

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 02.06.2022 15:52:26

Уникальный программный ключ:

9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ee53810fc6

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
Образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 1 » 02 2022г.

## ГЕОМЕХАНИКА

Методические указания по выполнению практических работ для  
студентов специальности  
«Открытые горные работы»  
«Обогащение полезных ископаемых»

Курск 2022

УДК 622

Составитель: Л.А. Семенова

Рецензент

Кандидат географических наук, доцент Р.А. Попков

**Геомеханика:** Методические указания по выполнению практических работ для студентов специальности «Обогащение полезных ископаемых», «Открытые горные работы»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.А. Семенова.- Курск, 2022.- 24с.: рис. 5.- Библиогр.: с. 24.

Содержит основные сведения о правилах выполнения и оформления практических работ по дисциплине «Геомеханика». В работе даны рекомендации по построению полной диаграммы деформирования горной породы при одноосном сжатии в режиме заданных деформаций и т.п..

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной на заседании кафедры Э и УН, ГД протокол № 6 от «27» 12 2016 года.

Предназначены для студентов направления подготовки (специальности) 21.05.04 Горное дело для специализации «Обогащение полезных ископаемых», «Открытые горные работы».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Усл. Печ. Лист 1,3 Уч.-изд.л. 1,26 Тираж 100экз. Заказ Бесплатно 1023

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

- |   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Практическая работа №1. Построение полной диаграммы деформирования горной породы при одноосном сжатии в режиме заданных деформаций | 4  |
| 2 | Практическая работа №2. Определение прочностных параметров и построение паспорта прочности горных пород                            | 10 |
| 3 | Практическая работа №3. Расчет устойчивости уступа борта карьера, нагруженного весом горного оборудования.                         |    |
|   | Список литературы  | 12 |

кровли камер, горных ударов и выбросов), проектирование грузонесущих элементов породных массивов (целиков, откосов и др.), а также для расчетов процессов разрушения, дробления и измельчения пород на открытых и подземных горных работах.

Для подготовки и проведения расчета применяют оборудование, инструменты и материалы по ГОСТ 21153.2 (раздел 1). Экспериментальная установка содержит пресс 1 (УМЭ - 10ТМ), индикатор часового типа 2, стойки 3 для установки индикаторов, измеряющих поперечные деформации (рис. 1.2).

Принцип работы заключается в последовательном продольном деформировании образца 4 и одновременном измерении соответствующей нагрузки и поперечных деформаций индикатором часового типа.

Для эксперимента могут быть использованы цилиндрические или призматические образцы. Обязательным условием является высокая точность обработки торцов и их параллельность.

Размеры образцов должны соответствовать указанным в табл. 1.1.

Измерения образцов проводят штангенциркулем с погрешностью не более  $\pm 0,1$  мм. Диаметр (сторону квадрата) измеряют в средней части образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров (сторона квадрата) по этим измерениям не более 1,0 мм.

Рис. 1 Схема установки образца породы на прессе: 1-пресс; 2-индикатор часового типа; 3- стойка; 4- образец породы.

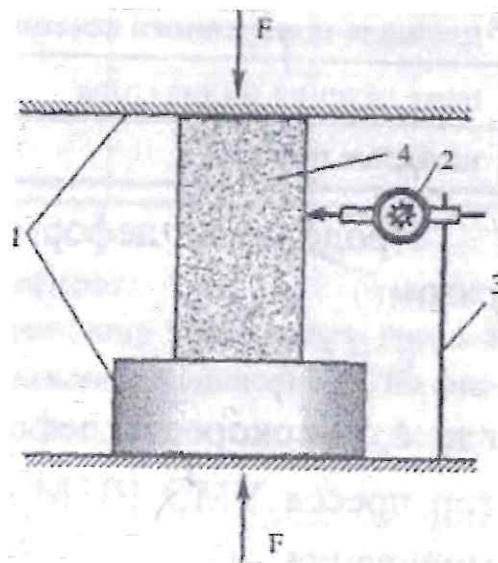


рис. 1.3) находят нагрузки на образец  $P$  и рассчитывают механические напряжения в образце  $\sigma_1$ . Регистрацию показаний (50 — 60 отсчетов) ведут не только до разрушения образца, но и после разрушения. Завершение регистрации показаний определяется преподавателем.

Результаты измерений заносят в журнал испытаний (табл. 2).

**Форма журнала испытаний**

п/п	$V \rightarrow P \rightarrow \sigma_1$ мкВ $\rightarrow$ кН $\rightarrow$ МПа	Показания датчиков поперечных деформаций			
		$\epsilon_l$	$\Delta \epsilon_l$	$\epsilon_{II}$	$\Delta \epsilon_{II}$

Расчеты по завершению испытаний:

1. Из показаний вольтметра ( $V$ ) по тарировочному графику (см. рис. 1.3) находят  $P$  (или по таблице) и переходят к нахождению значений  $\sigma_1$  по формуле

$$\sigma_1 = P/S,$$

где  $S$  — площадь поперечного сечения образца,  $m^2$ .

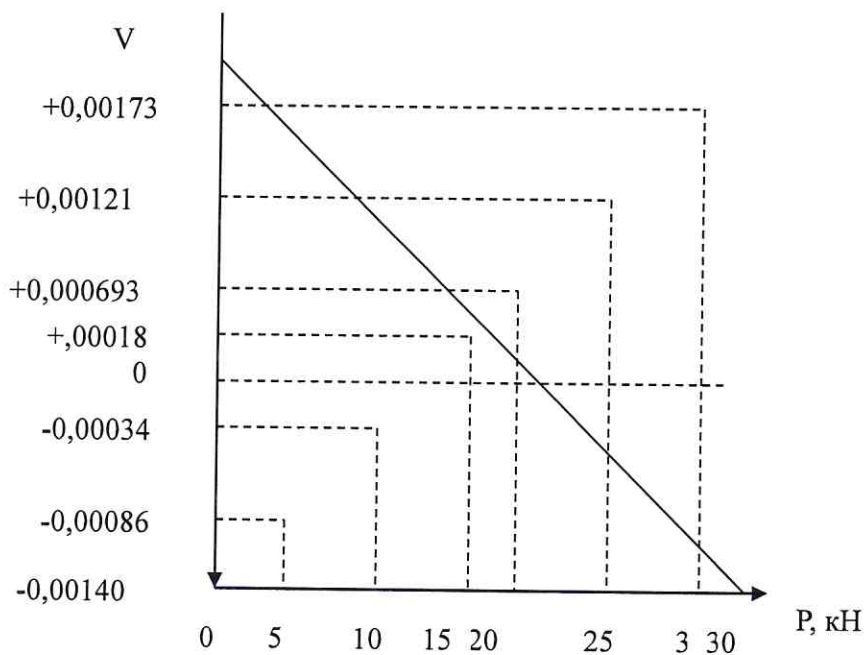
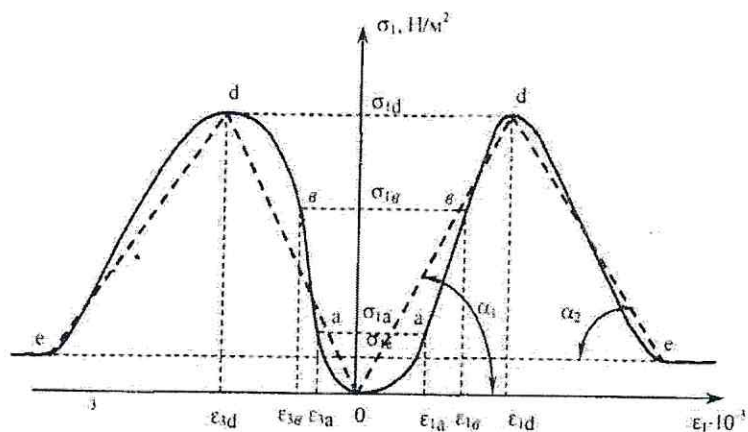


Рис. 3. Тарировочный график



• Рис.4. Построение кусочно-линейной аппроксимации полной диаграммы деформирования породы. модуль деформации (на допредельной стадии деформирования)

$$E = \operatorname{tg} \alpha_1$$

• модуль спада (модуль деформации на запредельной стадии деформирования)

$$M = \operatorname{tg} \alpha_2;$$

• остаточная прочность  $\sigma_0 = \sigma_{1e}$ .

### 3. Контрольные вопросы

1. Укажите предельные интервалы изменения коэффициента Пуассона  $\mu$ .
2. Чем объяснить нелинейность кривой  $\sigma = f(\varepsilon_1)$  на начальном и предельном участках?
3. Какие свойства горной породы определяются отношением модуля деформации на запредельном участке деформирования к модулю деформации на допредельном участке?

4. Какая разница между «мягким» и «жестким» нагружением образца?

### 4. Список литературы

ГОСТ 28985—91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. — М.: Изд. стандартов, 1991.— 15 с.

ГОСТ 21153.1-7—75. Породы горные. Методы физических испытаний. — М.: Изд. стандартов, 1975.

ГОСТ Р 50544—93. Породы горные. Термины и определения. — М.: Изд. стандартов, 1993. — 47 с.

сцеплением  $K$  (величиной предельных касательных напряжений  $\tau$  при нормальных напряжениях  $\sigma = 0$ ) и углом внутреннего трения  $\rho$  (углом наклона начального участка кривой  $\tau = f(\sigma)$  к оси абсцисс).

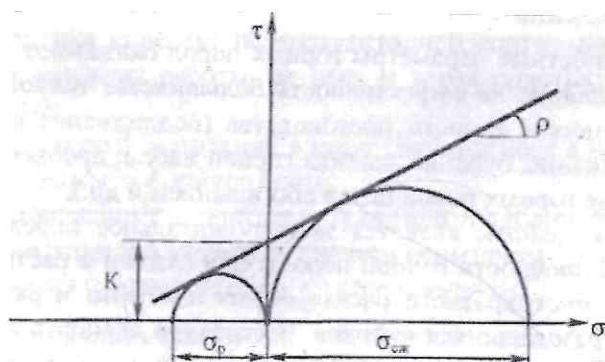


Рис. 2.1. Паспорт прочности горной породы

Эти параметры также относятся к прочностным характеристикам горных пород. Паспорт прочности может быть представлен в виде прямолинейной, параболической или гиперболической огибающих. Для случая прямолинейной формы паспорта прочности (рис. 2.1) справедливы соотношения:

$$(2.1)$$

$$(2.2)$$

Экспериментальная установка состоит из пресса и набора приспособлений для разрушения образцов путем сжатия и растяжения.

Приспособление для определения прочности при одноосном сжатии  $\sigma_{ож}$  состоит из двух плит с плоскими основаниями, одна из которых соединена с плитой пресса посредством шарового шарнира, что обеспечивает вертикальность нагрузки при раздавливании образцов. Приспособление для определения  $\sigma_p$  выполнено в виде стальных клиньев 1, между которыми помещают образец породы пластинчатой формы 2 (рис. 2.2, б). Длина лезвий клиньев должна превышать наибольший линейный размер образца породы. Угол заточки клиньев составляет  $90^\circ$ , радиус закругления лезвий  $R = 5 \pm 1$  мм.

При этом на пластине, выпиленной вдоль слоистости, все определения  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_p$  будут относиться к параметрам, определенным поперек слоистости, а на пластине, выпиленной поперек слоистости, все значения  $\sigma_{сж}$  будут относиться к параметрам, определенным вдоль слоистости, а  $\sigma_p$  — частично к параметрам поперек слоистости, а частично — к параметрам вдоль слоистости. При обработке экспериментальных данных усредняют только однотипные показания.

Отметим, что толщина образцов для проведения эксперимента в некоторых случаях может превышать 20 мм. Например, в соответствии с ГОСТ 22450-77 для углей крепких и средней крепости толщина пластин составляет 30 — 40 мм, а для слабых и хрупких — 40 — 80 мм. Расстояние между линиями раскола в этих случаях принимают равным толщине пластины.

Испытания могут вестись на сухих образцах или на влажных, что отмечают при проведении работы.

### 3. Порядок выполнения работы

При определении предела прочности при растяжении  $a_p$  пластину породы располагают между клиньями так, чтобы лезвия клиньев были строго ориентированы в одной плоскости и параллельны друг другу. Плоскости поверхностей образца породы должны быть строго перпендикулярны направлению приложения раскалывающей силы  $P_p$  (см. рис. 2.2, б).

Скорость нагружения поддерживают в пределах  $(5 — 10)10^5$  Па/с. Раскол производят поочередно по всем продольным линиям. Затем получившиеся бруски раскалывают по поперечным линиям.

Вычисляют для каждого образца значение предела прочности при растяжении  $\sigma_p$ :

где  $P_p$  — максимальная разрушающая нагрузка при раскалывании образца между клиньями, Н;  $d$  — толщина пластины, м;  $l$  — длина линии раскола, м.



3.				
....				
n				

Таблица 2. 2. --Результаты определения предела прочности при одноосном сжатии Наименование породы.....

Номер опыта	Площадь нагружения $S, \text{ м}^2$	Разрушающее усилие $P_{сж}, \text{ Н}$	$\sigma_{сж}, \text{ МПа}$	Примечание
1.				
2.				
3.				
....				
n				

Для этого на миллиметровке в одном и том же масштабе откладывают по оси абсцисс нормальные напряжения  $\sigma$ , а по оси ординат - касательные напряжения  $\tau$ . От начала координат (см. рис. 2.1) вправо откладывают среднюю величину  $\sigma_{сж}$ , полученную по данным эксперимента. Из центра полученного отрезка радиусом  $0,5\sigma_{сж}$  чертят полуокружность, представляющую собой предельный круг напряжений при сжимающей одноосной нагрузке для данной горной породы.

Точно так же слева от начала координат строят предельный круг напряжений для  $\sigma_p$ . После этого проводят касательную к обоим кругам напряжений. Это и есть прямолинейный участок паспорта прочности изучаемой горной породы.

### Практическая работа №3

#### Тема: Расчет устойчивости уступа борта карьера, нагруженного весом горного оборудования

1. Цель работы: получение навыка расчета устойчивости уступа сложенного рыхлыми породами с учетом веса горного оборудования.
2. Основы теории расчета устойчивости уступа борта карьера.

При проектировании, строительстве и для эффективной и безопасной эксплуатации карьеров важное значение имеет устойчивость уступов и бортов карьеров, которое обеспечивается соответствующим расчетом углов наклона бортов.

В основу расчетного метода устойчивости борта карьера положен баланс сумм удерживающих и сдвигающих сил оползневого клина. В качестве показателя устойчивости используют коэффициент устойчивости

$$K_{yc} = \frac{\sum S}{\sum T}, \quad (1)$$

где  $\sum S$  — сумма сил сцепления;  
 $\sum T$  — сумма сил, сдвигающих оползневой клин.

В развернутом виде формула (1) определения коэффициента устойчивости имеет следующий вид:

$$K_{yc} = \frac{\sum c + \sum W \cdot \sin \alpha}{\sum W \cdot \cos \alpha}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — угол внутреннего трения, град;  $c$  — коэффициент сцепления породы в элементарном блоке, МПа;  $l$  — длина поверхности скольжения в элементарном блоке, м;  $\sum c \cdot l$  — сумма касательных, составляющих веса оползневого клина;  $\sum W \cdot \cos \alpha$  — сумма нормальных составляющих веса оползневого клина.

Условием возникновения деформации откосов служит нарушение равновесия породного массива, т.е. дисбаланс сил удерживающих и сдвигающих:

$$\sum S < \sum T$$

Коэффициент устойчивости становится меньше 1,0.

4) На линии МК от точки М откладывают равные отрезки  $MP, PP', P'P''$ , а на линии DC от точки С вниз отрезки  $CC', C'C''$  и  $C''C_0$ .

5) Из точек  $P, P', P''$  проводят прямые линии, параллельные линии откоса МА, а из точек  $C', C''$  и  $C_0$  — линии, параллельные ВС. Пересечение этих линий даст точки  $F, F_1, F_2, F_3$ . Через полученные точки проводится прямая FO до пересечения с линией МК.

6) Из точки О проводят прямую, параллельную DC, до пересечения с линией BD в точке Е.

7) Из точки N восстанавливают перпендикуляр к линии OE, а из точки М — перпендикуляр к линии МК. Пересечение перпендикуляров даст положение центра окружности, проходящей через точки М и Е.

8) Полученная кривая LENM является искомой расчетной поверхностью скольжения.

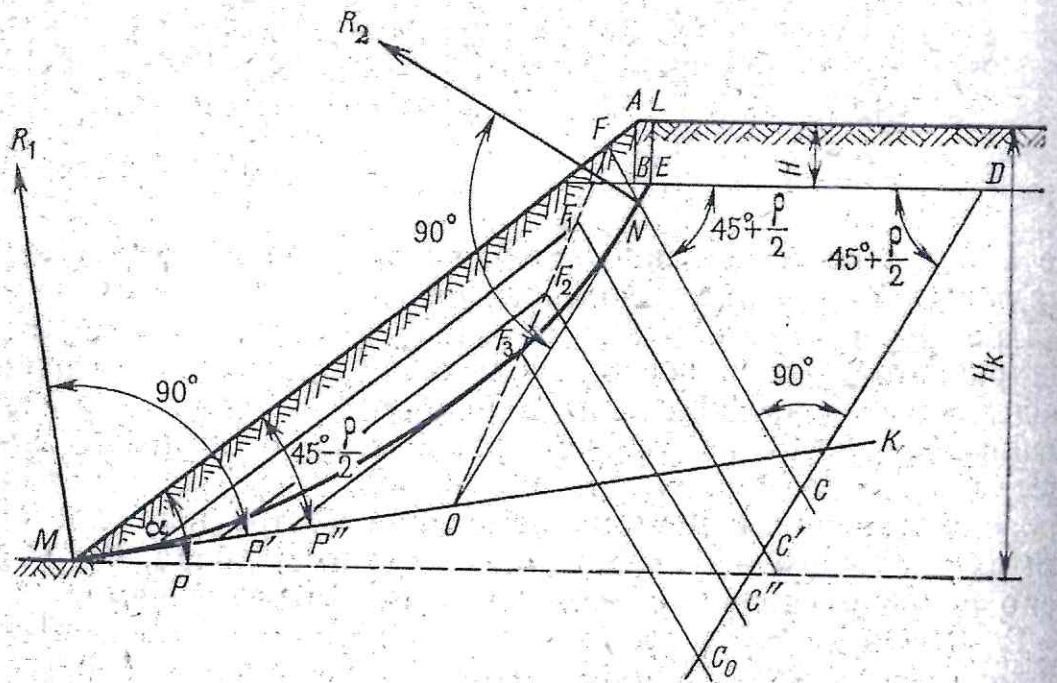


Рис. 9.7. Определение положения поверхности скольжения по Г. Л. Фисенко

оползневого клина; сумма нормальных составляющих веса оползневого клина.

Если полученный коэффициент устойчивости больше или равен заданному, то построенный борт считается устойчивым, если меньше неустойчивым.

Данные измерения и результаты расчетов заносятся в таблицу.

Расчет производится в следующем порядке.

Первоначально допускаемое напряжение в массиве уступа:

$$\sigma_0 = 2 C \quad , \text{Па} \quad \text{где:}$$

коэффициент сцепления породы в элементарном блоке, МПа;

— угол внутреннего трения, град.;

При пользовании справочным материалом иметь в виду, что  $1 \text{ кг/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$ .

Поверхность скольжения строится по методике изложенной выше.

Необходимо иметь в виду, что поверхность скольжения строится с глубины  $H_{90}$ , если  $g < \sigma_0$ , и ПС строится непосредственно с опорной части оборудования, если  $g > \sigma_0$ .

$$H_{90} = \quad , \text{м} \quad \text{где:}$$

$g$ -удельное давление горного оборудования на породу МПА

$\gamma$ - плотность породы,  $\text{кг/см}^3$ .

Призма возможного обрушения ограниченная откосом уступа ПС разбивается на вертикальные участки равной ширины  $d$ . Для каждого участка определяются значения:

вес элементарного участка  $P_i = 10^6 h \quad d \quad \gamma. \text{кг}$ ;

где  $h$  — средняя высота элементарного участка, м

$d$  — ширина элементарного участка, м

1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Итого				Ni	T <sub>i</sub>	ℓ <sub>i</sub>	ℓ <sub>i</sub>

Определить коэффициент запаса устойчивости уступа по формуле. Принять вариант бермы при котором значение  $K_y = 1,5$ .