

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
учреждение высшего образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Факультет Горный
Кафедра Открытые горные работы

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
для студентов заочной формы обучения

по дисциплине «Физика горных пород»

для направления подготовки (специальности) 21.05.04 Горное дело
направленность «Открытые горные работы»/ «Обогащение полезных
ископаемых»/ «Подземная разработка рудных месторождений»

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) 180 часов, 5 з.е.

Виды занятий	Распределение по семестрам в часах	Всего часов
	5 семестр	
1	2	5
Общая трудоемкость	180	180
Аудиторные занятия, в т.ч.:	20	20
лекционные (ЛК)	8	8
практические (семинарские) (ПЗ, СЗ)	-	-
лабораторные (ЛР)	12	12
Самостоятельная работа студентов (СРС)	124	124
Форма промежуточного контроля в семестре*	экзамен	36
Контрольная работа (КР)	-	-

Краткое содержание курса

1. Основные определения физики горных пород. Плотностные свойства горных пород.
2. Механические свойства горных пород и массивов. Поведение горных пород под действием механических нагрузок
3. Тепловые свойства горных пород и массивов. Поведение горных пород при действии теплового поля
4. Электрические и магнитные свойства горных пород и массивов. Поведение горных пород при действии электромагнитного поля. Естественная радиоактивность горных и поведение горных пород при действии ионизирующих излучений
5. Гидравлические свойства горных пород. Элементы статики и динамики жидкостей и газов в горных породах
6. Физико-технические свойства горных пород в массиве и физические процессы горного производства.

Форма текущего контроля

В межсессионный период студенты изучают теоретический материал по учебному курсу и подготавливают журналы лабораторных испытаний горной породы. На сессии в результате устного собеседования выявляется уровень знаний студентом теоретических основ лабораторной работы и наличие журнала испытаний. По результатам собеседования студент получает допуск к выполнению работы на базе лабораторий научно-образовательного центра горного факультета.

Перечень лабораторных работ.

Лабораторная работа №1. Определение плотностных характеристик горных пород.

Лабораторная работа №2. Определение предела прочности горной породы при одноосном сжатии.

Лабораторная работа №3. Экспериментальное определение основных акустических параметров горных пород.

Лабораторная работа №4. Определение коэффициента крепости горной породы по М.М. Протоdjяконову.

Лабораторная работа №5. Определение гранулометрического (зернового) состава рыхлых пород (песка) ситовым методом.

Методические рекомендации к выполнению лабораторной работы

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен внимательно ознакомиться с вопросом, уяснить его объем и содержание, изучить теоретический материал по указанным источникам.

При оформлении журнала лабораторных испытаний необходимо соблюдать следующие требования:

- журнал должен включать: перечень необходимого оборудования и материалов для проведения работы; сведения о подготовке и проведении испытания; обработку результатов и итоговую таблицу с полученными данными испытаний образцов горных пород.

- журнал выполняется на листах формата А4, иметь титульный лист и соответствовать требованиям МИ 01-02-2018 [Общие требования к построению и оформлению учебной текстовой документации](#).

- таблицы результатов определения параметров образцов горной породы заполняются в процессе выполнения лабораторной работы;

- после проведения лабораторной работы журнал предоставляется преподавателю для проверки и защиты работы, при неполном ответе на вопросы или неверных выкладках в журнале, работа возвращается на доработку.

Перечень выполняемых лабораторных работ и примерное содержание журналов приведены ниже.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Определение объемной массы скальной и полускальной горной породы методом непосредственных измерений образца правильной формы

Определение объемной массы производится в соответствии с требованиями ГОСТ 30629-2011. «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний».

Оборудование и материалы:

- ✓ весы лабораторные;
- ✓ штангенциркуль;
- ✓ сушильный электрошкаф;
- ✓ щетка.

Подготовка к испытанию

Объемную массу определяют на пяти образцах-кубах с размером ребер 40...50 мм или образцах-цилиндрах диаметром и высотой 40...50 мм. Каждый образец очищают щеткой от рыхлых частиц, пыли и высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу.

Проведение испытания

Образцы, высушенные до постоянной массы, маркируют, взвешивают, измеряют во взаимно перпендикулярных плоскостях с точностью до 0,1 мм и определяют их объем. Результаты измерений заносят в таблицу.

Обработка результатов испытания

Среднюю плотность, ρ , г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}$$

где m — масса образца, г;

V — объем образца, см³.

Среднюю плотность горной породы вычисляют как среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности пяти образцов. По результатам испытаний заполняют таблицу.

Результаты определения объемной массы горной породы

Номер опыта	Номер образца	Размеры образца, мм			Объем образца, см ³	Масса образца, г	Объемная масса, г/см ³
		длина (диаметр)	ширина	высота			
1							
2							
3							
4							
5							
Среднеарифметическое значение объемной массы							

Определение плотности скальной и полускальной горной породы пикнометрическим методом

Определение плотности производится в соответствии с требованиями ГОСТ 30629-2011. «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний».

Оборудование и материалы:

- ✓ весы лабораторные;
- ✓ пикнометр вместимостью 100 мл;
- ✓ стаканчик для взвешивания;
- ✓ фарфоровая ступка;
- ✓ эксикатор;
- ✓ хлористый кальций безводный;
- ✓ сушильный шкаф;
- ✓ песчаная баня;
- ✓ щековая лабораторная дробилка;
- ✓ щетка;
- ✓ сито с размером отверстий 5 и 1,25 мм.

Подготовка к испытанию

Для испытания используют образцы, на которых определялась объемная масса. Каждый промаркированный образец очищают щеткой от пыли, измельчают в щековой лабораторной дробилке, просеивают на сите с размером отверстий 5 мм, подситовую фракцию перемешивают и полученную пробу квартованием сокращают до 150 г. Затем эту пробу измельчают в ступке, просеивают на сите с размером отверстий 1,25 мм, подситовую фракцию перемешивают и сокращают до 30 г.

Приготовленную пробу измельчают в порошок в фарфоровой ступке, насыпают в стаканчик для взвешивания или в фарфоровую чашку, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры над концентрированной серной кислотой или безводным хлоридом кальция, после чего отвешивают две навески массой по 10 г каждая.

Проведение испытания

Каждую навеску высыпают в чистый высушенный пикнометр и наливают дистиллированную воду в таком количестве, чтобы пикнометр был заполнен не более чем на половину своего объема. Пикнометр в слегка наклонном положении ставят на песчаную или водяную баню и кипятят его содержимое 15...20 мин для удаления пузырьков воздуха. Пузырьки воздуха могут быть удалены также путем выдерживания пикнометра под вакуумом в эксикаторе. После удаления воздуха пикнометр обтирают, охлаждают до комнатной температуры, доливают до метки дистиллированной водой и взвешивают. Освобождают пикнометр от содержимого, промывают, наполняют до метки дистиллированной водой комнатной температуры и вновь взвешивают.

Обработка результатов испытания

Истинную плотность ρ_0 , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m \cdot \rho_{\text{в}}}{m + m_1 - m_2}$$

где m – масса навески порошка, высушенного до постоянной массы, г;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, равная 1 г/см³;

m_1 – масса пикнометра с навеской и дистиллированной водой после удаления пузырьков воздуха, г.

m_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение пяти параллельных испытаний.

Результаты испытаний заносятся в таблицу.

Результаты определения плотности горной породы

Номер опыта	Масса навески высушенного порошка, г	Масса пикнометра с водой, г	Масса пикнометра с навеской и водой после удаления пузырьков, г	Плотность, г/см ³
1				
2				
Среднеарифметическое значение плотности				

Определение общей пористости

Пористость горной породы определяют на основании предварительно установленных значений объемной массы и плотности горной породы.

Пористость вычисляют по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right)$$

где ρ – объемная масса горной породы, г/см³;

ρ_0 – плотность горной породы, г/см³.

Определение объемной массы связных и рыхлых горных пород методом режущего кольца

Определение объемной массы связных горных пород производится в соответствии с требованиями ГОСТ 5180-2015. «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».

Оборудование и материалы:

- ✓ кольцо-пробоотборник;
- ✓ кольцо-насадка;
- ✓ лабораторные весы;
- ✓ штангенциркуль;
- ✓ нож;
- ✓ винтовой пресс;
- ✓ пластинки с гладкой поверхностью (из стекла, металла и т. д.);
- ✓ вазелин или консистентная смазка.

Подготовка к испытанию

Согласно требованиям таблицы выбирают режущее кольцо-пробоотборник.

Размеры кольца-пробоотборника

Наименование и состояние грунтов	Размеры кольца-пробоотборника			
	Толщина стенки кольца, мм	Диаметр внутренний d, мм	Высота кольца h, мм	Угол заточки наружного режущего края
Немерзлые глинистые породы	1.5...2.0	50	$0.8d \geq h > 0.3d$	Не более 30°
Немерзлые и сыпучемерзлые песчаные породы	2.0...4.0	≥ 70	$d \geq h > 0.3d$	Не более 30°
Мерзлые глинистые породы	3.0...4.0	≥ 80	$h=d$	45°

Кольца нумеруют, штангенциркулем измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до 0,1 см³.

Пластинки с гладкой поверхностью нумеруют и взвешивают.

Проведение испытания

Кольцо-пробоотборник смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки. Верхнюю зачищенную плоскость образца породы выравнивают, срезая излишки грунта ножом, устанавливают на ней режущий край кольца и винтовым прессом или вручную через насадку слегка вдавливают кольцо в породу, фиксируя границу образца для испытаний. Затем породу снаружи кольца обрезают на глубину 5...10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1...2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания породы, легким нажимом пресса или насадки насаживают кольцо на столбик породы, не допуская перекосов. После заполнения кольца породу подрезают на 8—10 мм ниже режущего края кольца и отделяют ее. Порода, выступающий за края кольца, срезается ножом, зачищается ее поверхность вровень с краями кольца, торцы закрывают пластинками.

При пластичной или рыхлой породе кольцо плавно, без перекосов вдавливают в породу и удаляют ее вокруг кольца. Затем зачищают поверхность породы, накрывают кольцо пластинкой и подхватывают его снизу плоской лопаткой.

Кольцо с породой и пластинками взвешивают.

Обработка результатов

Объемную массу породы, вычисляют по формуле (г/см³)

$$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V}$$

где m_1 – масса породы с кольцом и пластинками, г,

m_0 – масса кольца, г;

m_2 – масса пластинок, г;

V – внутренний объем кольца, см³.

Результаты испытания заносят в таблицу.

Плотность следует определять не менее чем для двух параллельных проб, отбираемых из исследуемого образца породы. Значение плотности вычисляют как среднее арифметическое результатов параллельных определений. Разница между параллельными определениями не должна превышать 0,04 г/см³ для песчаных пород и 0,03 г/см³ для глин и суглинков. Если разница превышает допустимую, количество определений следует увеличить.

Результаты определения объемной массы горной породы

Номер опыта	Внутренний объем кольца, см ³	Масса кольца, г	Масса пластинок, г	Масса породы с кольцом и пластинками, г	Объемная масса, г/см ³
1					
2					
Среднеарифметическое значение плотности					

Определение объемной массы горной породы методом взвешивания в воде.

Определение объемной массы связных, скальных и полускальных горных пород производится в соответствии с требованиями ГОСТ 5180-2015. «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».

Оборудование и материалы:

- ✓ нож;
- ✓ лабораторные весы;
- ✓ сушильный шкаф;
- ✓ нить;
- ✓ парафин технический;
- ✓ песчаная баня;

Подготовка к испытанию.

При определении объемной массы скальных и полускальных горных пород отбирают 5 образцов произвольной формы размером 40...70 мм, очищают щеткой от пыли и высушивают до постоянной массы. При определении объемной массы связной породы из монолита вырезают образец

объемом не менее 50 см³ и придают ему округлую форму, срезая острые выступающие части.

Образец обвязывают тонкой прочной нитью со свободным концом длиной 15...20 см, имеющим петлю для подвешивания к серьге весов. Парафин, не содержащий примесей, нагревают до температуры 57...60°С.

Проведение испытания.

Обвязанный нитью образец породы взвешивают. Образец покрывают парафиновой оболочкой, погружая его на 2...3 с в нагретый парафин. При этом пузырьки воздуха, обнаруженные в застывшей парафиновой оболочке, удаляют, прокалывая их и заглаживая места проколов нагретой иглой. Эту операцию повторяют до образования плотной парафиновой оболочки.

Охлажденный парафинированный образец взвешивают.

Плотность породы определяем методом обратного взвешивания. На весы устанавливают сосуд с водой и взвешивают его. Затем в жидкость догружают образец, подвешенный к штативу, и вновь взвешивают сосуд с водой и погруженным в нее образцом. Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают для проверки герметичности оболочки. Если масса образца увеличилась более чем на 0.02 г по сравнению с первоначальной, образец следует забраковать и повторить испытание с другим образцом.

Обработка результатов

Объемную массу породы ρ , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_p \cdot \rho_w}{\rho_p \cdot (m_4 - m_3) - \rho_w \cdot (m_1 - m)}$$

где m – масса образца породы до парафинирования, г;

m_1 – масса парафинированного образца, г;

ρ_p – плотность парафина, принимаемая равной 0.900 г/см³.

ρ_w — плотность воды при температуре испытаний, г/см³. Плотность воды, в зависимости от температуры, следует принимать по таблице 4 Приложения.

m_3 – масса сосуда с водой, г;

m_4 – масса сосуда с водой и погруженным в нее парафинированным образцом, г.

Объемную массу следует определять не менее чем для двух параллельных проб, отбираемых из исследуемого образца грунта. Значение объемной массы вычисляют как среднее арифметическое результатов параллельных определений. Разница между параллельными определениями не должна превышать 0,04 г/см³ для песчаных пород и 0,03 г/см³ для глин, суглинков, скальных и полускальных пород. Если разница превышает допустимую, количество определений следует увеличить.

Результаты испытаний заносят в таблицу.

Результаты определения объемной массы горной породы

Номер опыта	Масса образца до парафинирования, г	Масса парафинированного образца, г;	Масса сосуда с водой, г	Масса сосуда с водой и погруженным образцом, г	Объемная масса, г/см ³
1					
2					
Среднеарифметическое значение плотности					

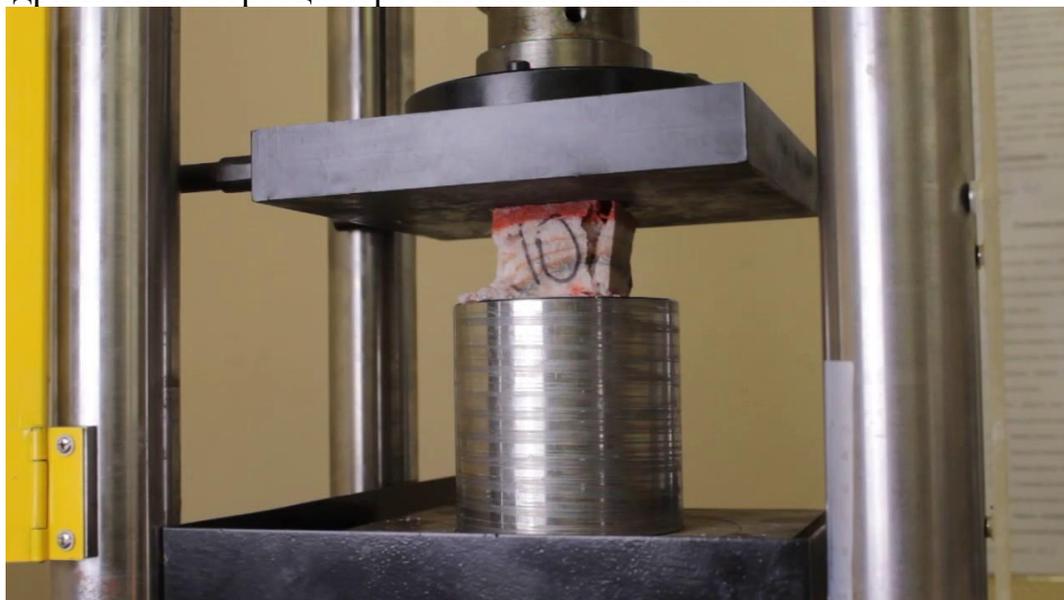
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение предела прочности горной породы при одноосном сжатии

Для определения предела прочности горной породы при одноосном сжатии применяют метод одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами и метод разрушения образцов-плиток плоскими соосными пуансонами. Испытания выполняются в соответствии с ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии»

Метод одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами.

Методика распространяется на скальные и полускальные горные породы с пределом прочности при одноосном сжатии не менее 5 МПа. Сущность метода заключается в измерении максимального значения разрушающего давления, приложенного к плоским торцам правильного цилиндрического образца через плоские стальные плиты.



Оборудование и материалы.

- испытательная установка (гидравлический пресс)
- штангенциркуль

Подготовка к испытанию.

Для испытания изготавливают цилиндрические или призматические (с квадратным поперечным сечением) образцы. Образцы изготавливают выбуриванием или выпиливанием на камнерезной машине из штуффов и кернов, их торцевые поверхности шлифуют на шлифовальном станке. Размеры образцов должны соответствовать указанным в таблице.

Параметр образца	Размеры, мм, при испытаниях		
	массовых		сравнительных
	предпочтительные	допускаемые	
Диаметр (сторона квадрата)	42 ± 2	От 30 до 80 включ.	42 ± 2
Отношение высоты образца к его диаметру	От 1,0 до 2,0	От 0,7 до 2,0	2 ± 0,05

Измерения производят штангенциркулем с погрешностью ±0,1 мм. Диаметр измеряют в трех местах по высоте (в середине и у торцов) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров по всем измерениям не более 0,5 мм. За расчетный диаметр принимают среднее арифметическое результатов всех измерений. Количество образцов при массовых испытаниях должно обеспечивать относительную погрешность результатов их испытаний не более 20 % при надежности не ниже 0,8 и быть не менее 6.

Проведение испытания.

Образец размещают между стальными плитами, совмещая ось образца с центром нижней опорной плиты испытательной машины, нагружают равномерно до разрушения со скоростью 1...5 МПа/с.

Записывают максимальную величину разрушающей образец силы P в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем испытательной машины, с указанием отношения $m = h/d$ для образца (отношения высоты образца к его диаметру).

Обработка результатов

Значение предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ в МПа для каждого i -го образца выборки вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = K_{в} \cdot \frac{P}{S} \cdot 10$$

где P - разрушающая образец сила, кН;

S - площадь поперечного сечения образца, см²;

$K_{в}$ - безразмерный коэффициент высоты образца, равный 1,00 при отношении высоты к диаметру $m=2\pm 0,05$. Для других значений отношения m коэффициент $K_{в}$ устанавливают по таблице.

Значение коэффициента $K_{в}$

m	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
$K_{в}$	0,68	0,72	0,76	0,80	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00

Результаты испытания заносятся в таблицу

Результаты определения предела прочности на одноосное сжатие

№	Высота образца,	Диаметр образца,	Коэфф-ициент	Площадь поперечного	Разрушающая образец сила,	Предел прочности при
---	-----------------	------------------	--------------	---------------------	---------------------------	----------------------

	см	см	K_B	сечения образца, $см^2$	кН;	одноосном сжатии, МПа
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Среднее арифметическое значение предела прочности при одноосном сжатии						

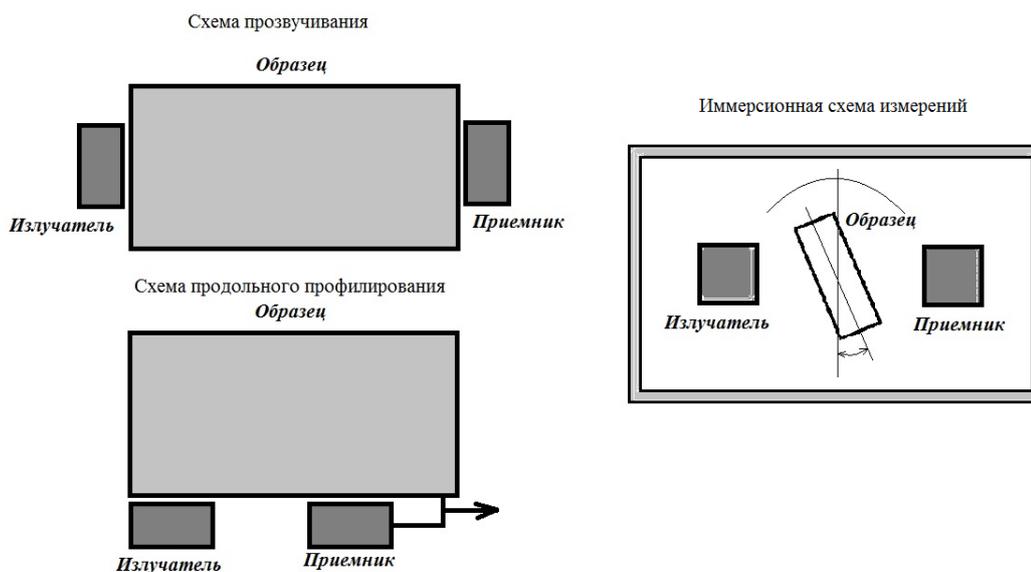
За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение $\sigma_{сж}$ по 6 испытаниям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Экспериментальное определение основных акустических параметров горных пород.

В настоящее время исследования горных пород на образцах ведутся в основном в ультразвуковом частотном диапазоне (более 20 кГц), так как применение ультразвука для исследований обеспечивает наивысшую точность измерения акустических свойств горных пород.

При изучении акустических свойств горных пород применяют три схемы ультразвукового импульсного метода:

- схему прозвучивания, основанную на использовании прямых волн при расположении излучателя и приемника колебаний на противоположных торцах образца;
- схему продольного профилирования, основанную на использовании прямых волн при переменном расстоянии между излучателем и приемником колебаний, расположенных на поверхности вдоль образца;
- иммерсионную схему, при которой излучатель, приемник и образец размещаются в сосуде с жидкостью, где обеспечивается поворот образца.



Схемы измерений при изучении акустических свойств горных пород

Наиболее простой в применении является схема прозвучивания. При использовании ультразвукового импульсного метода в образец непрерывно излучаются в виде короткого «пакета» упругие импульсы. Они принимаются, усиливаются и подаются на регистрирующий прибор, с помощью которого измеряются время распространения импульсов и их амплитуда для случаев, когда излучатель и приемник находятся в контакте и когда они разделены испытуемым образцом. По времени прохождения ультразвукового импульса через породу при известном расстоянии между излучателем и приемником судят о скорости распространения продольной и поперечной волн в образце.

Точность измерения акустических характеристик горных пород определяется многими факторами, основными из которых являются: неоднородность структуры горных пород; наличие контактных слоев между образцом, излучателем и приемником; изменение частотного спектра импульса при его распространении в образце; наличие дифракционного расхождения пучка; потери в электроакустическом тракте экспериментальной установки. Значения скоростей распространения продольной и поперечной волн определяются с точностью 1—2 %.

Оборудование и материалы:

- прибор для определения скорости прохождения упругих акустических волн «Ультразвук». Прибор «Ультразвук» предназначен для определения скорости распространения упругих акустических волн (продольных и поперечных) в образцах горных пород при сквозном прозвучивании и соответствует ГОСТ 21153.7–75. «Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн».

- штангенциркуль.



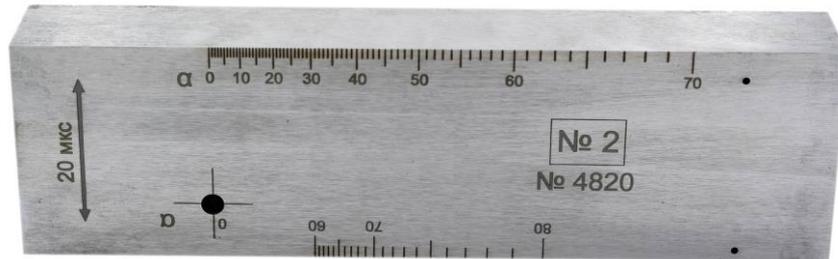
Прибор для определения скорости прохождения упругих акустических волн «Ультразвук»;

Подготовка к испытанию.

Прибор запускается и подготавливается к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Время задержки импульса определяется по следующей методике. Измеряют высоту L_1 и ширину L_2 стандартного образца СО. Образец

устанавливается в кернодержатель стороной L1 и замеряется время прохождения волны T1.



Образец устанавливается в кернодержатель стороной L2 и замеряется время прохождения волны T2. Время задержки T1 и T2 замеряется для продольной P и поперечной S волн и записывается в таблицу.

Время задержки (мкс) определяется по формуле:

$$T_{з1} = T1 - \frac{L1 \cdot (|T1 - T2|)}{|L1 - L2|}$$

$$T_{з2} = T2 - \frac{L2 \cdot (|T1 - T2|)}{|L1 - L2|}$$

Времена задержек должны совпадать, при небольшом разбросе в 0,4 мкс необходимо взять среднее значение.

Результаты измерений и расчета занести в таблицу

Расчет времени задержки импульса

Продольная волна P				Поперечная волна S			
L1, мм	T1, мкс	L2, мм	T2, мкс	L1, мм	T1, мкс	L2, мм	T2, мкс
Tз1=				Tз1=			
Tз2=				Tз2=			

Проведение испытания.

Испытание проводится на 6 цилиндрических образцах с отношением длины к диаметру равном 2:1. Измеряется высота образца. Образец помещается в кернодержатель, запускается прибор в режиме генерации сначала продольной, а затем поперечной волны и каждый раз фиксируется время прохождения импульса от излучателя до приемника T_p и T_s, результаты заносятся в таблицу

Обработка результатов.

Скорость прохождения продольных волн P определяется по формуле (м/с)

$$V_p = \frac{L}{t_p}$$

Скорость прохождения поперечных волн S определяется по формуле (м/с)

$$V_s = \frac{L}{t_s}$$

где L – высота образца, м

t_p и t_s – время прохождения продольной и поперечной через образец (с), которые определяются по формулам:

$$t_p = T_p - T_3, \text{ мкс}$$

$$t_s = T_s - T_3, \text{ мкс}$$

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу.

Результаты определения скоростей распространения продольной и поперечной волны.

№ образца	Высота образца, см	Продольная волна Р			Поперечная волна S		
		T_p , мкс	t_p , мкс	V_p , мкс	T_s , мкс	t_s , мкс	V_s , мкс
1							
2							
3							
4							
5							
6							
Среднее арифметическое скорости распространения: продольной волны				поперечной волны			

За конечный результат принимаем среднее арифметическое 6 испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Определение коэффициента крепости горной породы по М.М. Протодяконову

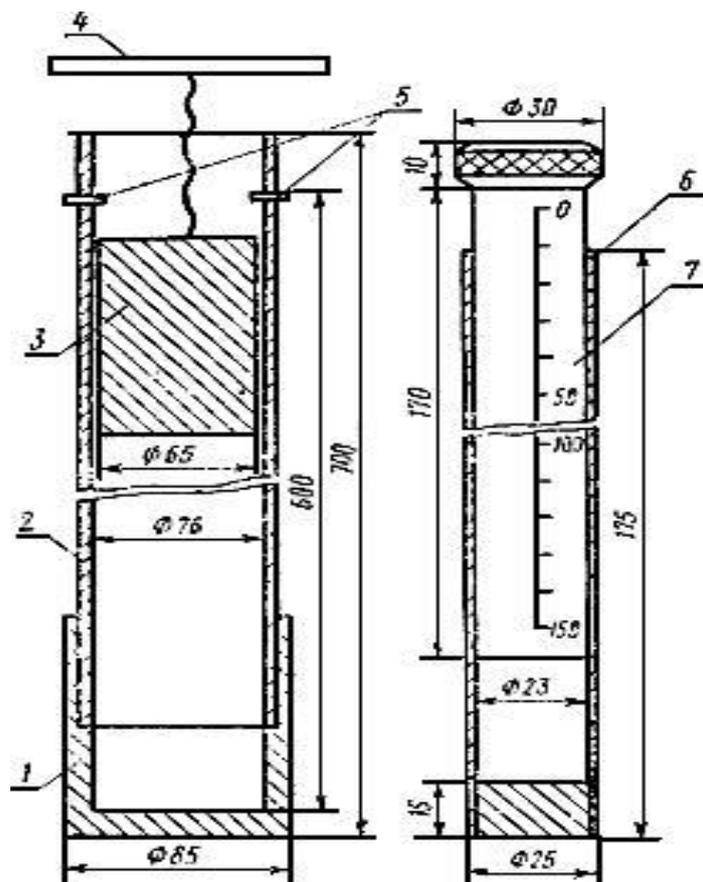
Для экспериментального определения коэффициента крепости слабых пород, из которых изготовление образцов правильной формы затруднено или невозможно, проф. М. М. Протодяконов в 1952 г разработал метод, основанный на толчении (дроблении) породы. Метод удобен для получения предварительных данных о прочности горных пород и угля при решении вопросов нормирования работ, механизации и автоматизации выемки полезного ископаемого и проведении горных выработок и т.д.

Сущность метода заключается в определении коэффициента крепости, который пропорционален отношению работы, затраченной на дробление горной породы, к вновь образованной при дроблении поверхности, оцениваемой суммарным объемом частиц размером менее 0,5 мм.

Испытания производятся в соответствии с ГОСТ 21153.1-75 «Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодяконову».

Оборудование и материалы:

- прибор определения крепости ПОК;
- весы лабораторные;
- штангенциркуль;
- сито с сеткой №05 для просеивания породы после дробления.



Прибор ПОК

Подготовка к испытанию.

Прибор определения крепости ПОК, состоит из стакана 1, вставленного в него трубчатого копра 2, внутри которого свободно помещается гиря 3 массой $2,4 \pm 0,01$ кг с ручкой 4, привязанной к гире шнуром. Трубчатый копер имеет в верхней части отверстия, в которые вставляются штифты 5, ограничивающие подъем гири. В комплект прибора входит объемомер, состоящий из стакана 6 и плунжера 7 со шкалой измерений с диапазоном показаний от 0 до 150 мм вдоль его продольной оси.

Отобранную пробу горной породы раскалывают молотком на твердом основании до получения кусков размером 20-40 мм. Из измельченного материала пробы отбирают двадцать навесок массой 40-60 г каждая.

Число сбрасывания гири на каждую навеску устанавливают при дроблении первых пяти навесок. Каждую навеску отдельно дробят в стакане гирей, падающей с высоты 60 см. Число сбрасываний гири принимают в зависимости от ожидаемой крепости породы, обычно от 5 до 15 сбрасываний на каждую навеску. При очень мягких породах число сбрасываний может быть сокращено до 1, а при очень крепких - увеличено до 30.

При дроблении стакан с вставленным в него трубчатым копром обязательно устанавливают на жесткое массивное основание: железобетонный или асфальтированный пол, стальную плиту (массой не менее 20 кг, толщиной около 10 см).

Правильность выбранного режима испытания контролируют после просеивания первых пяти раздробленных навесок на сите до прекращения выделения подрешетного продукта и замера его объема в объемомере. При получении столбика мелочи высотой 20-100 мм по шкале плунжера число сбрасываний на каждую навеску сохраняют для оставшихся пятнадцати навесок. При меньшей или большей высоте столбика мелочи в объемомере число сбрасываний корректируют соответственно в большую или меньшую сторону.

Проведение испытания.

Оставшиеся пятнадцать навесок дробят в приборе последовательно в установленном режиме испытания: при постоянном числе сбрасываний гири и высоте подъема гири 60 см. После дробления каждой пяти навесок их просеивают на сите, подрешетный продукт сита ссыпают в объемомер, измеряют плунжером высоту столбика мелочи и записывают ее в таблицу.

Обработка результатов.

Коэффициент крепости горной породы вычисляют по формуле:

$$f = \frac{20 \cdot n}{h}$$

где: 20 - эмпирический числовой коэффициент, обеспечивающий получение общепринятых значений коэффициента крепости и учитывающий затраченную на дробление работу;

n - число сбрасываний гири при испытании одной навески;

h - высота столбика мелкой фракции в объемомере после испытания пяти навесок, мм.

За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов четырех определений.

Результаты измерений и вычислений заносим в таблицу.

Результаты определения коэффициента крепости

Номер навески	Число сбрасываний гири	Высота столбика мелкой фракции	Коэффициент крепости
1			
2			
3			
4			

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Определение гранулометрического (зернового) состава рыхлых пород (песка) ситовым методом.

Оборудование и материалы.

Для определения гранулометрического (зернового) состава рыхлых пород (песка) ситовым методом необходимы следующая аппаратура и оборудование:

- сита размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм;
- весы лабораторные;
- весы технические с погрешностью взвешивания не более 0,1 %;

- ступка фарфоровая;
- пестик с резиновым наконечником;
- чашка фарфоровая;
- груша резиновая;
- кисточка;
- песчаная баня;
- шкаф сушильный.

Подготовка к испытанию

Массу средней пробы принимают в соответствии с таблицей

Минимальная масса образца, необходимая для просеивания, в зависимости от вида грунта

Диаметр частиц D ₉₀ , мм	Вид грунта	Минимальная масса образца, необходимая для просеивания, г
Св 10	Гравий (дресва)	2000
5		
Св. 2		
1	С содержанием песчаных частиц	100
Св 0.5		
0.25	С содержанием пылеватых и глинистых частиц	50
До 0.1		

Стандартный комплект сит должен состоять из семи сит: с круглыми штамповыми отверстиями диаметром 10; 5; 2; 1 мм и трех сит из медной или латунной сетки простого плетения с отверстиями квадратной формы размером 0,5; 0,25; 0,1 мм.

При выделении частиц крупностью от 10 до 0,5 мм гранулометрический состав определяется ситовым методом без промывки водой; при выделении частиц крупностью от 10 до 0,1 мм — с промывкой водой (обычно для глинистых песков).

Проведение испытания

Разделение грунта на фракции без промывки водой

Доводя пробу до воздушно-сухого состояния, растирают комки в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником. Отбирают среднюю пробу методом квартования и взвешивают на весах в соответствии с таблицей 9.4.

Сита монтируют в колонку, размещая их от поддона в порядке увеличения размера отверстий. На верхнее сито надевают крышку. Отобранную пробу переносят на верхнее сито первого набора (диаметром отверстий от 10 до 0,5 мм), закрывают крышкой и просеивают с помощью легких боковых ударов ладонями рук до полной сортировки материала. При просеивании пробы массой более 1000 г породу следует высыпать в верхнее сито в два приема. Фракции, задержавшиеся на ситах, высыпают, начиная с верхнего сита, в ступку и дополнительно растирают пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивают на тех же ситах. Полноту

просеивания фракций проверяют встряхиванием каждого сита над листом бумаги. Если при этом на лист выпадают частицы, то их высыпают на следующее сито; просев продолжают до тех пор, пока частицы не перестанут выпадать на бумагу.

Фракции, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, необходимо взвесить и суммировать массы всех фракций. Если полученная сумма масс всех фракций превышает более чем на 1 % массу взятой для анализа пробы, то анализ следует повторить. Потерю породы при просеивании разносят по всем фракциям пропорционально их массе.

Разделение грунта на фракции с промывкой водой

Подготавливают, отбирают и взвешивают пробу породы. Навеску помещают в фарфоровую ступку, смачивают водой и тщательно растирают пестиком с резиновым наконечником. Навеску частями переносят на сито диаметром отверстий 0,1 мм и отмучивают под струей воды. Отмучивание продолжается до тех пор, пока из сита не будет вытекать прозрачная вода. Оставшиеся на сите промытые частицы количественно переносят в заранее взвешенную фарфоровую чашку, выпаривают на песчаной бане и высушивают в сушильном шкафу при $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Взвешивают чашку с промытой породой.

Массу частиц породы размером менее 0,1 мм следует определить по разности между весом средней пробы, взятой для анализа, и весом высушенной пробы грунта после промывки. Порода просеивается сквозь набор сит. Полноту просеивания фракций сквозь каждое сито следует проверять над листом бумаги.

Каждую фракцию, задержавшуюся на ситах, следует взвесить отдельно. Потерю грунта при просеивании разносят по фракциям пропорционально их массе.

Обработка результатов

Содержание в грунте каждой фракции следует вычислять по формуле %,

$$A = \frac{g_{\Phi}}{g_1} \cdot 100$$

где g_{Φ} – масса данной фракции грунта, г;

g_1 – масса средней пробы грунта, взятой для анализа, г.

Результаты анализа заносятся в таблицу, в которой указывают процентное содержание в грунте фракций:

а) размером более 10; 10—5; 5—2; 2—1; 1—0,5 и менее 0,5 мм — при разделении грунта без промывки водой;

б) размером более 10; 10—5; 5—2; 2—1; 1—0,5; 0,5—0,25; 0,25—0,1 и менее 0,1 мм — при разделении грунта с промывкой водой.

Результаты определения гранулометрического состава

Показатель	Ситовой анализ					Ситовой анализ с промывкой водой			
	Фракция породы, мм								
	Более 10	10...5	5...2	2...1	1...0,5	Менее 0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	Менее 0.1
Масса пробы, г									
Масса фракции, г									
Содержание фракции, %									

Форма промежуточного контроля

Перечень примерных вопросов для подготовки к экзамену.

1. Строение и состав минералов и горных пород.
2. Горные породы как объект разработки. Образец, горная порода, массив.
3. Классификация физико-технических свойств горных пород.
4. Влияние минерального состава и строения горных пород на их свойства.
5. Физические процессы в горных породах.
6. Влияние внешних полей на свойства горных пород.
7. Физические процессы горного производства.
8. Классификация пород по физико-техническим свойствам.
9. Плотность пород.
10. Напряжение и деформации в породах.
11. Упругие свойства пород.
12. Влияние состава и строения пород на их упругие свойства.
13. Пластические свойства горных пород.
14. Реологические свойства горных пород.
15. Акустические свойства горных пород.
16. Гидравлические свойства горных пород.
17. Тепловые свойства горных пород.
18. Электромагнитные свойства горных пород.
19. Радиационные свойства горных пород.
20. Паспортизация горных пород по физико-техническим параметрам.
21. Физическое состояние горных пород в массиве.
22. Методы изучения строения, состава и состояния массивов горных пород.
23. Крепость горных пород.

24. Хрупкость и пластичность горных пород.
25. Твёрдость горных пород.
26. Вязкость горных пород.
27. Дробимость горных пород.
28. Абразивность горных пород.
29. Содержание жидкостей и газов в породах.
30. Перемещение жидкостей и газов в породах.
31. Физико-технические параметры пород в массиве.
32. Строение, состав и состояние разрыхленных горных пород.
33. Физико-технические параметры разрыхленных пород.
34. Мерзлые горные породы.
35. Осушение массивов.
36. Разупрочнение пород.
37. Упрочнение пород.
38. Работа разрушения горных пород.
39. Показатель трудности разрушения горных пород.
40. Буримость горных пород.
41. Взрываемость горных пород.
42. Эскавируемость горных пород.
43. Показатель трудности транспортирования пород.
44. Дробление и измельчение горных пород.
45. Свойства пород как источники информации.
46. Правила отбора, хранения и транспортирования образцов горных пород.
47. Определение плотностных характеристик горной породы.
48. Определение истинной плотности горных пород.
49. Понятие пористости и ее экспериментальное определение.
50. Гранулометрический состав дисперсных пород и методы его определения.
51. Определение предела прочности породы на одноосное сжатие.
52. Методы определения предела прочности породы на одноосное растяжение.
53. Определение предела прочности при срезе со сжатием.
54. Понятие влажности, экспериментальное определение влажности горных пород.
55. Определение коэффициента фильтрации горных пород.
56. Определение акустических свойств горных пород.
57. Определение тепловых свойств горных пород.
58. Определение динамической прочности породы методом толчения.
59. Определение угла естественного откоса песка.
60. Определение дробимости щебня.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Добшинов В.Ж. Физика горных пород : учеб. пособие / Добшинов Валерий Жигмитович. - Чита : ЧитГТУ, 2003. - 160 с. - ISBN 5-9293-0073-9 : 56-00.
2. Бабелло В.А. Лабораторный практикум по дисциплинам "Механика грунтов" и "Геомеханика" [Текст] / В. А. Бабелло. - Чита : ЗабГУ, 2016. - 112 с. - ISBN 978-5-9293-1818-4 : 112-00.
3. Борщ-Компониец В.И. Практическая механика горных пород / В. И. Борщ-Компониец; Борщ-Компониец В.И. - Moscow : Горная книга, 2013. - . - Практическая механика горных пород [Электронный ресурс] / Борщ-Компониец В.И. - М. : Горная книга, 2013. - ISBN 978-5-98672-342-6.
4. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород: Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1984. – 359 с.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам:

1. <https://e.lanbook.com/> Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань».
2. <http://www.studentlibrary.ru/> Электронно-библиотечная система «Консультант студента»
3. <http://www.trmost.com/> Электронно-библиотечная система «Троицкий мост»
4. <http://diss.rsl.ru/> Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки.
5. <https://elibrary.ru/> Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
6. <http://www.edu.ru> Федеральный портал «Российское образование»
7. <http://window.edu.ru> Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» предоставляет свободный доступ к каталогу образовательных Интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования.
8. <http://megabook.ru/> Энциклопедии Кирилла и Мефодия
9. <http://www.krugosvet.ru/> Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия «Кругосвет»
10. <http://www.glossary.ru/> Тематические толковые словари
11. <https://dic.academic.ru/> Словари и энциклопедии
12. <http://www.nlr.ru/> Российская национальная библиотека
13. <https://www.prlib.ru/> Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина
14. <http://www.gpntb.ru/> Государственная публичная научно-техническая библиотека России
15. <http://www.rasl.ru/> Библиотека Российской Академии наук
16. <http://studentam.net/> Электронная библиотека учебников
17. <http://techlib.org> Библиотека технической литературы

18. <http://rvb.ru/> Русская виртуальная библиотека

Ведущий преподаватель



А.А. Якимов

Заведующий кафедрой



А.А. Якимов