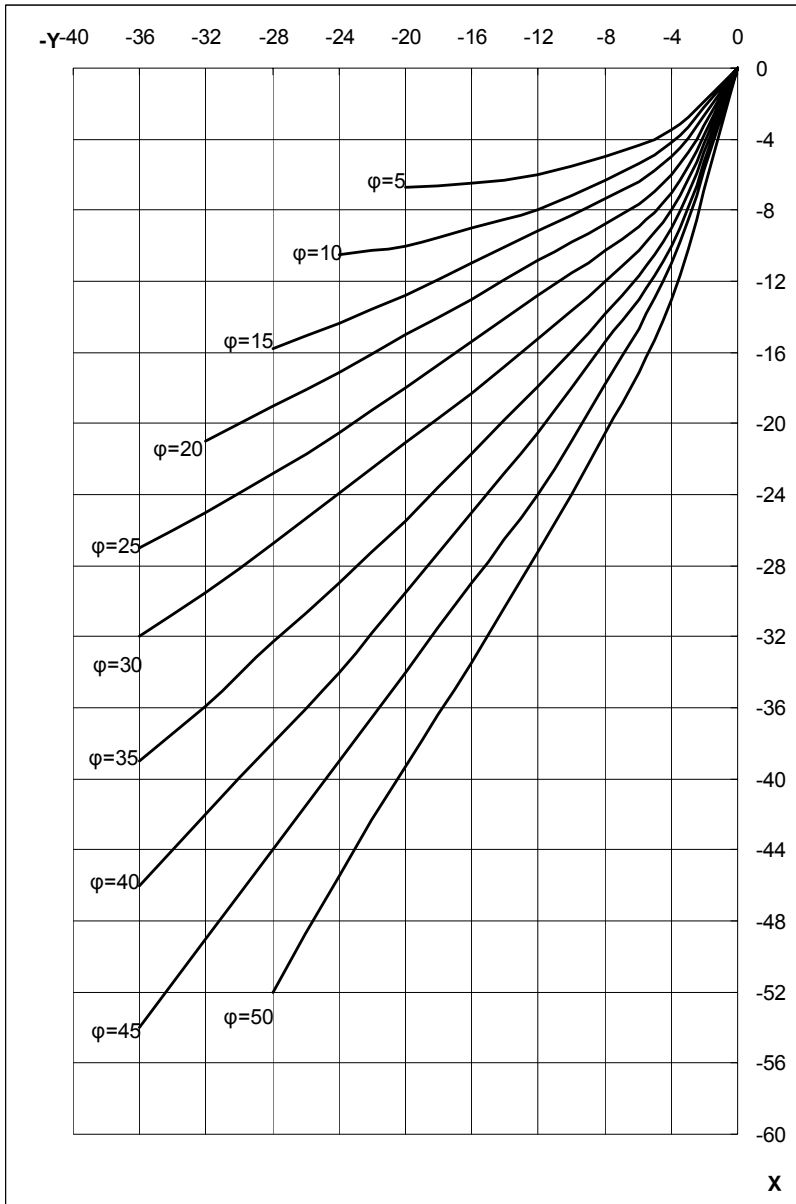
По условию расположения транспортных коммуникаций угол откоса нерабочего борта карьера составляет 36° , т.е. он является неустойчивым. Для придания ему устойчивости необходимо выположить борт, чего можно достичь, увеличив ширину транспортной и (или) предохранительной бермы.

Размер общего увеличения берм составляет:

$$64,9 - (\sum B_{\text{п}} + \sum B_{\text{т}} + \sum h_i \operatorname{ctg} \alpha_i) =$$
$$= 64,9 - (20 + 8 + 10 \operatorname{ctg} 55 + 15 \operatorname{ctg} 55 + 15 \operatorname{ctg} 55) = 9,9 \text{ м.}$$

у	Значения $\bar{\sigma}_z$ при φ , град.													
	10		20			30			40					
	При α град.													
	0	10	0	10	20	0	10	20	30	0	10	20	30	40
0,0	3,34	7,51	14,8	12,7	10,9	30,1	24,3	19,6	15,7	75,3	55,9	41,4	30,6	22,5
0,5	9,02	7,90	17,9	14,8	12	43	32,6	24,4	18,1	139	94	62,6	41,3	27,1
1,0	9,64	8,26	20,6	16,6	13,1	53,9	39,8	28,8	20,3	193	126	81,1	50,9	31
1,5	10,2	8,62	23,1	18,2	14,1	64	46,5	32,8	22,3	242	157	98,5	59,8	34,7
2,0	10,8	8,95	25,4	19,9	15	73,6	52,9	36,7	24,2	292	186	115	68,4	38,1
2,5	11,3	9,28	27,7	21,4	15,8	82,9	59	40,4	26	339	215	132	76,7	41,3
3,0	11,8	9,59	29,8	23	16,7	91,8	65,1	44,1	27,8	386	243	148	84,9	44,4
3,5	12,3	9,89	31,9	24,4	17,5	101	71	47,6	29,4	432	271	164	93	47,5
4,0	12,8	10,2	34	25,8	18,3	109	76,8	51,2	31,1	478	299	179	101	50,4
4,5	13,2	10,5	36	27,2	19,1	118	82,6	54,7	32,7	523	327	195	109	53,3
5,0	13,7	10,8	38	28,7	13,9	127	88,3	58,1	34,3	568	354	211	117	56,2
5,5	14,1	11,0	39,9	30	20,6	135	94	61,6	35,8	613	381	226	125	59
6,0	14,5	11,3	41,8	31,4	21,4	143	99,6	65	37,4	658	409	241	132	61,7

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



ЛИТЕРАТУРА

1. *Арсентьев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А.* Устойчивость бортов и осушение карьеров: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 165 с.
2. *Маслов Н.Н., Котов М.Ф., Зиюхина Н.В.* Задачник по механике грунтов с подробными решениями. – М.: Высшая школа, 1963. – 312 с.
3. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов. – Л.: Стройиздат, 1977. – 364 с.
4. Типовые проектные решения 409-023-43. – Л.: Стройгипронефть, 1978. – 139 с.
5. *Цытович Н.А.* Механика грунтов: Учебник для строительных вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

СОДЕРЖАНИЕ

В в е д е н и е	3
<i>Лабораторная работа № 1</i> Исследование устойчивости откоса по методу Соколовского – Сенкова.	4
<i>Лабораторная работа № 2</i> Исследование устойчивости откосов по методу Соколовского – Голованова.	7
<i>Лабораторная работа № 3</i> Исследование устойчивости откосав по методу Соколовского – Голованова при наличии внешней нагрузки на верхней площадке откоса.	11
<i>Лабораторная работа № 4</i> Исследование устойчивости откоса на основе F_p метода для однородных пород.	17
<i>Лабораторная работа № 5</i> Исследование устойчивости откоса на основе F_p метода для разнородных пород.	20
<i>Лабораторная работа № 6</i> Исследование координат равнопрочного откоса на основе метода Н.Н. Маслова.	23
<i>Лабораторная работа № 7</i> Исследование максимального давления на горизонтальную поверхность массива грунта и формы равноустойчивого откоса с использованием результатов численного решения дифференциального уравнения равновесия.	25
<i>Лабораторная работа № 8</i> Расчет устойчивости откоса при плоской поверхности скольжения. Модель П.М. Цимбаревича.	30

<i>Лабораторная работа № 9</i>	
Исследование устойчивости откоса методом круглоцилиндрической поверхности скольжения.	32
<i>Лабораторная работа № 10</i>	
Исследование устойчивости откосов на основе использования таблиц Гольдштейна.	36
<i>Лабораторная работа № 11</i>	
Исследование влияния взрывных нагрузок на устойчивость откоса.	40
<i>Лабораторная работа № 12</i>	
Принятие решений по углам откосов нерабочих бортов с учетом их устойчивости и расположения транспортных коммуникаций.	45
<i>Приложение 1.</i>	52
<i>Приложение 2.</i>	53
<i>Литература.</i>	54

Учебное издание

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ
И ОТВАЛОВ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-51 02 01
«Разработка месторождений полезных ископаемых»
специализации 1-51 02 01-01 «Открытые горные работы»

Составитель: ОНИКА Сергей Георгиевич

Редактор Е.И. Кортель
Компьютерная верстка А.Г. Гармазы

Подписано в печать 2005.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,3. Уч.-изд. л. 2,6. Тираж 100. Заказ 444.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.