

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

ГЕОМЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие
для практических и лабораторных работ

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2012

УДК 622.015(07)
ББК 33.22я73

Г361

Составители: А.И. Косолапов, А.Ю. Невежин

Г361 Геомеханика: учебно-методическое пособие для практических и лабораторных работ [Электронный ресурс] / сост. А.И. Косолапов, А.Ю. Невежин. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

Приведены методические указания, задания для выполнения практических и лабораторных работ, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы в соответствии со стандартами качества принятыми в Сибирском федеральном университете.

Предназначено для студентов очного отделения специальности «Открытые горные работы».

УДК 622.015(07)
ББК 33.22я73

© Сибирский
федеральный
университет, 2012

Учебное издание

Подготовлено к публикации редакционно-издательским
отделом БИК СФУ

Подписано в свет 13.04.2012 г. Заказ 7036.
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391)206-21-49. E-mail rio@sfu-kras.ru
<http://rio.sfu-kras.ru>

1. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина Геомеханика знакомит студентов с теорией механических процессов в массиве горных пород при проведении горных выработок с целью разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом. В соответствии с требованиями квалификационной характеристики горного инженера по специальности 130403 «Открытые горные работы». В результате изучения настоящей дисциплины студенты должны знать:

- механические свойства горных пород и слагаемых ими массивов;
- механические модели и напряженное состояние массива;
- проявления горного давления;
- гипотезы деформирования и разрушения горных пород вокруг выработок и на земной поверхности;
- методы исследований и механику горных пород и контроля механического состояния породного массива;
- способы и средства моделирования геомеханических процессов.

Студенты должны уметь:

- оценивать механические свойства массивов горных пород;
- строить паспорта прочности;
- определять напряженность массива при его подработке;
- рассчитывать напряжение по результатам исследований поля напряжений с помощью метода разгрузки;
- устанавливать вероятность разрушений подработанного массива, используя гипотезы прочности.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении материала курса по литературе необходимо уяснить содержание каждого излагаемого там вопроса. Изучать материал целесообразно по темам приводимой выше программы, особенно останавливаясь на том, что показалось не совсем понятным. Затем следует внимательно разобрать места, вызвавшие затруднения. При завершении изучения темы полезно создать краткий конспект и осуществить, не заглядывая в литературу, самоконтроль пройденного материала, проверить вашу возможность дать ответы на вопросы программы изучаемой темы.

Указания по выполнению контрольного задания приведены ниже.

Работу необходимо выполнить в форме пояснительной записки и графического материала к ней. Рисунки и схемы необходимо вычерчивать в масштабе на миллиметровой или писчей бумаге формата А4 или А3.

Пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии со стандартом предприятия СТО 4.2-07-2008, написана от руки или набрана с помощью персонального компьютера и отпечатана на листах формата А4 (210x297мм).

Стиль изложения должен быть лаконичным и технически грамотным. Недопустимо сокращать слова в тексте и подписях под иллюстрациями за исключением сокращений, общепринятых в русском языке. Все формулы, помещаемые в записке, необходимо расшифровывать. В тексте обязательно указывайте литературу и источники, используемые при выполнении работы.

Вариант задания определяет преподаватель.

3. РАБОТЫ И ПРИМЕРЫ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ.

3.1. Работа 1

Построение паспорта прочности горной породы по методу кругов Мора

Цель работы: изучить методику построения паспорта прочности горной породы по методу кругов Мора.

Порядок выполнения

По данным варианта (табл. 3.1) постройте график паспорта прочности горной породы (рис.3.1) и по нему определите значения ее сцепления и угла внутреннего трения.

Рассчитайте значения угла внутреннего трения (ρ) и сцепления породы ($K_{\text{сц}}$) по аналитическим формулам:

$$\rho = \arcsin \left(\frac{\sigma_{\text{сж}} - \sigma_{\text{р}}}{\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{р}}} \right), \text{ град}; \quad (3.1)$$

$$K_{\text{сц}} = \frac{\sigma_{\text{р}}}{2} \cdot \left(\frac{\sin \rho + 1}{\cos \rho} \right), \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ - предел прочности на одноосное сжатие, МПа;

$\sigma_{\text{р}}$ - предел прочности на растяжение, МПа.

Представьте паспорт прочности горной породы в виде уравнения:

$$\tau = K_{\text{сц}} + \sigma \cdot \text{tg } \rho. \quad (3.3)$$

Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

Пример.

Исходные данные:

- предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{\text{сж}} = 120$ МПа;

- предел прочности на растяжение $\sigma_{\text{р}} = 40$ МПа.

Решение

1. В декартовой системе координат (рис. 3.1) от нуля вправо откладываем отрезок равный $\sigma_{\text{сж}} = 120$ МПа, а от нуля влево - $\sigma_{\text{р}} = 40$ МПа. Устанавливая циркуль в середину этих отрезков строим окружности, которые являются кругами Мора. К этим окружностям проводим касательную линию MM' . Пересечение данной линии с вертикальной осью τ определяет величину сцепления образца горной породы $K = 24,5$ МПа, а угол наклона к оси σ_n - угол внутреннего трения $\rho = 30^\circ$.

Находим значение угла внутреннего трения и сцепления по формулам 3.1 и 3.2:

$$\rho = \arcsin \left(\frac{120 - 40}{120 + 40} \right) = 30,0 \text{ град}, \quad (3.4)$$

$$K_{\text{сц}} = \frac{40}{2} \cdot \left(\frac{\sin 30^\circ + 1}{\cos 30^\circ} \right) = 36,6 \text{ МПа}. \quad (3.5)$$

Уравнение паспорта прочности для данной породы будет иметь следующий вид:

$$\tau = 34,6 + \sigma \cdot \text{tg } 30^\circ. \quad (3.6)$$

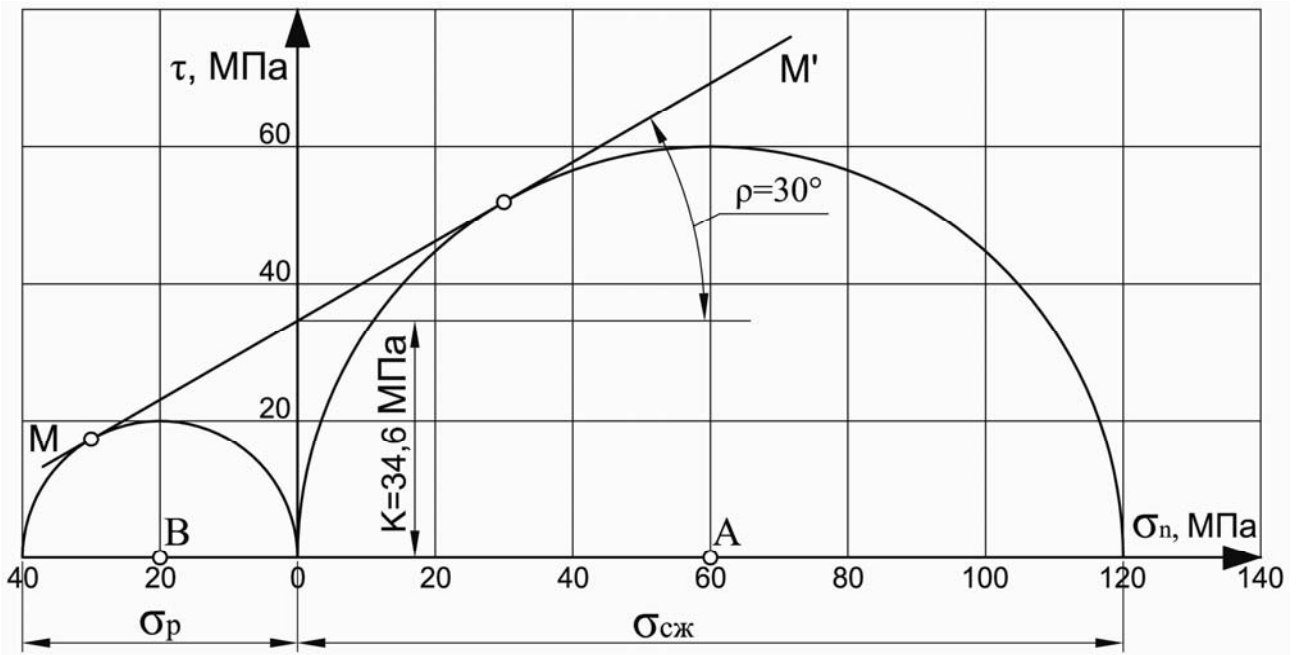


Рис. 3.1- Паспорт прочности горной породы

Таблица 3.1

Исходные данные

Номер варианта	Предел прочности породы, МПа:		Объемный вес породы, МН	Средний размер структурного блока, м	Высота откоса, м	Угол откоса, град
	на сжатие	на растяжение				
1	70	25	0,035	0,3	200	50
2	100	35	0,04	1,1	250	65
3	150	30	0,02	0,8	300	60
4	120	25	0,03	0,6	250	50
5	140	38	0,03	0,4	200	45
6	60	20	0,03	0,2	250	45
7	80	30	0,03	0,4	180	50
8	110	20	0,03	0,4	260	60
9	110	35	0,04	1,1	280	65
10	90	25	0,03	0,6	200	50
11	200	45	0,03	1,2	300	60
12	160	36	0,03	0,9	160	60
13	100	12,5	0,027	0,7	220	55
14	140	12	0,03	1	260	50
15	160	18	0,033	1,2	300	60
16	200	16	0,035	1,4	340	45
17	190	20	0,03	0,8	180	50
18	180	14	0,03	1,1	300	40
19	120	20	0,04	1,3	250	50
20	150	25	0,03	0,6	200	60
21	85	14	0,03	0,6	140	45
22	100	20	0,035	0,8	200	50
23	120	14	0,027	1,0	120	40
24	140	20	0,03	1,3	180	50
25	110	12	0,03	0,5	120	60
26	150	25	0,03	0,6	200	60
27	85	14	0,03	0,6	140	45
28	100	20	0,035	0,8	200	50
29	120	14	0,027	1,0	120	40
30	140	20	0,03	1,3	180	50
31	110	12	0,03	0,5	120	60
32	100	20	0,035	0,8	200	50
33	120	14	0,027	1,0	120	40
34	140	20	0,03	1,3	180	50
35	110	12	0,03	0,5	120	60
36	150	25	0,03	0,6	200	60
37	85	14	0,03	0,6	140	45
38	100	20	0,035	0,8	200	50
39	120	14	0,027	1,0	120	40
40	140	20	0,03	1,3	180	50

3.2. Работа 2

Расчет касательных и нормальных напряжений на произвольной площадке. Графический и аналитический метод

Цель работы: изучить методику определения касательных и нормальных напряжений графическим и аналитическим методом.

Теоретические сведения: Горные породы в естественном состоянии (в массиве) находятся в объемном напряженном состоянии, т.е. в условиях всестороннего сжатия, поэтому сжимающие напряжения δ_1 и δ_2 считаются положительными.

При любом случайном нагружении тела в нем может быть множество плоскостей, в которых возникают совместно действующие нормальные и касательные напряжения, они взаимосвязаны и могут быть определены методом сложения векторов. Таким образом напряженное состояние в любой точке может быть описано суммой двух перпендикулярных векторов.

Условие плоского напряженного состояния можно проиллюстрировать следующей схемой (рис. 3.2).

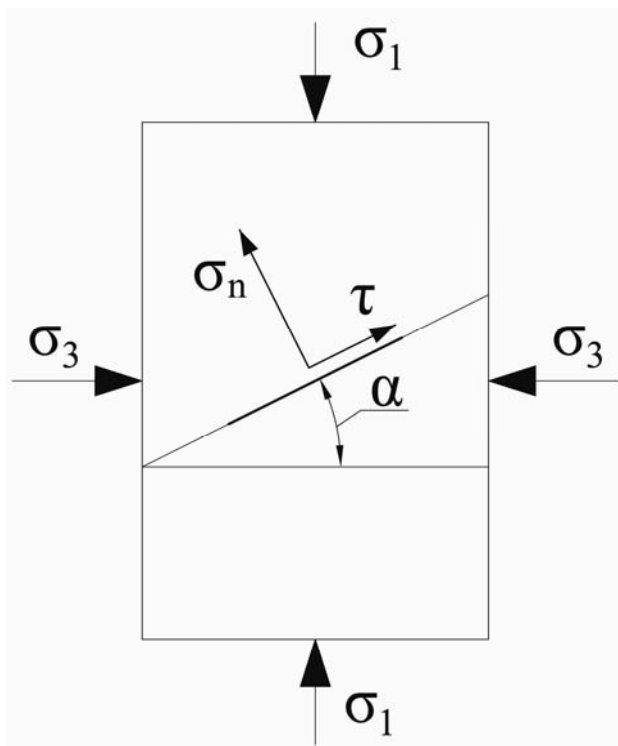


Рис. 3.2. Схема к определению нормальных и касательных напряжений на произвольной площадке

Напряжения, направленные перпендикулярно к рассматриваемой площадке S - нормальные (σ_n); напряжения действующие касательно к площадке S - касательные (τ).

Например, при плоском напряженном состоянии (когда $\sigma_1 > \sigma_2$) в плоскости под углом α будут действовать напряжения, определяемые по формулам:

нормальные напряжения

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_3 \cdot \sin^2 \alpha \quad (3.7)$$

касательные напряжения

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \sin 2\alpha \quad (3.8)$$

Связь между σ_n и τ графически можно представить с помощью кругов Мора (рис. 3.3). Для этого по оси абсцисс откладывают максимальное значение сжимающих напряжений σ_1 и σ_3 , действующих на образец. На разности отрезков ($\sigma_1 - \sigma_3$), как на диаметре, строят круг. Значения касательного и

нормальных напряжений в любой точке для заданного угла плоскости находят следующим образом: из точки (А) пересечения абсциссы с кругом под заданным углом (α) проводят линию до пересечения с окружностью (С). Ордината точки С - касательное напряжение, а абсцисса - нормальное. Каждому частному значению напряженного состояния соответствует свой круг напряжений.

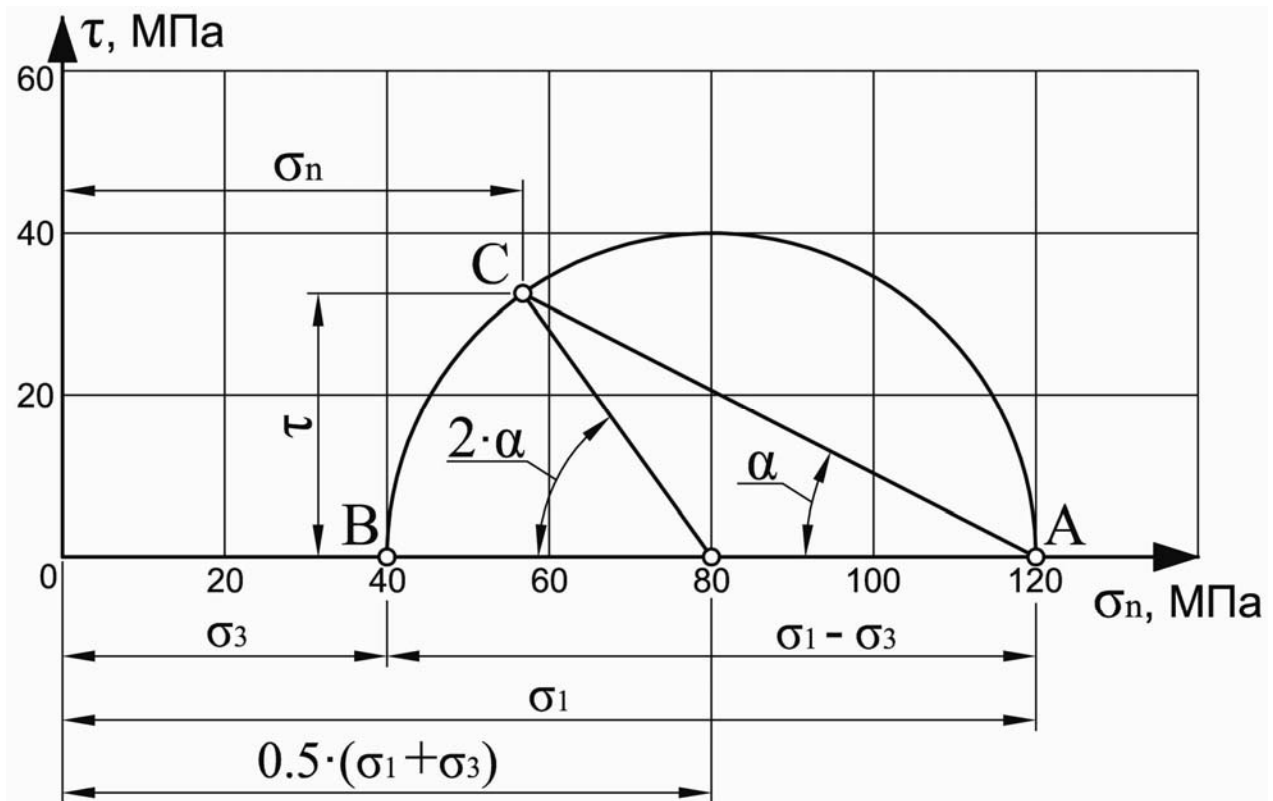


Рис. 3.3. Схема к определению касательных и нормальных напряжений графическим методом

Порядок выполнения работы:

Нарисуйте круг Мора, описывающий напряженное состояние в соответствии с исходными данными (табл. 3.2) и определите графически значение нормального и касательного напряжения для угла α равным 10, 20, 30 и 40 град.

По данным варианта (табл. 3.2) рассчитайте значения нормального и касательного напряжения по аналитическим формулам 3.7 и 3.8 для угла α равным 50, 60, 70 и 80 град.

Постройте график изменения нормальных и касательных напряжений в зависимости от угла $\sigma_n = f(\alpha)$ и $\tau = f(\alpha)$.

Оформите отчет. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

Таблица 3.2

Исходные данные

Номер варианта	Напряжения действующие на образец, МПа:		Номер варианта	Напряжения действующие на образец, МПа:	
	σ_1	σ_3		σ_1	σ_3
1	70	25	21	70	25
2	100	35	22	100	35
3	150	30	23	150	30
4	120	25	24	120	25
5	140	38	25	140	38
6	60	20	26	60	20
7	80	30	27	80	30
8	110	20	28	110	20
9	110	35	29	110	35
10	90	25	30	90	25
11	200	45	31	200	45
12	160	36	32	160	36
13	100	12,5	33	100	12,5
14	140	12	34	140	12
15	160	18	35	160	18
16	200	16	36	200	16
17	190	20	37	190	20
18	180	14	38	180	14
19	120	20	39	120	20
20	150	25	40	150	25

3.3. Работа 3**Построение паспорта прочности по данным испытания горной породы на срез со сжатием**

Цель работы: Изучить методику построения паспорта прочности горной породы по результатам испытания на срез со сжатием, определять механические свойства

Теоретические сведения: Данный метод испытаний породных образцов позволяет определить характеристики механических свойств пород, и именно - предел прочности при срезе со сжатием, применительно к решению любых производственных и научно-исследовательских задач.

Для испытаний используются цилиндрические или призматические образцы твердых горных пород (с пределом прочности при одноосном сжатии не менее 5 МПа).

Сущность метода заключается в измерении разрушающей силы, приложенной к образцу, установленному в стальные наклонные матрицы испытательного устройства (рис. 3.4).

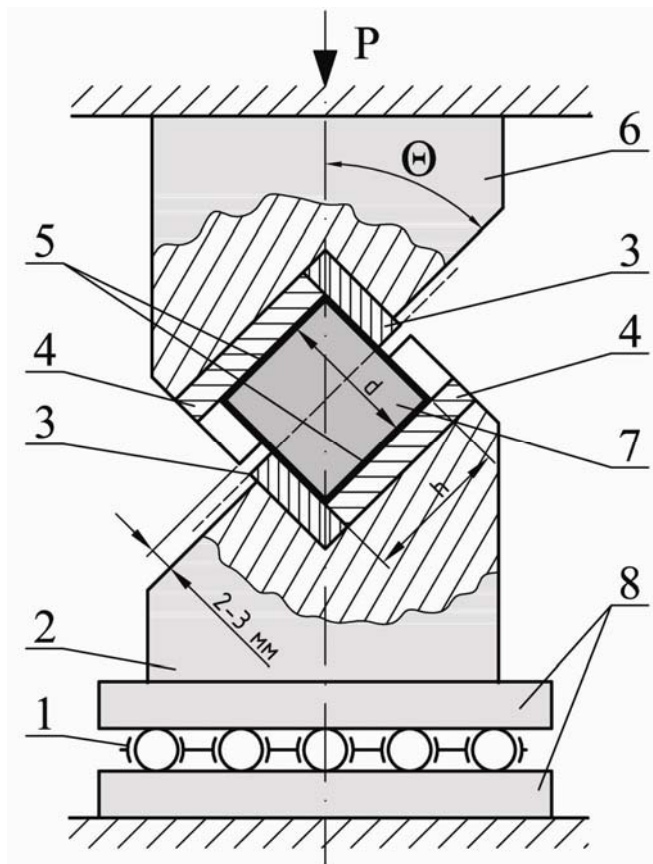


Рис. 3.4. Устройство испытательное на срез со сжатием: 1 - роликовая постель; 2 - нижняя матрица; 3 - вкладыш; 4 - обоймы; 5 - фольга; 6 - верхняя матрица; 7 - образец; 8 - плиты

Для проведения испытаний применяют пресс, максимальное усилие которого не менее чем на 20 % должно превышает предельную нагрузку на образец. Устройство испытательное (рис.3.4), размещается на опорной плите прессы и содержит сменные разъемные матрицы с вкладышами с разрезными обоймами для установки образца под определенными углами наклона (как правило углы наклона принимаются $\Theta = 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ$) и опорное приспособление в виде стальных плит с роликовой постелью. Режущие кромки вкладышей должны быть расположены в одной диаметральной (цилиндрические образцы) или срединной (призматические образцы) плоскости образца.

Для испытаний изготавливают цилиндрические или призматические (с квадратным сечением) образцы. Диаметр (ширина) образца должна быть равна его высоте, и иметь размер 42 ± 2 мм (допускаются размеры от 30 до 75 мм).

Образцы выбуривают или вырезают на камнерезной машине из штуфов и кернов, их торцевые поверхности шлифуют.

При проведении испытаний образец горной породы помещают в матрицу испытательного устройства. Между образцом и обоймами матрицы прокладывают фольгу. Собранный с образцом матрицу вместе с опорным приспособлением устанавливают в центре опорной плиты прессы, располагая оси роликов параллельно срезающим кромкам матрицы. Образец нагружают равномерно со скоростью роста срезающих напряжений 1-5 МПа/с до полного разрушения по плоскости среза. Значение разрушающей силы (P) фиксируется силоизмерителем прессы в килоньютонах.

Предел прочности при срезе ($\tau_{\text{в}}$) и нормальное сжимающее напряжение ($\sigma_{\text{в}}$) вычисляются по формулам:

$$\tau_{\text{в}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \cos \theta, \text{ МПа}, \quad (3.9)$$

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \sin \theta, \text{ МПа}, \quad (3.10)$$

где P - разрушающая сила, кН;

θ - угол между плоскостью среза и направлением действия разрушающей силы, град;

$S = h \cdot d$ - площадь плоскости среза образца, см².

По результатам испытаний найдя значения предела прочности при срезе ($\tau_{\text{в}}$) и нормальное сжимающее напряжение ($\sigma_{\text{в}}$) при различных углах наклона θ , можно построить паспорт прочности горной породы (рис. 3.5) и определить сцепление (K_c) и угол внутреннего трения породы (ρ).

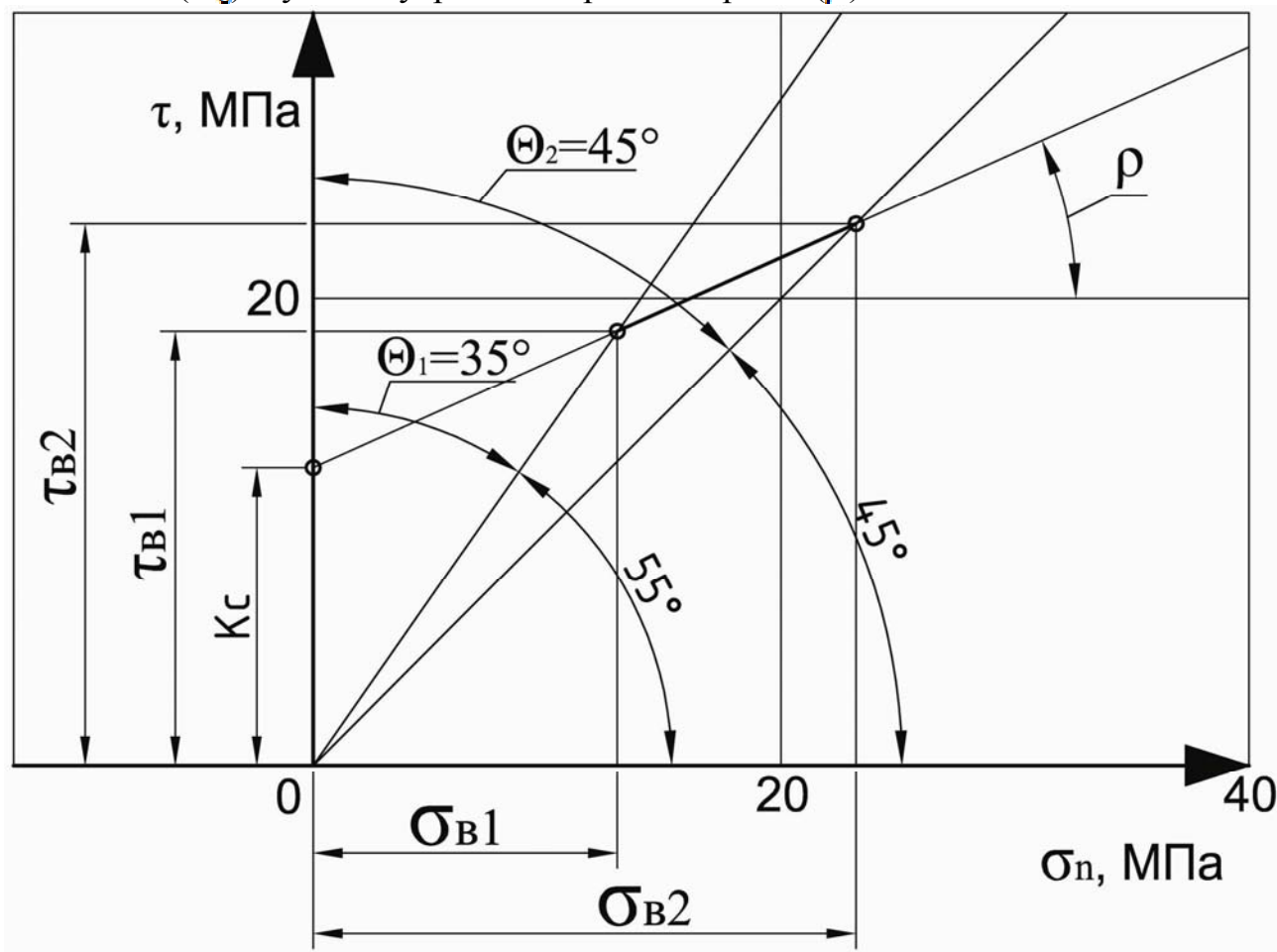


Рис. 3.5. Построение паспорта прочности породы по результатам испытания на срез со сжатием

Порядок выполнения:

Известны результаты испытаний породы на срез со сжатием - разрушающая сила (кН) при угле $\Theta = 25^\circ, 35^\circ$ и 45° (табл. 3.3).

Для каждого варианта испытаний найдите предел прочности при срезе ($\tau_{\text{с}}$) и нормальное сжимающее напряжение ($\sigma_{\text{с}}$) по формулам 3.9 и 3.10. Площадь плоскости среза образца принимаем $S = 4,2 \cdot 4,2 = 17,64 \text{ см}^2$.

Постройте паспорт прочности и установить графическим методом величины сцепления и угла внутреннего трения горной породы в образце, определить пределы их изменения (рис. 3.6).

Оформите отчет. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

Таблица 3.3

Исходные данные

Вариант	Разрушающая сила (P, кН) при соответствующем угле Θ			Вариант	Разрушающая сила (P, кН) при соответствующем угле Θ		
	$\Theta = 25^\circ$	$\Theta = 35^\circ$	$\Theta = 45^\circ$		$\Theta = 25^\circ$	$\Theta = 35^\circ$	$\Theta = 45^\circ$
1	32	42	60	21	24	33	55
2	30	43	58	22	22	28	35
3	28	41	55	23	32	42	60
4	26	36	51	24	32	42	60
5	24	34	55	25	32	42	60
6	34	43	60	26	32	42	60
7	31	41	58	27	32	42	60
8	29	38	55	28	32	42	60
9	27	37	52	29	32	42	60
10	25	34	55	30	32	42	60
11	22	27	35	31	32	42	60
12	31	42	64	32	32	42	60
13	29	40	57	33	32	42	60
14	27	42	53	34	32	42	60
15	26	34	51	35	32	42	60
16	22	31	53	36	32	42	60
17	32	44	57	37	32	42	60
18	31	42	58	38	32	42	60
19	28	37	55	39	32	42	60
20	26	36	52	40	32	42	60

Пример

Исходные данные:

- разрушающая сила

$$P_1 = 30 \text{ кН}$$

$$P_2 = 40 \text{ кН}$$

$$P_3 = 58 \text{ кН}$$

при угле $\Theta = 25^\circ$;

при угле $\Theta = 35^\circ$;

при угле $\Theta = 45^\circ$.

Решение

1. Для каждого варианта испытаний находим предел прочности при срезе ($\tau_{\text{в}}$) и нормальное сжимающее напряжение ($\sigma_{\text{в}}$):

при угле $\Theta = 25^\circ$:

$$\tau_{\text{в1}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \cos \theta = \frac{10 \cdot 30}{17,64} \cdot \cos 25 = 15,4 \text{ МПа}, \quad (3.11)$$

$$\sigma_{\text{в1}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \sin \theta = \frac{10 \cdot 30}{17,64} \cdot \sin 25 = 7,2 \text{ МПа}, \quad (3.12)$$

при угле $\Theta = 35^\circ$:

$$\tau_{\text{в2}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \cos \theta = \frac{10 \cdot 40}{17,64} \cdot \cos 35 = 18,6 \text{ МПа}, \quad (3.13)$$

$$\sigma_{\text{в2}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \sin \theta = \frac{10 \cdot 40}{17,64} \cdot \sin 35 = 13,0 \text{ МПа}, \quad (3.14)$$

при угле $\Theta = 45^\circ$:

$$\tau_{\text{в3}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \cos \theta = \frac{10 \cdot 58}{17,64} \cdot \cos 45 = 23,2 \text{ МПа}, \quad (3.15)$$

$$\sigma_{\text{в3}} = \frac{10 \cdot P}{S} \cdot \sin \theta = \frac{10 \cdot 58}{17,64} \cdot \sin 45 = 23,2 \text{ МПа}. \quad (3.16)$$

Строим паспорт прочности (рис. 3.6), для этого наносим точки P_1, P_2, P_3 по результатам вышеприведенных расчетов. Проводим две прямые через точки P_1-P_2 и P_2-P_3 , до пересечения с вертикальной осью. По ординате пересечения прямых с осью определяем сцепление: $K_{c1}=11,45$ МПа для отрезка P_1-P_2 ; $K_{c2}=12,75$ МПа для отрезка P_2-P_3 .

По углу наклона прямых P_1-P_2 и P_2-P_3 к горизонтальной оси определяем соответствующие значения угла внутреннего трения: $\rho_1=29^\circ$ и $\rho_2=24^\circ$.

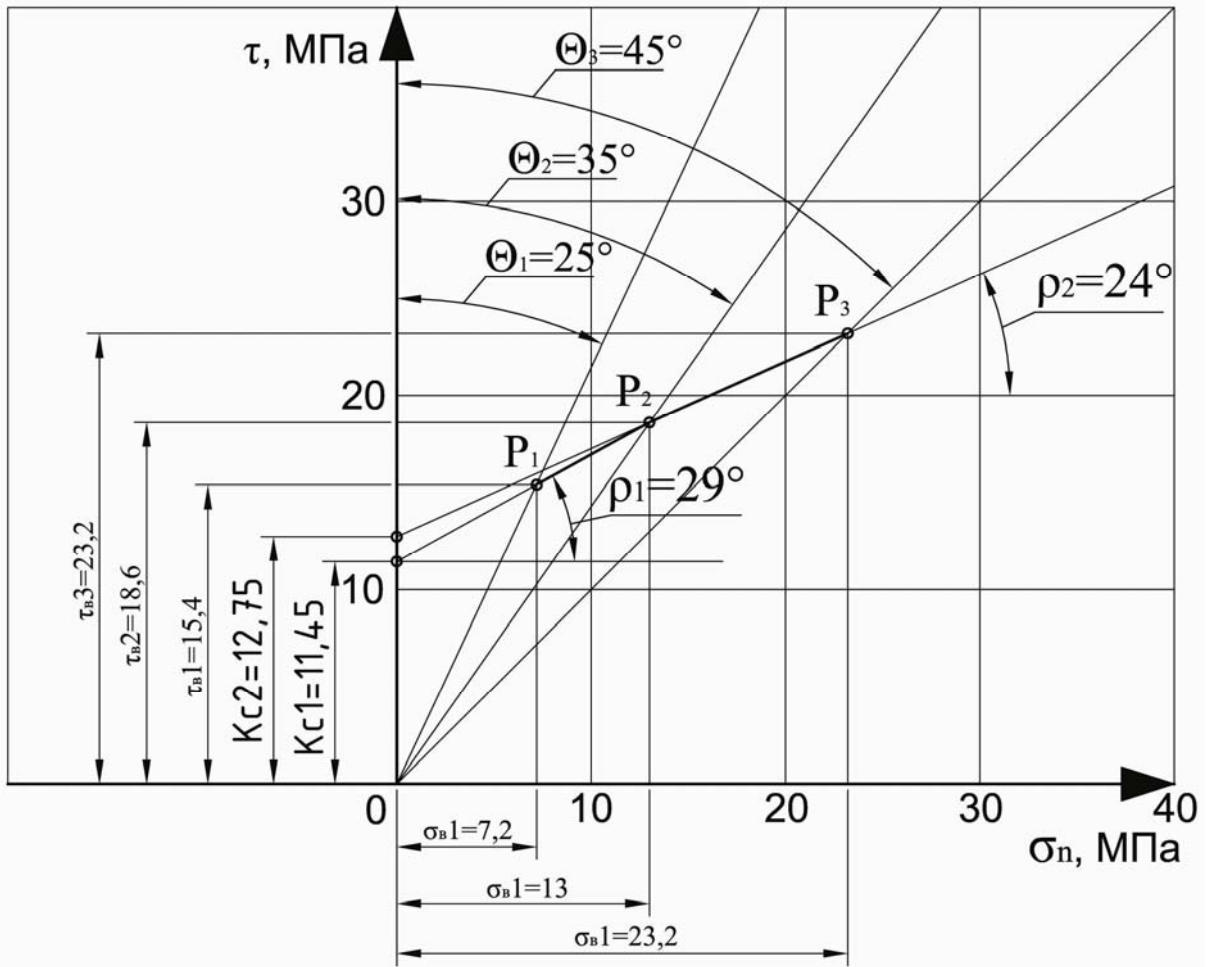


Рис. 3.6. Паспорт прочности горной породы по результатам испытания образца на срез со сжатием

3.4. Работа 4

Построение паспорта прочности по данным объемно-напряженного испытания горной породы

Цель работы: построить паспорт прочности и установить графическим методом величины сцепления и угла внутреннего трения горной породы в образце по результатам ее испытания в условиях неравномерного объемно-напряженного состояния.

Теоретические сведения: Наиболее точно и полно поведение горных пород при разрушении отражает паспорт прочности, полученный по результатам испытаний пород в условиях неравномерного объемного напряженного состояния. Соответствующие испытания проводят в специальном приборе - стабилометре, который позволяет создавать напряженное состояние, определяемое условием $\sigma_1 > \sigma_3$ (здесь σ_1 и σ_3 - значения главных напряжений). Для этого образец породы помещают в камеру, наполненную маслом. Величину напряжения σ_1 (вдоль продольной оси образца) создают плунжером от усилия, создаваемого прессом. Величину напряжения σ_3 обеспечивают путем поддержания давления в масле. Образец породы обычно имеет цилиндрическую форму диаметром 30-36 мм и высотой 50-70 мм. Пленка резинового клея предохраняет образец от проникновения в него масла.

Испытания образцов породы в стабилометре начинают в условиях одноосного напряженного состояния, для чего давление масла в камере принимают равным нулю ($\sigma_3 = 0$), а напряжение σ_1 постепенно увеличивают и доводят образец до разрушения. Следующие образцы испытывают при объемном напряженном состоянии, устанавливая более высокий уровень напряжений σ_3 и увеличивая до разрушения образца осевое напряжение σ_1 . Результаты испытаний наносят в координатах τ и σ_n на диаграмму в виде предельных кругов Мора (рис. 3.7).

Порядок выполнения:

На горизонтальной оси σ_n (рис. 3.7) от нуля влево откладывают значение предела прочности на одноосное растяжение σ_p , а вправо - значение предела прочности на сжатие ($\sigma_1 = \sigma_{сж}$) при $\sigma_3 = 0$. На этих отрезках как на диаметрах строят окружности. Затем вправо от нуля откладывают попарно значения σ_1 и σ_3 , полученные в ходе описанных испытаний. На отрезке $\sigma_1 - \sigma_3$ как на диаметре, строят окружность. К полученным окружностям проводят огибающую кривую (рис. 3.7), касательная к которой определяет для образца породы величину сцепления K_c , а угол ее наклона к горизонту - угол внутреннего трения ρ .

Оформите отчет. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

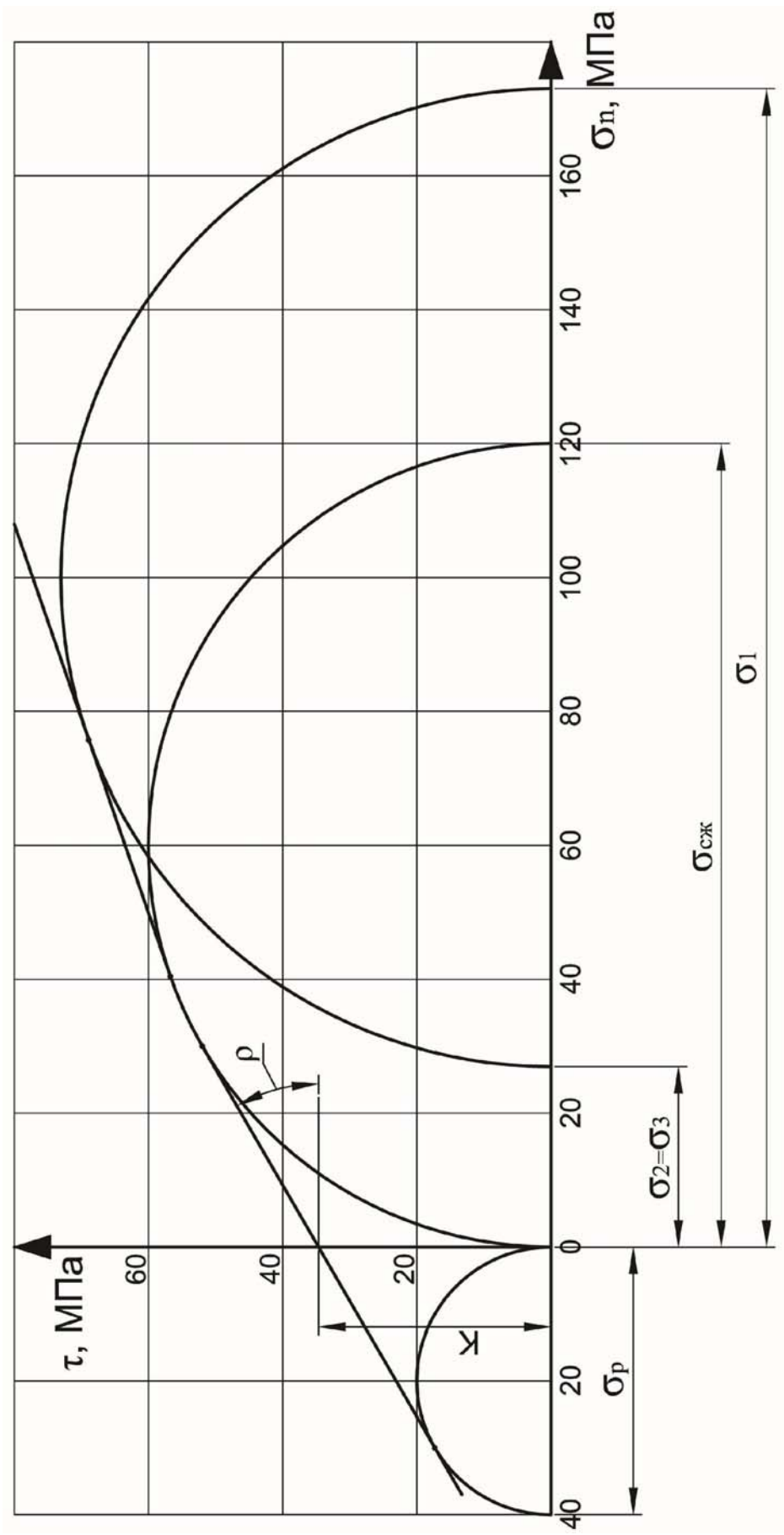


Рис. 3.7. Построение паспорта прочности по результатам испытаний пород при объемном напряженном состоянии

Таблица 3.4

Исходные данные

Номер варианта	Предел прочности породы, МПа:		Напряжение $\sigma_2 =$ σ_3 , МПа	Напряжение σ_1 , МПа
	на сжатие ($\sigma_{сж}$)	на растяжение (σ_p)		
1	70	25	15	110
2	100	35	25	150
3	80	30	15	115
4	75	25	15	110
5	60	14	20	100
6	60	28	20	95
7	80	30	15	110
8	70	20	24	130
9	110	35	15	140
10	90	25	15	130
11	120	45	14	150
12	65	14	10	100
13	100	24	30	180
14	90	22	25	160
15	85	18	15	140
16	75	16	15	125
17	65	14	14	110
18	55	12	12	105
19	50	10	15	110
20	45	10	15	100
21	60	20	20	100
22	100	35	25	160
23	80	25	15	120
24	70	22	15	110
25	55	14	20	100
26	60	28	30	120
27	70	30	20	110
28	55	20	30	130
29	50	15	18	90
30	70	23	25	130
31	65	20	22	120
32	60	17	12	95
33	55	10	8	90
34	110	27	22	180
35	105	25	25	190
36	90	16	18	140
37	80	18	20	145
38	70	14	11	110
39	60	16	15	105

3.5. Работа 5

Построение круглоцилиндрической поверхности скольжения

По данным варианта (табл. 3.1) и определенным в работе №1 значениям сцепления и угла внутреннего трения постройте потенциальную поверхность скольжения (разрушения) в откосе, используя следующий порядок.

1. В масштабе (1:500, 1:1000, 1:2000) постройте поперечный разрез откоса (рис. 3.8).

2. Рассчитайте величину сцепления в массиве борта по формуле

$$K_{\text{м}} = \frac{K}{1+a \cdot \ln\left(\frac{H}{l_{\text{ср}}}\right)}, \quad (3.17)$$

где a - коэффициент структурного ослабления (табл 3.5);

$l_{\text{ср}}$ - средний размер структурного блока м.

3. Определите расчетные значения сцепления ($K_{\text{р}}$) и угла внутреннего трения ($\rho_{\text{р}}$) с учетом коэффициента запасов прочности (устойчивости) равного $\eta_{\text{р}}=1,5$:

$$K_{\text{р}} = \frac{K_{\text{м}}}{\eta_{\text{р}}}, \quad (3.18)$$

$$\rho_{\text{р}} = \text{arctg} \left(\frac{\text{tg} \rho}{\eta_{\text{р}}} \right). \quad (3.19)$$

Таблица 3.5

Значение коэффициента структурного ослабления.

Сцепление породы в образце, МПа	Коэффициент структурного ослабления
$K < 0,4$	0,5
$0,4 \leq K < 2,0$	2,0
$2,0 \leq K < 8,0$	2,5
$8,0 \leq K < 15$	3,0
$15 \leq K < 17$	4,0
$17 \leq K < 20$	5,0
$20 \leq K < 30$	6,0
$K \leq 30$	7,0

4. Рассчитайте глубину потенциальной трещины отрыва по формуле:

$$H_{\text{г0}} = \frac{2 \cdot K_{\text{р}}}{\gamma} \cdot \text{ctg} \left(45 - \frac{\rho_{\text{р}}}{2} \right), \text{ м}, \quad (3.20)$$

где γ - объемный вес породы, МН/м³.

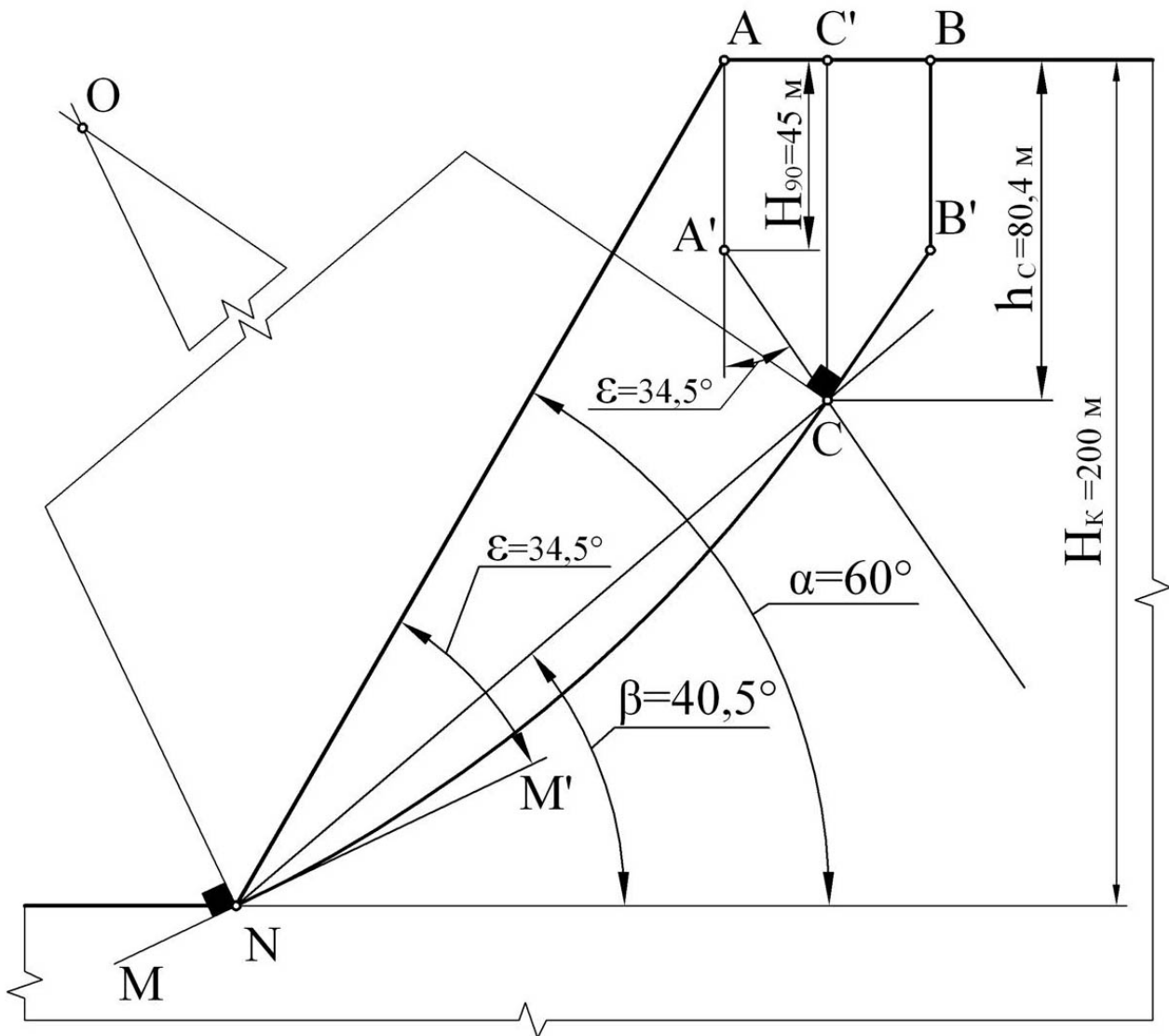


Рис. 3.8. Схема построения поверхности скольжения

5. Определите значение углов:

$$\varepsilon = 45 - \frac{\rho_p}{2}; \quad (3.21)$$

$$\beta = \frac{(\alpha + \rho_p)}{2}. \quad (3.22)$$

6. На разрезе откоса нерабочего борта карьера постройте с учетом параметров H_{90} , ε , β потенциальную поверхность скольжения.

Решение

$$K_M = \frac{34,6}{1 + 6,4 \cdot \ln\left(\frac{200}{0,8}\right)} = 0,81 \text{ МПа};$$

$$K_p = \frac{0,81}{1,5} = 0,54 \text{ МПа};$$

$$\rho_p = \arctg\left(\frac{\text{tg } 30^\circ}{1,5}\right) = 21^\circ;$$

$$H_{90} = \frac{2 \cdot 0,54}{0,035} \cdot \text{ctg}\left(45^\circ - \frac{21^\circ}{2}\right) = 45 \text{ м};$$

$$\varepsilon = 45 - \frac{21^\circ}{2} = 34,5^\circ;$$

$$\beta = \frac{(\alpha + \rho_p)}{2} = \frac{(60^\circ + 21^\circ)}{2} = 40,5^\circ.$$

Построение поверхности скольжения

От верхней бровки откоса из точки А в точку А' проводим вертикаль длиной $H_{90}=45,0$ м (рис. 3.8). Из точки А' под углом $\varepsilon=34,5^\circ$ к вертикали проводим прямую линию А'С. Из точки N нижней бровки откоса под углом $\beta=40,5^\circ$ к горизонту проводим линию NC до пересечения ее в точке С с линией А'С.

Из точки С до верхней площадки проводим вертикальную линию СС' (рис. 3.8). Относительно линии СС' строим трапецию ВВ'СС', симметричную трапеции АА'СС'.

Через точку N нижней бровки под углом $\varepsilon=34,5^\circ$ к линии откоса проводим линию ММ'. В точку N к линии ММ' и в точку С к линии СВ' восстанавливаем перпендикуляры до их пересечения в точке О, которая является центром круглоцилиндрической поверхности скольжения. С помощью циркуля дугой (радиусом $R = OC = ON$) соединяем точки С и N.

Искомая поверхность скольжения соединяет точки В, В', С и N (рис. 3.8).

3.6. Работа 6

Определение коэффициента запаса устойчивости

Рассчитайте коэффициент запаса устойчивости (прочности) откоса по критерию прочности Кулона-Мора с помощью следующей методики.

1. На поверхности скольжения отметьте несколько точек (рис. 3.9).
2. В этих точках определите касательные и нормальные напряжения по формулам:

$$\sigma_{nt} = h_t \cdot \gamma \cdot \cos^2 \varphi_t; \tag{3.23}$$

$$\tau_{ct} = 0,5 \cdot h_i \cdot \gamma \cdot \sin 2 \varphi_i, \quad (3.24)$$

где h_i – расстояние по вертикали от поверхности уступа до i -ой точки на поверхности скольжения, м;

φ_i - угол наклона к горизонту касательной к поверхности скольжения в i -ой точке, град.

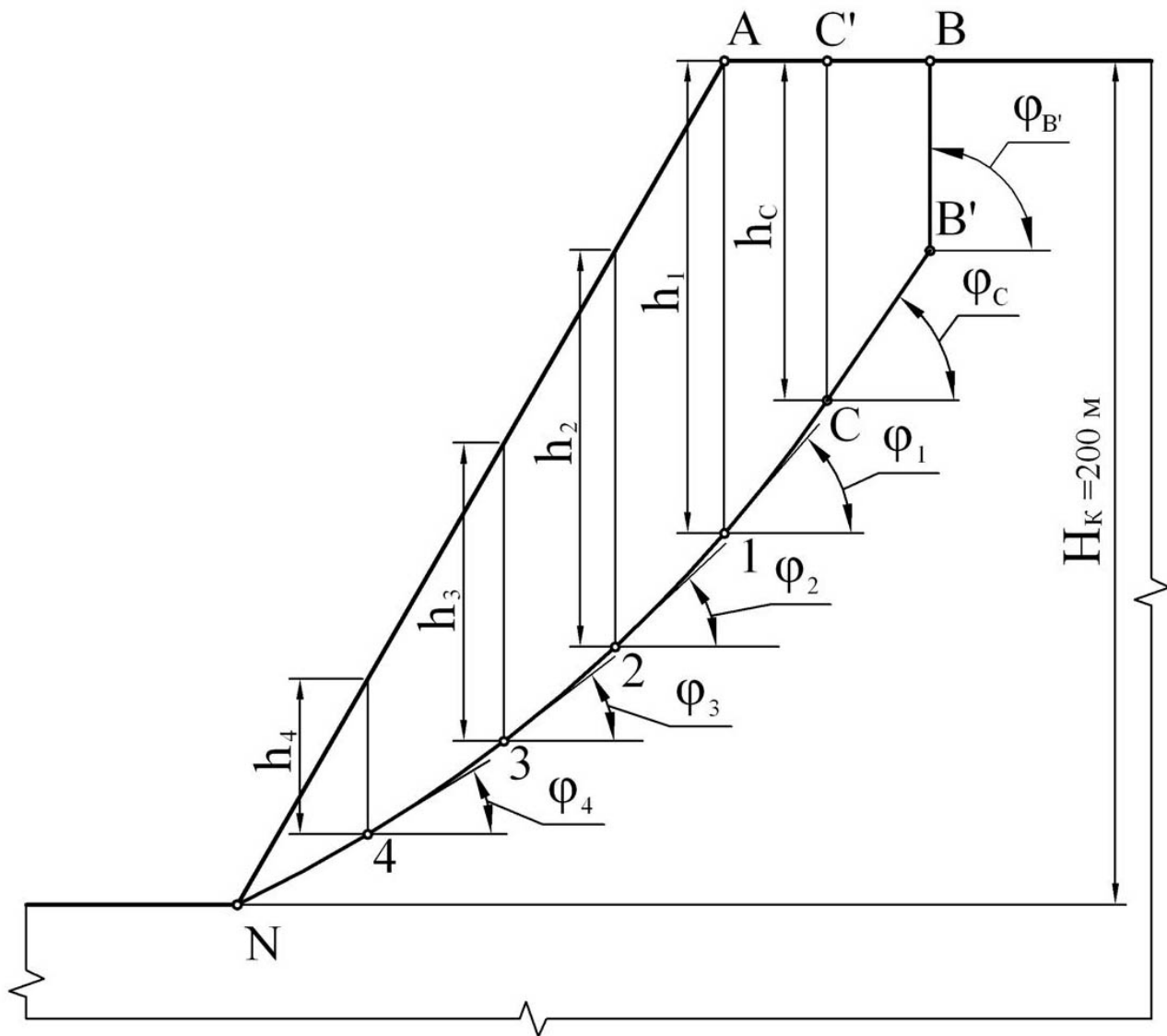


Рис. 3.9. Схема к расчету коэффициента запаса устойчивости откоса

3. Используя уравнение паспорта прочности (работа №1, формула 3.6) для вычисленных нормальных напряжений σ_{nt} определите в отмеченных точках сопротивление пород сдвигу τ'_{yt} :

$$\tau'_{yt} = K_{сц} + \sigma_{nt} \cdot \operatorname{tg} \rho. \quad (3.25)$$

4. Рассчитайте сопротивление пород сдвигу в отмеченных точках с учетом масштабного фактора по формуле:

$$\tau_{yt} = \frac{\tau_{yt}'}{1 + a \cdot \ln\left(\frac{H}{t_{cp}}\right)} \quad (3.26)$$

5. Поверхность скольжения с расчетными точками разверните на горизонтальную линию, из каждой отмеченной точки по оси ординат отложите отрезки, соответствующие касательным сдвигающим напряжениям τ_{ci} и удерживающим напряжениям τ_{yi} , концы которых соедините плавной линией (рис. 3.10).

Рассчитайте площади, ограниченные осью абсцисс и кривыми τ_c и τ_y . Площадь эпюры τ_c характеризует сумму сдвигающих, а эпюры τ_y - сумму удерживающих сил, действующих по поверхности скольжения.

Определите значение коэффициента запаса устойчивости отношением площадей этих эпюр:

$$\eta_\phi = \frac{S_{\tau_y}}{S_{\tau_c}}, \quad (3.27)$$

где S_{τ_y} - площадь эпюры удерживающих сил;
 S_{τ_c} - площадь эпюры сдвигающих сил.

Если $\eta_\phi < 1$, то прочность пород не обеспечивает устойчивость откоса с заданными параметрами, если $\eta_\phi > 1$, то свойства пород обеспечивают необходимый запас устойчивости.

Решение

1. Отмечаем на поверхности точки В',С,1,2,3,4,Н (рис. 3.9).
2. Устанавливаем для отмеченных точек расстояния от поверхности откосов h_i и значение углов наклона касательных к поверхности скольжения ϕ_i .
3. Результаты расчетов сводим в таблицу 3.6.

Таблица 3.6.

Наименование точки	h_i , м	ϕ_i , град	σ_{ni} , МПа	τ_{yt}' , МПа	τ_{yt} , МПа	τ_{ci} , МПа
В'	45,0	90,0	0,0	34,6	0,81	0,00
С	80,4	55,5	0,9	35,2	0,82	1,31
1	112,0	49,1	1,7	35,6	0,83	1,94
2	94,0	43,1	1,8	35,7	0,83	1,64
3	70,7	37,5	1,6	35,5	0,83	1,20
4	36,8	31,2	0,9	35,2	0,82	0,57
Н	0,0	25,5	0,0	34,6	0,81	0,00

Графики τ_y и τ_c показаны на рис 3.10. С их помощью (по площади эпюр τ_y и τ_c) определены значения сдвигающих и удерживающих сил $S_{\tau_c} = 105$ МН, $S_{\tau_y} = 42,9$ МН.

Коэффициент запаса устойчивости:

$$\eta_\phi = \frac{42,9}{105} = 0,41 < 1$$

Таким образом, при заданных параметрах борта карьера свойства пород не обеспечивают его длительную устойчивость.

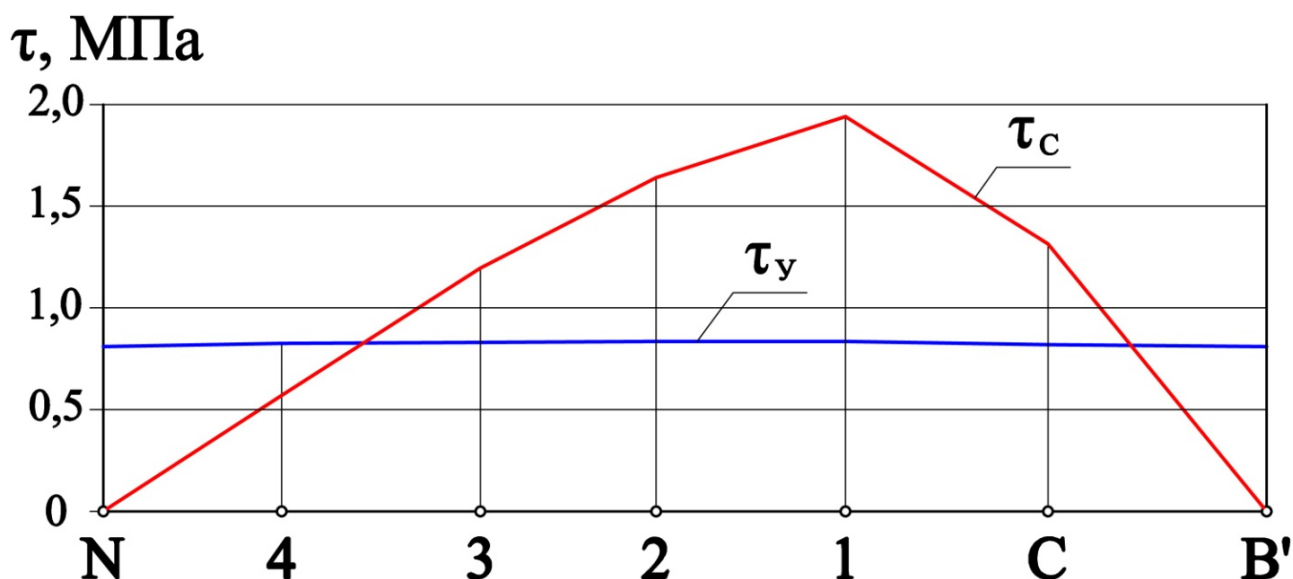


Рис.3.10. Эпюры касательных напряжений

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте характеристику геомеханических процессов в массиве горных пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых.
2. Перечислите физические поля действующие на горные породы.
3. Определение вещественного поля.
4. Как можно исследовать геомеханические процессы в технологии горного производства?
5. Какие физические характеристики горных пород относят к базовым?
6. Основная цель изучения предмета «Геомеханика».
7. Перечислите характеристики и единицы измерения механических свойств горных пород.
8. Дайте определение трещины и приведите классификацию трещин

по размерам.

9. Характеристика блочности горных пород.
10. Изложите методику определения количества образцов для определения механических свойств горных пород.
11. Определение однородных, неоднородных, и изотропных анизотропных горных пород.
12. Дайте характеристику понятия напряжения.
13. Виды напряженных состояний и напряжений.
14. Как определяет значения напряжений на произвольной площадке при плоском напряженном состоянии?
15. Как связаны между собой касательные и нормальные напряжения?
16. Виды деформаций и их определения.
17. Понятие упругости горных пород.
18. Основные характеристики упругости и их определения.
19. Каким образом, связаны между собой характеристики упругости?
20. Назовите предел изменения модуля Юнга и коэффициента Пуассона.
21. Каким образом пористость влияет на показатели упругости?
22. Понятие пластичности горных пород.
23. Методика определения модуля пластичности.
24. Как изменяются характеристики пластичности при увеличении влажности, температуры и прочности горных пород?
25. Охарактеризуйте разрушение.
26. Напишите формулы для определения теоретических значений разрушающих касательных и нормальных напряжений.
27. Поясните причины различия реальной прочности горных пород от теоретической.
28. Изложите основные положения теории прочности Гриффитца.
29. Методика определения вида разрушения.
30. На чем основана теория разрушения Мора?
31. Понятие паспорта прочности горной породы и порядок его построения.
32. Методика определения сцепления и угла внутреннего трения горных пород.
33. Почему с уменьшением прочности угол внутреннего трения горных пород уменьшается?
34. Реологические свойства горных пород.
35. В чем состоит отличие ползучести от пластического течения горных пород?
36. Перечислите причины ползучести горных пород. Какие из них обладают большей ползучестью и в каких условиях?
37. Стадии идеальной деформации горных пород при длительном

воздействии на них нагрузок.

38. Приведите уравнение для описания деформаций при длительном действии нагрузок.

39. Релаксация напряжений в горных породах.

40. Взаимосвязь текущего напряжения со временем нагружения.

41. Влияние времени нагружения на прочность различных горных пород.

42. Назовите причины консолидации пород при длительном действии нагрузок.

43. На каких объемах пород можно изучить их физические свойства при натурных исследованиях?

44. Приведете формулу Ритингера для определения механических показателей свойств массива горных пород.

45. Дайте определение коэффициента структурного ослабления.

46. Формула Фисенко Г.Л. для расчета сцепления пород в массиве.

47. Характер зависимости между повышением температуры и расширением горной породы.

48. Порядок количественной оценки разрушаемости горных пород.

49. На что расходуется энергия, затрачиваемая на разрушение?

50. Укажите причины перераспределения напряжений при разработке месторождений открытым способом.

51. Главные напряжения и главные площадки в теории напряжений.

52. Выведите формулы для расчета наименьшего и среднего главных напряжений.

53. Какую задачу напряженного состояния и при каких допущениях решают при расчетах устойчивости откосов?

54. Как можно рассчитать наибольшее главное напряжение?

55. Дайте определение сплошности массива горных пород.

56. Понятие нетронутого или ненарушенного массива.

57. Поясните определение неоднородности строения.

58. Характеристика напряженного состояния нетронутых массивов горных пород платформенного и горно-складчатых типов.

59. Понятие горного давления.

60. Аналитический метод определения упругих напряжений в породах окружающих горную выработку.

61. Моделирование упругих напряжений в горных породах, окружающих горную выработку

62. Понятие неупругих деформаций горных пород и методы их определения.

63. Натурные изучения напряженно-деформированного состояния пород, окружающих выработки.

64. Методы и средства определения напряженного состояния массивов горных пород.

Список литературы

Основная:

1. Рыльникова М. В., Зотеев О. В. Геомеханика: Учебное пособие. — М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2003. — 240 с.
2. Макаров Б.А. Практическая геомеханика: Пособие для горных инженеров. — М.: «Горная книга», 2006. — 391 с.
3. Галустьян Э.Л. Управление геомеханическими процессами в карьерах. М.: Недра, 1980. — 237с.
4. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. М.: Недра, 1989, -448с.
5. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. М.: МГГУ. 2003. -473 с.
6. Шелест А.Т., Беляев В.Л. Геомеханика: Учебное пособие. — Екатеринбург: УГГГА, 2001. — 186 с.

Дополнительная:

1. Коцауров И.Н. Механика горных пород. М.: Недра, 1981. — 166с.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. — 378с.

Оглавление

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
3. РАБОТЫ И ПРИМЕРЫ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ	4
3.1. РАБОТА 1. Построение паспорта прочности горной породы по методу кругов Мора	4
3.2. РАБОТА 2. Расчет касательных и нормальных напряжений на произвольной площадке. Графический и аналитический метод	8
3.3. РАБОТА 3. Построение паспорта прочности по данным испытания горной породы на срез со сжатием	10
3.4. РАБОТА 4. Построение паспорта прочности по данным объемно-напряженного испытания горной породы	16
3.5. РАБОТА 5. Построение круглоцилиндрической поверхности скольжения	19
3.6. РАБОТА 6. Определение коэффициента запаса устойчивости	21
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	27