

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области горнодобывающей промышленности
в качестве практикума для обучающихся по специальности
1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2022

УДК 624.13(076)
ББК 26.367.1я73
Г907

Авторы:

В. Л. Моляренко, А. Н. Галкин,
А. И. Павловский, С. В. Андрушко

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук,
член-корреспондент НАН Беларуси М. А. Богдасаров,
кандидат геолого-минералогических наук С. И. Гримус

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Грунтоведение : практикум / В. Л. Моляренко [и др.] ;
Г907 М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т
им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – 90 с.
ISBN 978-985-577-873-9

Практикум содержит краткие теоретические сведения и задания к лабораторным работам по курсу «Грунтоведение».

Адресован студентам специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

УДК 624.13(076)
ББК 26.367.1я73

ISBN 978-985-577-873-9

© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Лабораторная работа 1. Общие вопросы исследования грунтов в грунтовой лаборатории.....	5
Лабораторная работа 2. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов ареометрическим методом (по ГОСТ 12536-2014)	14
Лабораторная работа 3. Определение пористости песчаных грунтов методом насыщения	24
Лабораторная работа 4. Определение плотности песков в рыхлом и плотном сложении.....	28
Лабораторная работа 5. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде (по ГОСТ 5180-2015).....	31
Лабораторная работа 6. Определение пределов пластичности.....	35
Лабораторная работа 7. Определение набухания в приборе ПНГ (по ГОСТ 24143-80).....	41
Лабораторная работа 8. Определение водопрочности глинистых грунтов по размоканию в воде	46
Лабораторная работа 9. Компрессионная сжимаемость грунтов (на основе ГОСТ 12248-2010)	50
Лабораторная работа 10. Фильтрационная консолидация дисперсных грунтов (на основе ГОСТ 12248-2010)	59
Лабораторная работа 11. Одноплоскостной срез грунтов (по ГОСТ 12248-2010)	67
Лабораторная работа 12. Угол естественного откоса песчаных грунтов..	
Лабораторная работа 13. Определение водопроницаемости грунта в трубке Каменского	73
Лабораторная работа 14. Определение удельного электрического сопротивления горных пород.....	76
Лабораторная работа 15. Определение максимальной молекулярной влагоёмкости глинистых грунтов методом влагоёмких сред	81
Литература	85
Приложение А. Гранулометрическая классификация глинистых и песчаных грунтов (по В. В. Охотину, 1940 г.).....	89
	90

ПРЕДИСЛОВИЕ

Грунтоведение в учебном плане специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» относится к циклу специальных дисциплин компонента учреждения высшего образования.

Грунтоведение – наука о грунтах и их свойствах. В современном понимании *грунты* – это любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека.

Актуальность изучения грунтоведения связана с тем, что свойства грунтов, которые широко используются во всевозможных оценках и прогнозах, определяются их составом, строением и состоянием.

Целью практикума «Грунтоведение» является овладение студентами знаниями о грунтах и горных породах, рассматриваемых как многокомпонентные динамические системы.

Предлагаемый практикум написан в соответствии с учебной программой, разработанной на кафедре геологии и географии Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

Настоящее пособие состоит из 15 лабораторных работ, обеспечивает формирование необходимых умений и навыков по дисциплине, позволяющих изучить грунты и их свойства и закрепить теоретические знания, полученные на лекционных занятиях.

Практикум по курсу «Грунтоведение» подготовлен коллективом авторов из числа преподавателей учреждений высшего образования. Рассматривается базовый элемент дидактического и учебно-методического обеспечения соответствующего курса, содержит иллюстративный и табличный материал. При этом следует отметить, что отечественные практикумы по дисциплине отсутствуют. Большое внимание уделено ознакомлению студентов с методиками исследования состава и свойств грунтов, нормативными документами, практикой проведения испытаний, а также особенностями применяемых методик, оборудования, что делает издание актуальным.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ В ГРУНТОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Полнопрофильная грунтовая лаборатория состоит из нескольких (не менее 5) отдельных помещений.

В помещении для проведения лабораторных экспериментов с грунтами установлены лабораторные приборы. Организованы рабочие места и зоны (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Лаборатория грунтоведения

Помещение для хранения образцов. Здесь установлены стеллажи для образцов и монолитов грунта. Имеется оборудование (мельницы, ступки) для дробления образцов и подготовки их к анализу. Помещение оборудовано мойкой с холодной и горячей водой, системой улавливания взвесей грунта (во избежание засорения канализации).

Термическая. Здесь проводят сушку и прокаливание образцов в шкафах и муфельных печах, имеется также дистиллятор для получения дистиллированной воды (рисунок 1.2).

Весовая. Помещение оборудуется техническими и аналитическими весами. Сейчас, в основном, используются технические весы в электронном исполнении (рисунок 1.3).

Склад. Здесь хранится неисправное и неиспользуемое оборудование, запасные части к приборам, посуда и другие материалы, необходимые для проведения экспериментов.



Рисунок 1.2 – Термическая комната



Рисунок 1.3 – Весовая комната

1.1 Охрана труда в грунтовой лаборатории

Общие положения

Работники лаборатории (студенты) допускаются к работе только после прохождения инструктажа по технике безопасности и охране труда. Повторный инструктаж проводится не реже одного раза в шесть месяцев. Проведение предварительного и повторного инструктажа должно быть зарегистрировано в «Журнале регистрации инструктажа по технике безопасности».

Работники лаборатории должны пройти инструктаж о правилах и способах тушения пожара в условиях лаборатории и по оказанию помощи при отравлении ядовитыми веществами.

В лаборатории должны быть аптечка с набором медикаментов и перевязочных средств, необходимых для оказания медицинской помощи. Каждый работник должен уметь оказать первую доврачебную помощь.

Работники лаборатории должны быть обеспечены спецодеждой установленного образца, а также средствами индивидуальной защиты (кислото-щелочные перчатки, передники, защитные очки, диэлектрические перчатки).

Рабочие помещения химических и геотехнических лабораторий, а также складов химических реактивов должны соответствовать требованиям «Инструкции по устройству, оборудованию и содержанию лабораторных помещений».

Проводка воды, электричества и газа к рабочим местам должна отвечать правилам техники безопасности и требованиям промсанитарии.

Лаборатория должна быть оснащена системой проточно-вытяжной вентиляции. Моечное помещение должно быть обеспечено горячей водой.

По окончании рабочего дня должно быть проверено выключение всех электронагревательных приборов, воды и газа. Производственные отходы должны быть вынесены из лаборатории.

1.2 Электрооборудование

В лаборатории должны быть электрические схемы сетей (силовой, осветительной и сигнализации) с указанием на них следующих технических данных: род тока, напряжение, мощность приемников электроэнергии, установки защиты типов электрооборудования, месторасположение электрооборудования и заземлений.

Установленное электрооборудование должно соответствовать проекту, паспорту установки, техническим условиям или ГОСТу. На каждую электроустановку должен быть составлен паспорт, в котором отмечаются все виды ремонта и вносимые изменения. Электроустановки должны обслуживаться и периодически осматриваться электромеханиками. Результаты осмотра заносятся в книгу осмотра и ремонта электрооборудования.

Электрооборудование лабораторий должно блокироваться одним рубильником или пускателем, расположенным на щите, в доступном и удобном для подхода работников месте.

Не допускается использование в электросети вместо плавких или автоматических разного рода самодельных предохранителей (жучков) или предохранителей, рассчитанных на большую силу тока, чем указано в паспорте схемы сети; заклеивание и закрывание электропроводки и электроарматуры бумагой, плакатами и т. д., использование бумажных колпаков для ламп.

Запрещается ставить электроприборы на неизолированную поверхность стола.

Запрещается оставлять без надзора в течение длительного времени включенные в сеть электроприборы.

Перед включением сушильных и муфельных печей необходимо убедиться в отсутствии внутри них посторонних предметов.

Пол, где располагаются электроприборы, должен быть покрыт резиновым ковриком.

Включение рубильников и других открытых пускателей без резиновых диэлектрических перчаток запрещается. Диэлектрические перчатки проверяются на электропроводность не реже одного раза в шесть месяцев.

1.3 Подготовка проб

Обработка проб, подготовка грунтов к анализам, разделение проб грунта без промывки, мытье посуды и приборов должны производиться в специальном помещении.

Запрещается дробление грунтов и горных пород ручным способом без предохранения лица от осколков и пыли. Запрещается просеивание грунтов и горных пород в ситах без плотно закрытых крышек.

При мытье химической и лабораторной посуды хромпиком (хромовая смесь) необходимо предохранять одежду и кожу от ожогов.

Запрещается выливать и выбрасывать в моечную раковину не нейтрализованные концентрированные растворы кислот и щелочей, их соли и другие ядовитые вещества.

Переливание больших количеств 25 %-ного раствора аммиака необходимо производить с осторожностью и на открытом воздухе.

Фильтрация керосина или бензина следует производить в вытяжном шкафу и вдали от работающих нагревательных приборов.

Запрещается хранить поврежденные ртутные термометры в помещении лаборатории.

Запрещается доводить до кипения парафин.

Запрещается кипятить пикнометры с керосином на песчаной бане.

1.4 Геотехнические работы

При работе с компрессионными приборами запрещается оставлять прибор без надзора до снятия нагрузки или давления. Разрешается подходить к прибору только для снятия отсчета по индикатору. В остальное время работник, обслуживающий прибор, должен находиться на расстоянии не менее полуторной длины подвески. Другим лицам находиться около прибора запрещается.

Пружину передачи горизонтальной нагрузки сдвигового прибора необходимо периодически осматривать, деформированные детали своевременно заменять новыми.

Манометры на приборах и редукторах баллонов должны быть запломбированы. Проверять манометры следует не реже одного раза в год.

Рабочее давление на манометрах не должно превышать половины шкалы.

При работе с вакуумными приборами (вакуумные сушильные шкафы и колпаки) снятие вакуума должно производиться постепенно.

Запрещается работать на приборах с ременными приводами без защитного ограждения.

Запрещается работать на гидравлических прессах без защитного экрана.

1.5 Правила взвешивания на весах

Взвешивание на рычажных теххимических весах.

Весы запрещается переносить с места на место; обращаться с ними следует осторожно, избегая рывков и других резких движений.

Перед началом работы необходимо проверить горизонтальное положение весов, используя для этого отвес и установочные винты; проверить их равновесие, определяя его положение. Плавно открыть арретирующее устройство по отклонениям стрелки весов. Если оно отсутствует, то добиваются равновесия с помощью балансировочных гаек. Нельзя задерживать качание стрелки и подводить ее к нулю руками.

На чашки весов запрещается ставить горячие или грязные предметы, а также брать разновески (гирьки) без пинцета.

Класть на весы разновески и взвешиваемые предметы. Снимать гирьки можно только при арретированных весах.

Взвешиваемые предметы надо класть на левую чашку и обязательно в «тару» (часовом стекле, бюксе, листочке бумаги, химическом стакане, склянке и т. п.), предварительно определив вес тары.

Разновески кладут на правую чашку, беря пинцетом; в случае несоответствия их со взвешиваемым предметом заменяют на очередную, возвращая прежнюю на свое место в футляре. Класть разновески на чашки весов следует так, чтобы центр чашки не смещался и разновески можно было бы подсчитать, не снимая их с чашки. Держать разновески в руках и класть их на стол запрещается. Это может загрязнить их и повлиять на вес.

При выполнении одной работы взвешивать нужно на одних и тех же весах с одними и теми же разновесами. Итог взвешивания с точностью до 0,01

г записывают по числу разновесок на чашке весов и повторно его проверяют, когда разновески снимают с чашки весов, начиная с самой крупной гирьки.

Как и любой другой прибор грунтовой лаборатории, после окончания работы весы должны быть чистыми и в полной исправности.

Взвешивание на электронных весах.

Порядок контроля работоспособности весов.

Включить весы в сеть через блок питания, нажать клавишу «I/Q» и выдержать весы во включенном состоянии не менее 30 с.

При включении весов клавишей «I/Q» на индикаторе появляются сегменты «888888» и производится самотестирование электронной системы весов, после чего раздается звуковой сигнал и на индикаторе появляются нулевые показания с символом единиц измерения массы, установленных в первом диапазоне.

Калибровка весов.

1 После прогрева весов выполняют калибровку в следующей последовательности:

- обнулить показания весов, нажав клавишу TARA;
- нажать клавишу TARA и удерживать ее до появления на индикаторе значения массы гири для калибровки;
- поместить гирю в центр чашки;
- весы калибруются автоматически;
- появление на индикаторе символа установления показаний и звукового сигнала свидетельствуют о завершении процесса калибровки;
- снять гирю.

Если на индикаторе устанавливаются показатели, отличные от номинального значения массы калибровочной гири более чем на 1 единицу дискретности отсчета, то необходимо повторить калибровку.

2 Весы необходимо калибровать после каждого прогрева, перед первым измерением и в процессе эксплуатации через 4 ч. Необходимо также перекалибровать весы после перемещения или при изменении температуры в помещении более чем на 2 °С за 1 ч.

Порядок работы.

1 Для измерения массы предмета установить на чашку весов (при необходимости) тару. Выборка массы тары во всех режимах работы производится кратковременным нажатием клавиши TARA, при этом на индикаторе устанавливаются нулевые показания.

2 Поместить на чашку весов (в тару) взвешиваемое вещество, дождаться установления показаний весов – появления символа единиц и измерения массы. Значение массы вещества отобразится на индикаторе.

3 На весах нельзя взвешивать предмет массой, превышающей вместе с тарой 150 г.

1.6 Определение влажности грунтов методом высушивания до постоянной массы (ГОСТ 5180-2015)

Влажность грунта w – отношение массы воды в объеме грунта к массе этого грунта, высушенного до постоянной массы.

Гигроскопическая влажность w_g – влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, т. е. состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха.

Влажность грунта вычисляют по формуле:

$$w = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (1.1)$$

где w – влажность грунта, %,

m_1 – масса влажного грунта с бюксом, г;

m_0 – масса высушенного грунта с бюксом, г;

m – масса пустого бюкса, г.

Допускается выражать влажность грунта в долях единицы.

Результаты испытаний следует внести в журнал (таблица 1.1).

Допустимую разницу результатов параллельных определений смотреть в таблице 1.2

Таблица 1.1 – Журнал определения влажности грунта

Номер п. п.	Номер стаканчика	Масса стаканчика с крышкой m , г	Масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой m_1 , г	Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой m_0 , г		Влажность грунта w , %	
				1-е взвешивание	2-е взвешивание	отдельной пробы	среднее

Таблица 1.2 – Допустимая разница результатов параллельных определений

	Влажность грунта w , %				
	1–5	> 5–10	> 10–50	> 50–100	> 100
Δ , %	0,2	0,6	2,0	4,0	5,0

При обработке результатов испытаний влажность до 30 % вычислить с точностью до 0,1 %, влажность 30 % и выше – с точностью до 1 %.

1.7 Правила ведения лабораторной документации

В лабораторных журналах образцы испытуемых грунтов значатся только под своими лабораторными номерами.

Передаваемые лаборантам на испытания грунты сопровождаются специальным бланком-заданием.

Лабораторные журналы используют установленной формы. Листы журналов нумеруются.

Запрещается:

- 1) вырывать листы из журналов;
- 2) пропускать листы при записи наблюдений;
- 3) вести черновики и переписывать с них записи в журнал;
- 4) писать цифру по цифре, надпись по надписи.

Записи наблюдений в лабораторных журналах, в ведомостях производятся одновременно с проведением испытания; цифры и буквы записей должны быть четкими и аккуратными.

Ошибочные записи аккуратно зачеркиваются, а правильные значения записываются в новой строке или над старой записью.

В каждом лабораторном журнале, ведомости, графике должны быть заполнены все графы.

Выполненные работы сопровождаются четкой подписью исполнителя.

Сводные ведомости физико-механических свойств грунтов, графики и другие ведомости результатов исследований должны быть проведены «во вторую руку» и иметь подписи исполнителя и проверяющего, а также дату их исполнения.

В сводной ведомости приводится полное наименование образца или монолита (организация, экспедиция, объект, наименование и номер выработки, глубина взятия образца) и его лабораторный номер.

Все сводные ведомости составляются исполнителем в двух экземплярах, из которых один экземпляр постоянно хранится в лаборатории, а второй экземпляр и сопровождающие его графики пересылают заказчику.

К экземпляру сводной ведомости, хранящемуся в лаборатории, прилагаются журналы наблюдений и расчетные ведомости.

Контрольные вопросы

- 1 Из каких основных элементов состоит грунтовая лаборатория?
- 2 Какие основные положения техники безопасности и охраны труда необходимо знать при работе в грунтовой лаборатории?
- 3 Какой алгоритм необходимо выполнять при взвешивании на технических и электронных весах?
- 4 Какой алгоритм необходимо выполнять при просушивании грунтовых образцов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ АРЕОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ (ПО ГОСТ 12536-2014)

2.1 Общие положения

Гранулометрическим составом называется содержание по массе групп частиц (фракций) грунта различного размера по отношению к общей массе абсолютно сухого грунта.

Фракция – группа частиц грунта в заданном диапазоне размеров частиц.

Разработано много способов определения гранулометрического состава грунтов. Их можно объединить в шесть групп (глазомерный, полевой, ситовой, гидравлические способы, непрерывные способы анализа, в том числе и аэрометрический, центрифугирование). Согласно

ГОСТ 12536-2014 для определения гранулометрического состава глинистых грунтов рекомендуется ареометрический и пипеточный методы.

В настоящее время в Беларуси действует классификация грунтов, закреплённая в СТБ 943-2007. Согласно стандарту к глинистым грунтам относятся осадочные нецементированные грунты с числом пластичности $I_p = \geq 1$.

В геологической практике широкое распространение получила также гранулометрическая классификация глинистых грунтов, предложенная В. В. Охотиным (Приложение А).

2.2 Необходимое оборудование

Ареометр со шкалой 0,995–1–1,030 и ценой деления 0,001 (1); набор сит с поддоном и крышкой: сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1,0; 0,5; 0,25; 0,1 мм (2); весы лабораторные технические (3); стаканчики стеклянные (4); ступка фарфоровая, пестик с резиновым наконечником (5); чашка фарфоровая (6); шпатель (7); эксикатор с прокалённым хлористым кальцием; колба коническая плоскодонная ёмкостью 1 000 см³ (8); мерный цилиндр ёмкостью 1 л и диаметром 60 ± 2 мм (9); мешалка (10); термометр с погрешностью до 0,5 °С (11); промывалка (12); пипетка на 25 мл (13); кисточка (14); баня песчаная (15); шкаф сушильный (16); плотная бумага; 25 %-ный раствор аммиака (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Необходимое оборудование

2.3 Подготовка к испытанию

Следует отобрать методом квартования среднюю пробу грунта массой около 200 г в воздушно-сухом состоянии (навеска m_1) и просеять сквозь набор сит с размером отверстий 10; 5; 2; 1 мм. Результаты записать в журнал (таблица 2.1).

Отобрать методом квартования среднюю пробу грунта, прошедшего сквозь сито с размером отверстий 1 мм, в заранее взвешенную фарфоровую чашку и взвесить ее.

Масса средней пробы должна быть: для глин – около 20 г, для суглинков – около 30 г, для супесей – около 40 г (навеска m_1).

Таблица 2.1 – Журнал ареометрического анализа

Ареометр №

Поправка на мениск $C =$

Поправка на нулевое показание ареометра $B =$

Колба №

Цилиндр №

Объём цилиндра $V =$ см³

Плотность частиц грунта $p_s =$ г/см³

Гигроскопическая влажность $w_g =$ %

Навеска для ситового анализа $m_1 =$ г

Навеска для ареометрического анализа = m_1' г

91

Результаты ситового анализа								
Показатели	Фракции грунта, мм							
	> 10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	< 0,1
Масса тары, г								
Масса тары с грунтом, г								
Масса фракции, г								
Содержание фракции, %								
Результаты ареометрического анализа								
Дата и время замера	Время отстаивания суспензии от начала опыта	Упрощённый отчёт по ареометру без поправок	Температура суспензии, °C	Температурная поправка к отчёту по ареометру	Упрощённый отчёт с поправкой на нулевое показание, мениск и стабилизатор	Диаметр частиц, мм	Содержание частиц, %	Окончательный результат
	T	R	T	E	$R+B+C+E$	D	\bar{L}_c	
	1 мин					< 0,05		
	30 мин					< 0,01		
	3 ч					< 0,005		

Одновременно с взятием средней пробы для определения гранулометрического состава надлежит отобрать пробы грунта массой не менее 15 г каждая для определения гигроскопической влажности и плотности частиц грунта.

Произвести опробование суспензии грунта на коагуляцию. Отобрать методом квартования пробу грунта массой около 2 г, растереть её с 4–6 мл дистиллированной воды в фарфоровой чашке пестиком с резиновым наконечником. Затем долить в чашку ещё 14–16 мл дистиллированной воды и кипятить суспензию в течение 5–10 мин.

Вылить суспензию в пробирку или мерный цилиндр ёмкостью 100–150 мл и долить дистиллированную воду в таком количестве, чтобы объём суспензии был равен около 100 мл для глин, 70 мл для суглинков, 50 мл для супесей.

Взболтать суспензию и оставить в покое на сутки. Если суспензия за это время коагулирует, выпавший на дно цилиндра осадок должен иметь рыхлую, хлопьевидную структуру, а жидкость над осадком должна быть прозрачная.

Среднюю пробу грунта, суспензия которого при опробовании на коагуляцию не коагулирует, перенести в колбу ёмкостью 1 000 мл, смывая остаток пробы в чашке струёй дистиллированной воды. Долить в колбу воду так, чтобы общее количество воды было десятикратным по отношению к массе средней пробы грунта.

Грунт, залитый водой, выдержать одни сутки.

Прибавить в колбу 1 мл 25 %-ного раствора аммиака, закрыть воронкой диаметром 2–3 см и кипятить в течение 1 ч (кипячение не должно быть бурным). Охладить суспензию до комнатной температуры.

Суспензию необходимо слить в стеклянный цилиндр ёмкостью 1 л сквозь сито с размером отверстий 0,1 мм, помещённое в воронку диаметром приблизительно 14 см. Оставшиеся на внутренней поверхности колбы частицы следует тщательно смыть водой из промывалки.

Смыть задержавшиеся на сите частицы и агрегаты струёй воды в фарфоровую чашку, где их тщательно растереть пестиком с резиновым наконечником. Слить образовавшуюся в чашке взвесь в цилиндр сквозь сито с размером отверстий 0,1 мм. Растирание осадка в чашке и сливание взвеси сквозь сито продолжать до полного осветления воды над частицами, оставшимися на дне чашки.

Частицы грунта, задержавшиеся на сите, надлежит добавить к частицам, оставшимся на дне фарфоровой чашки, перенести их в заранее взвешенный фарфоровый тигель или стеклянный стаканчик, выпарить на песчаной бане, высушить в сушильном шкафу до постоянной массы.

Высушенные до постоянной массы частицы грунта следует просеять сквозь сита с размером отверстий 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

Частицы грунта, прошедшие сквозь сито с размером отверстий 0,1 мм, следует перенести в цилиндр с суспензией.

Фракции грунта, задержавшиеся на ситах, следует взвесить. Результаты записать в журнал.

Суспензию в мерном цилиндре необходимо довести до объёма 1 л.

2.4 Калибровка ареометра

Определение поправки на нулевое показание ареометра.

Ареометр опустить в мерный цилиндр с дистиллированной водой, имеющей температуру 20 °С, и произвести отсчёт плотности воды. Полученный отсчёт принять за единицу плотности.

Разность между принятой единицей и замеренным отсчётом по ареометру равна поправке B , которую вводят в расчёт.

Поправку B прибавить к каждому отсчёту по шкале ареометра, если ареометр при проверке показывает менее 1,000, и поправку следует вычесть, если ареометр показывает более 1,000.

Определение поправки на высоту мениска.

Поправку на высоту мениска ввести в расчёт, если ареометр градуирован на заводе по нижнему краю мениска. Для этого ареометр опустить в цилиндр с дистиллированной водой, имеющей температуру 20 °С. Произвести отсчёты по нижнему и верхнему краю мениска. Поправку прибавить к каждому отсчёту по шкале ареометра при замерах плотности суспензии.

Если ареометр градуирован по верхнему краю мениска, то поправка не требуется.

Определение поправки на диспергатор.

Ареометр опустить в мерный цилиндр с налитой 950 мл дистиллированной водой, имеющей температуру 20 °С, и произвести отсчёт по верхнему краю мениска.

Добавить в цилиндр диспергирующее вещество. Затем долить в цилиндр воды до 1 л, смесь взболтать, вторично опустить в неё ареометр и произвести отсчёт по верхнему краю мениска.

Разность между вторым и первым отсчётом и есть поправка на диспергатор. Поправку необходимо вычесть из каждого отсчёта по шкале ареометра при замерах плотности суспензии.

2.5 Проведение испытаний

Суспензию следует взболтать мешалкой в течение 1 мин до полного взмучивания осадка со дна цилиндра, не допуская выплёскивания суспензии, и отметить по секундомеру время окончания взбалтывания.

Определить по таблице 2.2 время взятия отсчёта по ареометру после окончания взбалтывания суспензии. Затем за 10–12 с до замера плотности суспензии следует осторожно опустить в неё ареометр, который должен свободно плавать, не касаясь стенок цилиндра, и взять отсчёт по ареометру R . Продолжительность взятия отсчёта по ареометру должна быть не более 5–7 с.

Осторожно вынуть ареометр из суспензии, ополоснуть его дистиллированной водой, насухо вытереть чистым полотенцем и поставить на штатив или в цилиндр с водой.

После извлечения ареометра осторожно опустить в цилиндр термометр и определить температуру суспензии. Замеры температуры повторять после каждого замера ареометра.

Таблица 2.2 – Время взятия отсчёта по ареометру

Диаметр фракции зёрен грунта, мм	Время от конца взбалтывания суспензии до замера её плотности
менее 0,05	1 мин
менее 0,01	30 мин
менее 0,005	3 ч

Показания ареометра и термометра занести в журнал (таблица 2.1).

2.6 Обработка результатов

Уточнить массу средней пробы грунта с поправкой на гигроскопическую влажность по формуле:

$$m_0 = \frac{m_1}{1 + 0,01 w_g}, \quad (2.1)$$

где m_0 – масса абсолютно-сухой пробы грунта, г;

m_1 – масса средней пробы грунта в воздушно-сухом состоянии, г;

w_g – гигроскопическая влажность, %.

Вычислить процентное содержание фракций грунта размером более 10; 10–5; 5–2; 2–1 мм с поправкой на гигроскопическую влажность по формуле:

$$A = \frac{m_{\phi}}{m_0} \times 100, \quad (2.2)$$

где A – содержание в грунте каждой фракции, %;

m_{ϕ} – масса данной фракции грунта, г;

m_0 – масса абсолютно-сухой пробы грунта, г.

Результаты вычисления гранулометрического состава грунтов A должны определяться с погрешностью до 0,1 %.

По таблице 2.3 рассчитать температурную поправку (E), результаты записать в журнал (таблица 2.1).

Таблица 2.3 – Температурная поправка к отсчётам по ареометру

Температура суспензии, °С	Поправка (E) к отсчёту по ареометру R	Температура суспензии, °С	Поправка (E) к отсчёту по ареометру R	Температура суспензии, °С	Поправка (E) к отсчёту по ареометру R
10,0	-1,2	17,0	-0,5	24,0	+0,8
10,5	-1,2	17,5	-0,4	24,5	+0,9
11,0	-1,2	18,0	-0,3	25,0	+1,0
11,5	-1,1	18,5	-0,3	25,5	+1,1
12,0	-1,1	19,0	-0,2	26,0	+1,3
12,5	-1,0	19,5	-0,1	26,5	+1,4
13,0	-1,0	20,0	0,0	27,0	+1,5
13,5	-0,9	20,5	+0,1	27,5	+1,6
14,0	-0,9	21,0	+0,2	28,0	+1,8
14,5	-0,8	21,5	+0,3	28,5	+1,9
15,0	-0,8	22,0	+0,4	29,0	+2,1
15,5	-0,7	22,5	+0,5	29,5	+2,2
16,0	-0,6	23,0	+0,6	30,0	+2,3
16,5	-0,6	23,5	+0,7		

Содержание фракций грунта размером 1,0–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,1 мм L (в процентах) следует вычислять по формуле:

$$L = \frac{m_{\phi}}{m'_0} (100 - k), \quad (2.3)$$

где m_{ϕ} – масса данной фракции грунта, высушенной до постоянного веса, г;

m'_0 – масса средней пробы грунта с поправкой на w_g , г;

k – суммарное содержание фракций грунта размером более 1,0 мм, %.

Массу средней пробы грунта с поправкой на гигроскопическую влажность рассчитать по формуле:

$$m'_0 = \frac{m'_1}{1 + 0,01 w_g}, \quad (2.4)$$

где m'_1 – навеска для ареометрического анализа;

w_g – гигроскопическая влажность, %.

По данным каждого замера ареометром надлежит вычислить суммарное содержание фракций грунта \bar{L}_c по формуле:

$$\bar{L}_c = \frac{p_s (R + B + C + E)}{(p_s - p_w) m'_0} (100 - k), \quad (2.5)$$

где \bar{L}_c – суммарное содержание всех фракций грунта менее данного размера, %;

p_s – плотность частиц грунта, г/см³;

p_w – плотность воды, равная 1 г/см³;

m'_0 – масса абсолютно-сухой средней пробы грунта, г;

k – суммарное содержание фракций грунта размером более 1 мм, %.

Определив суммарное процентное содержание фракций грунта \bar{L}_c с помощью ареометра, необходимо вычислить процентное содержание каждой фракции грунта последовательным вычитанием из большей величины меньшую.

Фракцию 0,1–0,05 мм найти по разности: из 100 % вычислить сумму всех фракций, определяемых с помощью ареометра и ситового анализа.

Результаты анализа надлежит регистрировать в журнале (таблица 2.4), в котором указывают процентное содержание в грунте фракций размером более 10; 10–5; 5–2; 2–1; 1–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,01; 0,1–0,05; 0,05–0,01; 0,01–0,005 и менее 0,005 мм, а также методы подготовки грунта к анализу.

Таблица 2.4 – Продолжение журнала ареометрического анализа

Фракция, мм	Содержание, %
более 10	
10–5	
5–2	
2–1	
1–0,5	
0,5–0,25	
0,25–0,1	
0,1–0,05	
0,05–0,01	
0,01–0,005	
менее 0,005	
Сумма	

Визуальное описание грунта _____

Способ подготовки грунта к анализу _____

Окончательный результат гранулометрического состава грунта:

Название грунта по классификации В. В. Охотина –

По классификации В. В. Охотина определить наименование грунта (Приложение А).

По данным таблицы 2.4 построить кривую гранулометрического состава в полулогарифмическом масштабе. Для построения кривой по оси абсцисс откладывают логарифмы от диаметров частиц. В начале координат ставят обычно число 0,001. Затем, принимая $\lg 10$ равным произвольному отрезку, откладывают этот отрезок в правую сторону 4 раза, делая отметки и ставя против них последовательно числа 0,01; 0,10; 1,00; 10,00. Расстояния между каждыми двумя метками делят на девять частей пропорционально логарифмам чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9.

В первом от начала координат интервале выделенные отрезки будут отвечать диаметрам частиц от 0,002 до 0,009 мм, во втором – от 0,02 до 0,09 мм, в третьем – от 0,2 до 0,9 мм, в четвертом – от 2 до 9 мм.

Например, если принять, что $\lg 10 = 1$ соответствует отрезку длиной 4 см, то:

$\lg 2 = 0,301$ будет соответствовать отрезку $0,301 \times 4 = 1,2$ см,

$\lg 3 = 0,477$ будет соответствовать отрезку $0,477 \times 4 = 1,9$ см,

$\lg 4 = 0,602$ будет соответствовать отрезку $0,602 \times 4 = 2,4$ см и т. д.

Указанные отрезки откладывают по оси абсцисс от начала координат и от каждой метки, ограничивающей отрезок длиной 4 см.

По оси ординат откладывают суммарное содержание фракций в процентах. Для этого последовательно суммируют содержание фракций, начиная с наиболее мелкой, и по этим числам строят кривую. Каждое из полученных чисел указывает, таким образом, суммарное содержание фракций меньше определённого размера.

По суммарным кривым гранулометрического состава можно определить d_5 , d_{10} , d_{50} , d_{60} и оценить неоднородность грунта.

Контрольные вопросы

1 Назовите основные положения гранулометрической классификации В. В. Охотина (1940 г.).

2 В чем заключается процесс квартования?

3 Что такое фракция?

4 Что такое гранулометрический состав грунтов?

5 В чем состоит процесс подготовки пробы грунта к анализу?

6 Каким образом производится калибровка ареометра?

7 Как берётся упрощённый отсчёт по ареометру?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ МЕТОДОМ НАСЫЩЕНИЯ

3.1 Общие положения

Пористостью называют процентное отношение объёма пустот в грунте к общему объёму грунта.

Коэффициентом пористости называют отношение объёма пустот в грунте к объёму твёрдой фазы грунта.

Пористость и коэффициент пористости связаны между собой формулами:

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100 \% , \quad (3.1)$$

$$e = \frac{n}{100 - n} , \quad (3.2)$$

где n — пористость, %;

e — коэффициент пористости.

Для глинистых грунтов способов непосредственного лабораторного определения пористости не существует. Пористость песчаных грунтов можно определить экспериментально.

3.2 Необходимое оборудование и материалы

Стеклянные стаканчики с ровными краями объёмом 50 и 250 см³, бюретка, линейка, воронка с длинным носиком, деревянная трамбовка, ёмкость для воды, воздушно-сухой песок (рисунок 3.1).

3.3 Проведение исследований

Ход определения при рыхлом сложении песков.

1 Сухой чистый стаканчик объёмом около 50 см³ наполнить исследуемым песком. Для этого взять воронку с длинным носиком (или нарастить носик куском резиновой трубки), вставить носик в стаканчик, наполнить воронку песком. Затем, придерживая стаканчик одной рукой, другой рукой медленно поднять воронку, чтобы песок пересыпался из нее в стаканчик (поднимать носик воронки выше 1–2 см от поверхности песка не рекомендуется). Избыток песка удалить линейкой, чтобы поверхность песка была на одном уровне с краями стаканчика.



Рисунок 3.1 – Необходимое оборудование

2 Заполнить бюретку до нулевой отметки водой. Подставить стаканчик с песком под бюретку и насытить песок в стаканчике водой до появления тонкого слоя воды на поверхности песка (при насыщении носик бюретки должен быть вблизи поверхности песка). Насыщение проводить на краю стаканчика. Количество воды, израсходованной на насыщение песка, будет соответствовать объёму пор V_n .

3 Удалить песок из стаканчика и при помощи той же бюретки измерить объём пустого стаканчика, что будет соответствовать объёму всей породы V .

4 Данные определений занести в журнал (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Журнал определения пористости песков

Номер Опыта	Объём воды, израсходованной на насыщение породы V_n , см ³	Объём стаканчика V , см ³	Пористость n , %	Коэффициент пористости e
Рыхлое сложение				
1	18,6	50	37,0	0,59
2	18,4	50	37,2	0,59
Плотное сложение				
1	77,6	250	31,0	0,45
2	78,0	250	31,2	0,45

5 Повторить опыт (см. п. п. 1, 2, 3).

Ход определения при плотном сложении песков.

1 Наполнить сухой чистый стакан объёмом около 250 см³ исследуемым песком. Песок загружается небольшими порциями при постоянном уплотнении путем постукивания о боковые стенки стакана и трамбования деревянной трамбовкой. После заполнения стакана поверхность песка должна быть на одном уровне с краями стакана.

2 Заполнить бюретку до нулевой отметки водой. Подставить стакан с песком под бюретку и насытить песок в стакане водой до появления тонкого слоя воды на поверхности песка (при насыщении носик бюретки должен быть вблизи поверхности песка). Насыщение проводить на краю стакана. Количество воды, израсходованной на насыщение песка, будет соответствовать объёму пор V_n .

3 Удалить песок из стакана и при помощи той же бюретки измерить объём пустого стакана, что будет соответствовать объёму всей породы V .

- 4 Данные определений занести в журнал (таблица 3.1).
- 5 Опыт повторить (см. п. п. 1, 2, 3).

3.4 Обработка результатов испытаний

Рассчитать пористость по формуле:

$$n = \frac{V_n}{V} \times 100 \%, \quad (3.3)$$

где V_n – объём пор, см³;

V – объём всей породы, см³.

Рассчитать коэффициент пористости по формуле (3.2).

Оценить надежность определения пористости предлагаемыми методами. Указать причину погрешностей в результатах.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое пористость?
- 2 Что такое коэффициент пористости?
- 3 Назовите формулы связи пористости и коэффициента пористости.
- 4 Какое необходимо оборудование для определения пористости песков методом насыщения?
- 5 Какая методика используется при определении пористости песчаных грунтов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЕСКОВ В РЫХЛОМ И ПЛОТНОМ СЛОЖЕНИИ

4.1 Общие положения

Плотность грунта – это масса единицы объёма грунта (ГОСТ 5180-2015).

Плотность грунта зависит от минерального состава, пористости и влажности грунта.

Обычно определяют плотность грунта естественной, ненарушенной структуры (ГОСТ 5180-2015). В некоторых случаях возникает необходимость определить плотность грунта нарушенной структуры.

Плотность песков с нарушенной структурой определяют при двух состояниях грунта: рыхлом и плотном. Соответственно, плотность в этих случаях имеет минимальное и максимальное значения.

4.2 Необходимое оборудование

Стеклянный стаканчик с ровными краями объёмом 50 см³; металлический стакан ёмкостью 250 см³ и диаметром 5 см; технические весы с разновесами; воронка; резиновая трубка; деревянная трамбовка; линейка; бюретка; воздушно-сухой песок.

4.3 Проведение испытаний при рыхлом сложении песков

1 Взвесить сухой стеклянный стаканчик объёмом около 50 см³, диаметром 2–3 см (взвешивание производить с точностью до 0,01 г).

2 Заполнить стаканчик предварительно просушенным песком. Для этого следует взять воронку с длинным носиком (или нарастить носик куском резиновой трубки), вставить носик в стаканчик, наполнить воронку песком. Затем, придерживая стаканчик левой рукой, правой медленно поднимать воронку, чтобы песок пересыпался из неё в стаканчик (поднимать носик воронка выше 1–2 см от поверхности песка не рекомендуется). Избыток песка удалить линейкой, чтобы поверхность песка была на одном уровне с краями стаканчика.

3 Стаканчик с грунтом взвесить.

4 Данные определений занести в журнал (таблица 4.1).

5 Опыт повторить не менее трёх раз.

6 Заполнить бюретку до нулевой отметки водой и измерить объём пустого стаканчика V (измерение выполнить с точностью $0,1 \text{ см}^3$).

Рыхлое сложение песка путём засыпки его через воронку не всегда даёт сравнимые результаты. В некоторых лабораториях для этой цели применяют другие способы: скатывания по наклонному желобу, разрыхления спиралью, разрыхления гидродинамическим давлением воды и др.

Таблица 4.1 – Журнал определения плотности песков

Визуальное описание грунта _____

Номер опыта	Масса пустого стакана, г	Масса стакана с грунтом, г	Объём стакана, см^3	Плотность грунта, $\text{г}/\text{см}^3$			
				по данным опыта		среднее значение	
	m_0	m_1	V	ρ_{\min}	ρ_{\max}	ρ_{mincp}	ρ_{maxcp}
Рыхлое сложение							
1	32,30	107,80	50,0	1,51			
2	32,30	103,31	50,0	1,42		1,44	
3	32,30	105,34	50,0	1,46			
Плотное сложение							
1	137,20	519,22	250,0		1,91		
2	137,20	509,10	250,0		1,86		1,88
3	137,20	494,93	250,0		1,79		

Дата определения _____ 20__ г.

Исполнитель _____

(фамилия, имя, отчество, подпись)

4.4 Проведение испытаний при плотном сложении песков

1 Взвесить сухой металлический стакан ёмкостью не менее 200 см^3 , диаметром не менее 5 см (взвешивание производить с точностью до 0,01 г).

2 Заполнить стакан предварительно просушенным песком. Песок загружается небольшими порциями при постоянном уплотнении путём постукивания о боковые стенки стакана и трамбования деревянной трамбовкой. После заполнения стакана поверхность песка должна быть на одном уровне с краями стакана.

3 Стакан с грунтом взвесить.

4 Данные определений занести в журнал (таблица 4.1).

5 Опыт повторить не менее трёх раз (смотри п. п. 2 и 3).

6 Заполнить бюретку до нулевой отметки водой и измерить объём пустого стакана V (измерение выполнить с точностью $0,1 \text{ см}^3$).

В некоторых лабораториях принято уплотнять песок другими способами: на вибрационной установке, ударами на специальном копре, при помощи фильтрующей сверху вниз воды, штыкованием и др.

4.5 Обработка результатов

1 Вычислить плотность грунта в рыхлом состоянии (т. е. минимальное значение плотности, ρ_{\min}) по формуле:

$$\rho_{\min} = \frac{m_1 - m_0}{V}, \quad (4.1)$$

где m_0 — масса пустого стакана, г;

m_1 — масса стакана с грунтом, г;

V — объём стакана, см^3 .

За ρ_{\min} принять среднее значение из двух меньших величин.

2 Вычислить плотность уплотнённого песка (т. е. максимальную плотность песка ρ_{\max}) по формуле:

$$\rho_{\max} = \frac{m_1 - m_0}{V}, \quad (4.2)$$

где m_0 – масса пустого стакана, г;

m_1 – масса стакана с грунтом, г;

V – объём стакана, см³.

За ρ_{\max} принять среднее значение из двух больших величин.

3 Оценить надёжность определения плотности предлагаемыми методами. Указать причину погрешностей в результатах.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое плотность грунта?
- 2 Какие существуют единицы измерения плотности?
- 3 Какова методика определения плотности песков в рыхлом сложении?
- 4 Какова методика определения плотности песков в плотном сложении?
- 5 Какова технология взвешивания образца на технических весах?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ В ВОДЕ (ПО ГОСТ 5180-2015)

5.1 Общие положения

Плотность грунта (ρ) – масса единицы объёма грунта.

Разработано несколько методов определения плотности грунтов: режущим кольцом, взвешивания в воде парафинированных образцов, взвешивания в нейтральной жидкости, лакировки, ртутный, волюмометрический.

5.2 Необходимое оборудование

Нож с прямым лезвием; весы лабораторные технические; стаканы лабораторные 0,5 и 1 л; термометр с ценой деления 0,5 °С; чистый парафин; подставка профильная; игла; нить; бумага фильтровальная; вода дистиллированная; электроплитка; чашка для парафина.

5.3 Подготовка к испытанию

1 Вырезать образец грунта объёмом не менее 50 см^3 и придать ему округлую форму, срезая острые выступающие части.

2 Образец обвязывают тонкой прочной нитью со свободным концом длиной 15–20 см, имеющим петлю для подвешивания к сережке весов.

3 Парафин, не содержащий примесей, нагревают до температуры 57–60 °С.

5.4 Проведение испытаний

1 Обязанный нитью образец грунта взвесить (m). Погрешность взвешивания не должна превышать 0,02 г. Результаты записать в лабораторный журнал (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Журнал определения плотности грунта методом взвешивания в воде парафинированных образцов

Визуальное описание грунта _____

Но- мер опы- та	Масса, г				Плотность ρ , г/см ³	
	грунта до парафиниро- вания, m	парафиниро- ванного грун- та, m_1	парафиниро- ванного грун- та в воде, m_2	контрольное взвешивание парафиниро- ванного грун- та, m_3	об- разца	сред- няя
1	60,00	68,00	28,00	68,01	1,92	1,91
2	72,42	81,00	33,34	81,00	1,90	

Дата определения _____ 20 ____ г.

Исполнитель _____

(фамилия, имя, отчество, подпись)

2 Образец грунта покрыть парафиновой оболочкой, погружая его на 2–3 с в нагретый парафин. При этом пузырьки воздуха, обнаруженные в застывшей парафиновой оболочке, удалить, прокалывая их и заглаживая места проколов нагретой иглой. Эту операцию повторить до образования плотной парафиновой оболочки.

3 Охлаждённый образец взвесить (m_1).

4 Затем парафинированный образец взвесить в сосуде с водой (m_2).

Для этого над чашей весов установить подставку для сосуда с водой так, чтобы исключить её касание к чаше весов. К серье коромысла подвесить образец и опустить в сосуд с водой. Объем сосуда и длина нити должны обеспечивать полное погружение образца в воду. При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда (рисунок 5.1).

5 Взвешенный образец вынуть из воды, промочить фильтровальной бумагой и взвесить (m_3) 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.

6 Для повышения достоверности оценок, плотность грунта следует определять не менее, чем в двух образцах, отобранных из исследуемого монолита грунта.

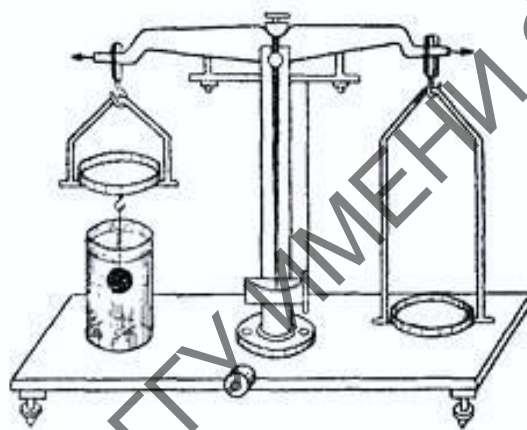


Рисунок 5.1 – Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

5.5 Обработка результатов

Плотность грунта (ρ) вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \times \rho_p \times \rho_w}{\rho_p(m_1 - m_2) - \rho_w(m_1 - m)}, \quad (5.1)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³;

m – масса грунта до парафинирования, г;

m_1 – масса парафинированного образца грунта, г;

m_2 – результат взвешивания образца в воде;

ρ_p – плотность парафина, равная 0,900 г/см³;

ρ_w – плотность воды при температуре испытаний (таблица 5.2).

При обработке результатов испытаний плотность вычисляют с точностью до 0,01 г/см³.

Разница между параллельными определениями не должна превышать значений, приведенных в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Плотность воды при различных температурах

Температура, °С	Плотность, г/см ³
0–11	1,000
12–18	0,999
19–23	0,998
24–27	0,997
28–30	0,996
31–33	0,995

Таблица 5.3 – Допустимая разница результатов параллельных определений

Допустимая разность	Плотность грунта ρ , г/см ³	
	Песчаные грунты	Пылевато-глинистые грунты
Δ , г/см ³	0,04	0,03

Если разница превышает допустимую, количество определений следует увеличить.

Результаты анализа регистрируют в журнале. Результаты необходимо сопровождать указанием метода определения.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое плотность грунта?
- 2 Назовите методы определения плотности грунтов?
- 3 В чем состоит методика выполнения эксперимента по определению плотности грунта методом взвешивания в воде?
- 4 Какова точность определения плотности грунтов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ

6.1 Общие положения

Пластичность – это способность грунта под воздействием внешних сил деформироваться без разрыва сплошности и сохранять приданную ему форму после прекращения этого воздействия.

Принято пластичность связных грунтов характеризовать двумя показателями: границей текучести и границей раскатывания.

Граница текучести, или *верхний предел пластичности* (w_L) – влажность, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояния.

Граница пластичности, или *нижний предел пластичности* (w_p) – влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний.

Число пластичности (J_p) – разность в величине влажности грунта при верхнем (w_L) и нижнем (w_p) пределах пластичности.

По числу пластичности выделяются типы пылевато-глинистых несцементированных грунтов (ГОСТ 25100-2011):

- супеси $1 < J_p \leq 7$;
- суглинки $7 < J_p \leq 17$;
- глины $J_p > 17$.

6.2 Необходимое оборудование

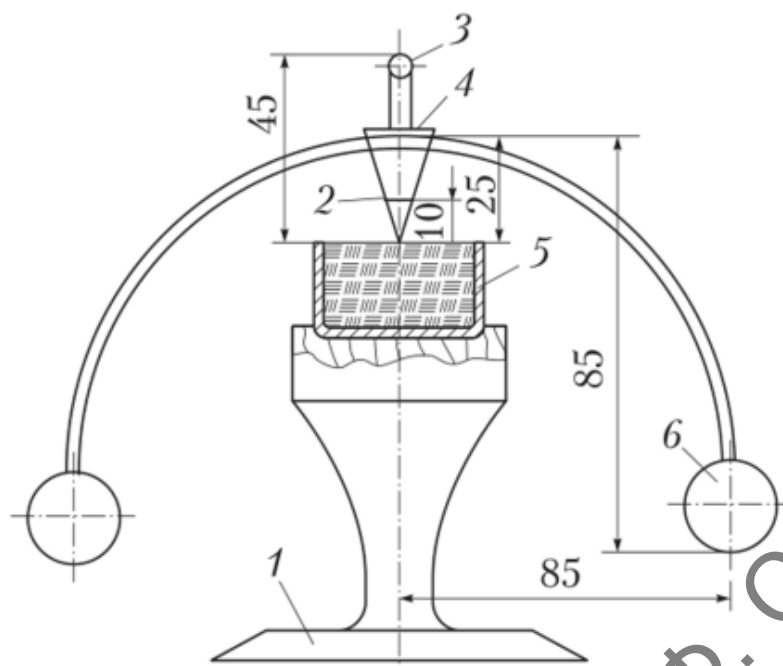
Для определения границы текучести: стандартный балансирный конус (рисунок 6.1); технические весы с разновесами; шпатель; фарфоровая чашка; два бюкса; глинистый грунт; сушильный шкаф; эксикатор.

Для определения границы пластичности: технические весы с разновесами; фарфоровая чашка; шпатель; сушильный шкаф; эксикатор; два бюкса; стеклянная или пластмассовая пластинки; глинистый грунт.

6.3 Проведение испытаний определения границы текучести методом балансирного конуса (по ГОСТ 5180-2015)

1 Образец грунта объёмом около 50 см при естественной влажности размягчить шпателем или размельчить пестиком в фарфоровой чашке и затем протереть или просеять (в зависимости от влажности) сквозь сито с отверстиями 0,5 мм (работу выполняет лаборант).

2 Подготовленный грунт перенести в чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста при одновременном помешивании шпателем. Затем чашку с грунтом плотно закрыть крышкой или поместить в эксикатор, на дно которого налита вода, и оставить в таком состоянии на 24 ч для равномерного увлажнения всех частиц грунта (работу выполняет лаборант).



- 1 – подставка; 2 – метка на конусе; 3 – рукоятка;
 4 – полированный металлический конус из нержавеющей стали
 с углом при вершине 30 и высотой 25 мм;
 5 – металлический стаканчик диаметром 4 см и высотой 2 см;
 6 – металлические шары балансирного устройства

Рисунок 6.1 – Балансирный конус Васильева на подставке

3 Грунтовую массу еще раз тщательно перемешать шпателем и заполнить ею металлический стаканчик, при этом необходимо следить, чтобы при заполнении стаканчика в грунтовой массе не образовалось бы пустот. Поверхность грунта в стаканчике заровнять шпателем и выровнять с краями.

4 Взять балансирный конус за ручку, смазать конус тонким слоем вазелина, поднести к поверхности грунтовой пасты так, чтобы острие касалось пасты, дать ему свободно в течении 5 с погружаться в грунтовое тесто под действием собственного веса.

5 Если за 5 с конус погрузится в грунтовое тесто на глубину 10 мм (до метки), верхний предел пластичности считается достигнутым.

6 Погружение конуса в грунтовое тесто за 5 с на глубину меньше 10 мм показывает, что влажность теста не достигла искомого предела. В этом случае надо извлечь грунтовое тесто из стаканчика, добавить в тесто немного воды, тщательно перемешать и повторить операции, указанные в пунктах 3 и 4.

7 В случае погружения конуса в течение 5 с на глубину более 10 мм в грунтовую пасту из стаканчика перекалывают в фарфоровую чашку, слегка подсушивают на воздухе, непрерывно помешивая шпателем, и повторяют операции, указанные в пунктах 3 и 4.

8 Когда влажность верхнего предела пластичности достигнута, то из стаканчика в бюкс следует взять пробу грунта массой 15–20 г на влажность. Бюкс взвешивают с точностью до 0,01 г. Результаты опыта занести в журнал (таблица 6.1).

9 Для каждого образца грунта производится не менее двух определений границы текучести.

Таблица 6.1 – Журнал определения верхнего предела пластичности (границы текучести)

Визуальное описание грунта _____

Номер бюксов	Масса бюкса m , г	Масса бюкса с грунтом		Влажность верхнего предела пластичности (граница текучести) w_L , %
		влажным m_1 , г	высушенным m_0 , г	
315	30,54	47,24	41,90	47
260	49,15	67,13	61,22	49

Дата определения _____ 20__ г.

Наименование грунта по СТБ 943-2007 _____

Исполнитель _____
(фамилия, имя, отчество, подпись)

6.4 Проведение испытаний определения границы пластичности методом раскатывания в шнур (по ГОСТ 5180-2015)

1 Подготовленную грунтовую пасту (часть грунта, оставшегося после опытов для определения текучести) тщательно перемешивают, берут небольшой кусочек и раскатывают ладонью на стекле или пластмассовой пластинке до образования жгута диаметром 3 мм. Если при такой толщине жгут не крошится и не покрывается трещинами, то необходимо смять его, перемешать и вновь раскатать до требуемой толщины. Раскатывать следует, слегка нажимая на жгут. Длина жгута не должна превышать ширины ладони.

2 Искомый нижний предел пластичности считается найденным, когда жгут толщиной 3 мм начинает распадаться по всей длине на кусочки длиной 3–10 мм.

3 Кусочки распадающегося жгута собирают в бюксы, накрываемые крышками. Когда масса грунта в бюксе достигнет 10–15 г, бюкс с грунтом взвешивают с точностью до 0,01 г и определяют весовую влажность. Результаты следует записать в журнал опыта (таблица 6.2).

4 Для каждого образца необходимо провести не менее двух параллельных определений.

Таблица 6.2 – Журнал определения нижнего предела пластичности (границы раскатывания)

Визуальное описание грунта _____

Номер бюксов	Масса бюкса m , г	Масса бюкса с грунтом		Влажность нижнего предела пластичности (граница раскатывания) w_p , %
		влажным m_1 , г	высушенным m_0 , г	
315	30,54	42,21	39,18	35
216	29,17	43,18	39,62	34

Дата определения _____ 20__ г.

Наименование грунта по СТБ 943-2007 _____

Исполнитель _____
(фамилия, имя, отчество, подпись)

6.5 Обработка результатов

1 Вычислить влажность на границе текучести по формуле:

$$w_L = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100 \% , \quad (6.1)$$

где m_1 – масса бюкса с влажным грунтом, г;

m_0 – масса бюкса с сухим грунтом, г;

m – масса бюкса, г.

Если $w_L \geq 30\%$, то значение w_L рассчитывают с точностью до 1 %, если $w_L < 30\%$, то значение w_L рассчитывают с точностью до 0,1 %.

За искомое w_L следует принять среднее значение из двух величин.

Опыт считается выполненным правильно, если расхождение в результатах параллельных определений не более 2 % для $w_L < 80\%$ и не более 4 % для $w_L \geq 80\%$.

2 Вычислить влажность на границе раскатывания по формуле:

$$w_p = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100\%, \quad (6.2)$$

где m_1 – масса бюкса с влажным грунтом, г;

m_0 – масса бюкса с сухим грунтом, г;

m – масса бюкса, г.

Если $w_p \geq 30\%$, то значение w_p рассчитывают с точностью до 1 %, если $w_p < 30\%$, то значение w_p рассчитывают с точностью до 0,1 %.

За искомое w_p следует принять среднее значение из двух величин.

Опыт считается выполненным правильно, если расхождение в результатах параллельных определений не более 2 % для $w_p < 40\%$ и не более 4 % для $w_p \geq 40\%$.

3 Вычислить число пластичности по формуле:

$$J_p = w_L - w_p, \quad (6.3)$$

где w_L – среднее значение верхнего предела пластичности, %;

w_p – среднее значение нижнего предела пластичности, %.

По числу пластичности в соответствии с СТБ 943-2007 определить тип глинистого грунта.

Оценить надежность определения показателей пластичности предлагаемыми методами. Указать причину погрешностей в результатах.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое пластичность?
- 2 Что такое граница текучести?
- 3 Что такое граница пластичности?

4 Как классифицируются по числу пластичности пылевато-глинистые несцементированные грунты?

5 Какое оборудование необходимо для выполнения эксперимента?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБУХАНИЯ В ПРИБОРЕ ПНГ (ПО ГОСТ 24143-80)

7.1 Общие положения

Набухаемость – это способность грунтов увеличивать свой объём и развивать давление набухания в процессе их гидратации или взаимодействия с химическими растворами (Грунтоведение, 2005).

Набухаемость грунтов характеризуется следующими показателями: свободным набуханием ε_{sw} , набуханием под нагрузкой ε_{sw} , давлением набухания P_n , влажностью грунта после набухания w_n .

Свободное набухание грунта – относительное набухание грунта, полученное в приборе ПНГ, когда давлением от массы штампа и измерительного оборудования, не превышающим 0,0006 МПа, пренебрегают.

Набухание грунта под нагрузкой – относительное набухание грунта при данном давлении на образец.

Давление набухания – давление на образец грунта, возникающее при замачивании его жидкостью в условиях, исключающих возможность расширения образца.

Влажность грунта после набухания – влажность, полученная после завершения набухания образца грунта, обжимаемого в условиях, которые исключают возможность бокового расширения, заданным давлением.

Согласно СТБ 943-2007 набухающими считаются глинистые грунты, у которых свободное набухание не менее 4 %. По величинам свободного набухания глинистые грунты классифицируются следующим образом, представленным в таблице 7.1.

Набухаемость грунтов можно определить на образцах нарушенного и ненарушенного сложения.

Таблица 7.1 – Классификация глинистых грунтов по набухаемости (СТБ 943-2007)

Разновидность грунтов	Относительное набухание без нагрузки
Ненабухающие	$\varepsilon_{sw} < 0,04$
Слабонабухающие	$0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$
Средненабухающие	$0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$
Сильнонабухающие	$\varepsilon_{sw} > 0,12$

7.2 Необходимое оборудование

Прибор ПНГ; металлический вкладыш; технoхимические весы; нож с ровным краем; монолит глинистого грунта; сушильный шкаф; часы; бумажные фильтры (2 шт.); штангенциркуль с погрешностью измерения 0,1 мм (рисунок 7.1).

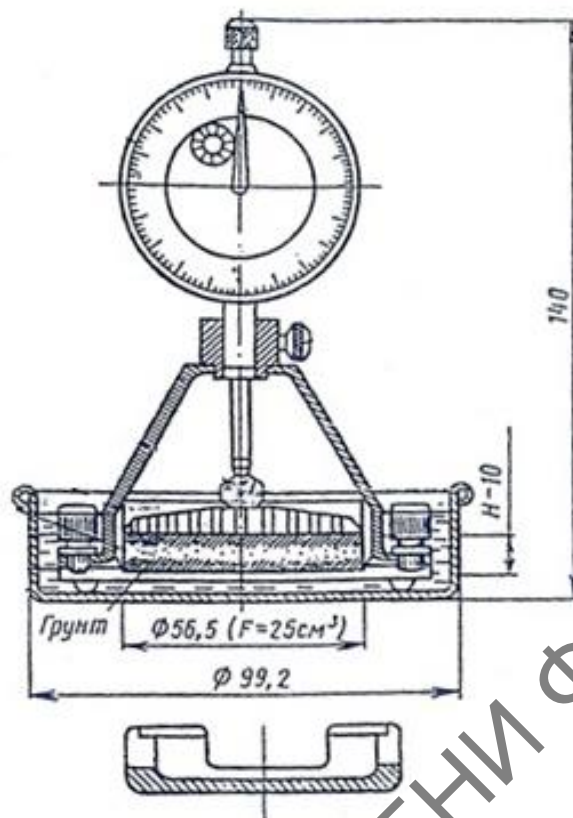


Рисунок 7.1 – Прибор ПНГ-1

7.3 Проведение испытаний при использовании монолитного образца

1 Разобрать прибор, достать кольцо с насадкой и взвесить с точностью до 0,01 г. Результаты записать в журнал (таблица 7.2).

2 С помощью ножа и кольца вырезать образец. Для этого кольцо острым краем устанавливают на горизонтальную поверхность монолита (насадка должна быть сверху). Подрезая монолит и постепенно вдавливая кольцо с помощью крышки, заполнить с некоторым излишком кольцо. При этом зазоры между грунтом и стенкой рабочего кольца не допускаются.

3 Заполненное кольцо с образцом подрезать ножом, срезать излишки и зачистить торцовую поверхность.

4 Осторожно отделить от кольца насадку, а образец аккуратно срезать вровень с краями кольца. Штангенциркулем измерить высоту образца грунта h .

5 Установить на кольцо насадку и взвесить вместе с образцом с точностью до 0,01 г.

6 Кольцо с насадкой и образцом установить на перфорированное донце диска, покрытое кружком фильтровальной бумаги. Образец сверху также покрыть кружком фильтровальной бумаги и опустить на него поршень.

7 Закрепить винтами соединительную скобу.

8 Установить с помощью винта индикатор так, чтобы ножка его касалась головки поршня (при этом для надёжности лучше ножку немного выдвинуть вверх).

9 Собранный систему аккуратно опустить в ванночку и установить прибор на жёсткое горизонтальное основание.

10 Записать в журнал (таблица 7.2) показания индикатора до опыта (лучше по чёрной шкале индикатора).

Таблица 7.2 – Журнал определения свободного набухания грунта в ПНГ

Визуальное описание грунта _____

Наименование определяемых параметров	Величина определяемых параметров					
	до испытания			после испытания		
Масса кольца с насадкой, г						
Масса грунта с кольцом и насадкой, г						
Высота образца грунта, мм						
Влажность, доли единицы						
Масса грунта с кольцом и насадкой после высушивания, г						
Результаты испытаний в ПНГ						
Дата испытаний						
Время (мин, ч)						
Показание индикатора, мм						
Деформация образца грунта						

Разновидность грунта по СТБ 943-2007 _____

Дата определения _____ 20__ г.

Исполнитель _____

(фамилия, имя, отчество, подпись)

11 В ванночку налить воду, полностью наполнив донце. Образец должен насыщаться капиллярно. Отметить время заливки воды. Следует следить за постоянством уровня воды в приборе, периодически доливая её.

12 После замачивания образца регистрируют показания индикатора через 5, 10, 30, 60 мин от начала опыта и далее через 2 ч в течение рабочего

дня, а затем в начале и конце рабочего дня до достижения условной стабилизации деформаций. Все данные записывать в журнал (таблица 7.2).

13 За критерий условной стабилизации деформаций свободного набухания принимается абсолютная деформация не более 0,01 мм за 16 ч.

14 Закончив опыт, прибор разбирают, кольцо с набухшим образцом помещают в фарфоровую чашку, взвешивают и высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 ± 2 °С.

7.4 Обработка результатов

1 Вычислить влажность грунта до опыта w и влажность грунта после набухания w_n по формулам:

$$w = \frac{m_2 - m_4}{m_4 - m_1}, \quad (7.1)$$

$$w_n = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_1}, \quad (7.2)$$

где m_1 – масса кольца с насадкой, г;

m_2 – масса кольца с насадкой и грунтом до опыта, г;

m_3 – масса кольца с насадкой и грунтом после опыта, г;

m_4 – масса кольца с насадкой и грунтом после высушивания, г.

2 Определить величину деформации грунта (ε_i) по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{n_i - n_0 - s}{h}, \quad (7.3)$$

где n_i – текущий отсчёт по индикатору, мм;

n_0 – начальный отсчёт по индикатору, мм;

s – поправка на деформацию прибора и фильтров при набухании, мм (поправка определяется посредством тарировки прибора и составляет для данного типа фильтров 0,01 мм);

h – начальная высота образца, мм.

3 Максимальное значение деформации грунта принять за величину свободного набухания (ϵ_{sw}).

4 По таблице 7.1 определить разновидность грунта.

Контрольные вопросы

1 Что такое набухание грунта?

2 Какие основные характеристики набухания?

3 Какое необходимо оборудование для выполнения эксперимента?

4 Какова методика определения характеристик набухания?

5 От чего зависит набухание грунта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО РАЗМОКАНИЮ В ВОДЕ

8.1 Общие положения

Под *размокаемостью* понимают способность грунта при замачивании терять свою связность и превращаться в рыхлую массу.

Показателями размокания, определяемыми в лабораторных условиях, являются:

- а) время размокания – период, за который распадается образец грунта;
- б) степень размокания, характеризующая скорость процесса;
- в) характер размокания, оценивается визуально.

Перечисленные характеристики во многом носят условный характер, поскольку зависят от объёма, формы и других исходных параметров образца. Они могут давать объективную оценку размокаемости лишь при сравнительных исследованиях образцов с одинаковым исходным объёмом и формой.

8.2 Необходимое оборудование

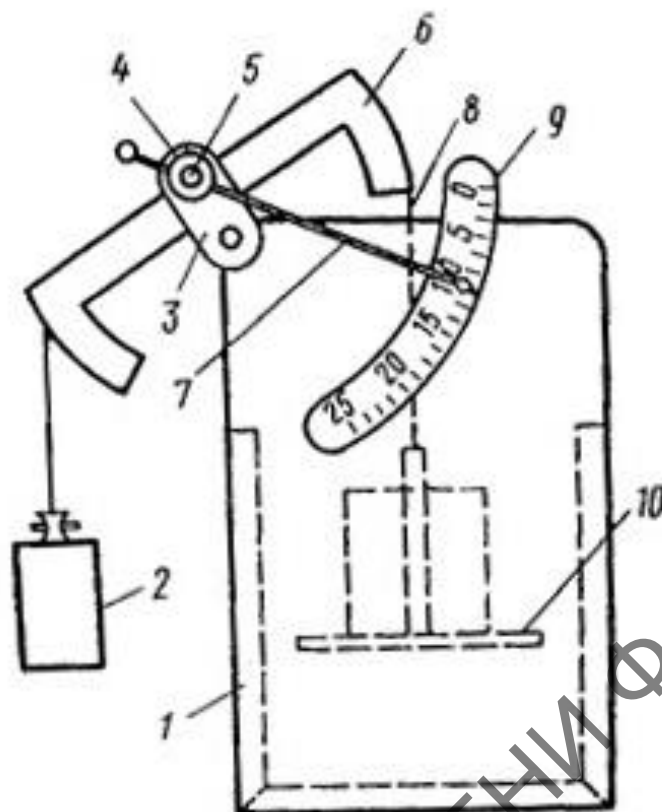
Прибор ПРГ–1 (рисунок 8.1); металлические бюксы; монолит грунта; сушильный шкаф; часы.

8.3 Проведение испытаний

1 Для исследования (в зависимости от целей) вырезать из монолита образец правильной формы (кубик размером ребра 3–4 см) при естественной влажности и структуре или сформировать образцы нарушенной структуры. Взять пробу на исходную влажность грунта (если она не известна заранее).

При массовых испытаниях для получения одинаковых размеров образцов следует использовать режущие кольца диаметром 3–4 см.

При исследованиях размокаемости маловлажных пылеватых и лёссовых грунтов следует иметь в виду, что при быстром погружении образцов в воду в результате всесторонней капиллярной пропитки внутри образца возникает избыточное давление защемлённого воздуха, приводящее к интенсивному разрушению образца. В этом случае образцы перед погружением рекомендуется предварительно увлажнить постепенной капиллярной пропиткой (работу выполняет лаборант).



Изготавливается из оргстекла.

На его корпусе (1) наносится шкала (9) с делениями. На две опоры (3) устанавливается качающаяся ось (5), на которой с помощью гайки (4) закреплены стрелка (7) и скобообразный рычаг (6), конструкция которого с помощью противовеса (2) обеспечивает автоматическое уравнивание системы и применение равномерной шкалы. К другой части рычага подвешена на нити (8) сетка (10) с квадратными отверстиями 10×10 мм, на которые помещается исследуемый образец.

Рисунок 8.1 – Прибор ПРГ–1

2 В корпус прибора налить воду (или исследуемый раствор) до высоты 8 см и установить стрелку прибора на нулевое деление шкалы с помощью гайки.

3 Приподняв рукой сетку, на неё установить подготовленный образец и, придерживая рычаг, плавно погрузить сетку с образцом в воду. Записать в журнал (таблица 8.1) по шкале начальный отсчёт, а также время начала размокания.

Таблица 8.1 – Журнал определения размокания грунта

Визуальное описание грунта _____

Исходная влажность w _____, %

Начальная плотность ρ _____, г/см³

Время отсчёта	Время от начала размокания, t , (с; мин)	Отсчёт по шкале		Степень размокания, R	Характер размокания
		начальный, H_0	текущий, H_t		

Дата определения _____ 20__ г.

Исполнитель _____
(фамилия, имя, отчество, подпись)

4 Через определённые промежутки времени (зависящие от скорости размокания) зафиксировать текущие отсчёты H_t и заносить данные в журнал (таблица 8.1) до тех пор, пока грунт полностью не провалится сквозь сетку на дно корпуса и стрелка не займёт нулевого положения (или до тех пор, пока не истечёт учебное время).

Одновременно описать характер размокания образца (образование трещин, выделение пузырьков воздуха, разбухание, оплывание по краям и т. д.).

8.4 Обработка результатов

По полученным данным рассчитать степень размокания R в различные моменты времени по формуле:

$$R = \frac{H_0 - H_t}{H_0} \times 100 \%, \quad (8.1)$$

где H_0 – начальный отсчёт;

H_t – текущий отсчёт.

Определить период (время) размокания t_p , соответствующий(-ее) $R = 100 \%$.

Построить график кинетики размокания вида $R = f(t)$ (рисунок 8.2).

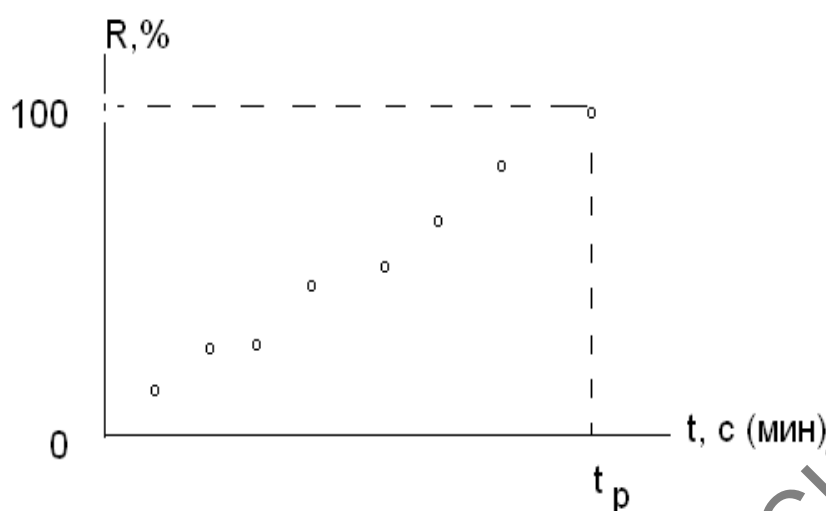


Рисунок 8.2 – График кинетики размокания

Контрольные вопросы

- 1 Что такое размокание?
- 2 Что такое степень размокания?
- 3 Что такое характер размокания?
- 4 Каковы основные показатели размокания глинистого грунта?
- 5 Какое оборудование необходимо для выполнения эксперимента?
- 6 От чего зависит размокание грунта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 КОМПРЕССИОННАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ (НА ОСНОВЕ ГОСТ 12248-2010)

9.1 Общие положения

Сжимаемостью грунтов называют способность их уменьшаться в объёме (давать осадку) под действием внешнего давления.

Деформационные свойства грунтов необходимы для прогноза изменения его объёма (уплотнение, разуплотнение). В пределах обратимых, не больших по величине деформаций, протекающих со скоростью звука, связь между напряжениями и деформациями характеризуется линейным законом упругости (Гука), который для случая одноосного сжатия выражается формулой:

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (9.1)$$

где σ – нормальное напряжение, Па;

E – модуль упругости (модуль Юнга), Па;

ε – относительная линейная деформация (отвлечённое число).

Зависимость между давлением на дисперсный грунт и его сжатием находят путём испытания образца, помещённого в жёсткое кольцо, не позволяющее грунту расширяться в поперечном направлении. Такой вид испытания грунта называется *компрессией*. В связи с тем, что при компрессионном сжатии диаметр образца грунта не меняется, относительная объёмная и вертикальная деформации равны, т. е. $\varepsilon_v = \varepsilon_z$:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta h}{h}, \quad (9.2)$$

где h, V – начальные высота и объём образца;

$\Delta h, \Delta V$ – изменение высоты и объёма образца соответственно.

Компрессионную сжимаемость грунта можно характеризовать различными показателями. Для небольшого диапазона давлений (0,1–0,3 МПа) компрессионная кривая в координатах $e - P$ может быть заменена прямой, уравнение которой с угловым коэффициентом « a » будет иметь вид:

$$e_i = e_0 - aP_i, \quad (9.3)$$

где $a = \operatorname{tg} a = \frac{\Delta e}{\Delta P}$ – коэффициент сжимаемости уплотнения.

Сжимаемость песчаных грунтов невелика и зависит от их гранулометрического, минерального состава и плотности сложения. Сжатие песчаных грунтов связано с взаимным перемещением отдельных зёрен, а при больших давлениях – с их раздроблением. Сжатие этого типа грунтов протекает быстро, независимо от влажности.

Сжимаемость глинистых пород зависит от их минерального состава, степени дисперсности, состава обменных катионов, пористости, а также от состояния породы в условиях сжатия. Наиболее гидрофильные монтмориллонитовые глины характеризуются большей сжимаемостью по сравнению с каолинитовыми. При одинаковых условиях проведения опыта сжимаемость глинистых пород тем больше, чем выше их дисперсность. Глины, насыщенные натрием, более сжимаемы, чем глины, насыщенные кальцием. Чем больше пористости, тем больше абсолютная величина сжатия.

9.2 Необходимое оборудование

Компрессионный прибор К–1М; весы технические; штангенциркуль с точностью 0,1 мм; сушильный шкаф; стаканчики металлические (2 шт.); шпатель; индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм (2 шт.); бумага фильтровальная (рисунки 9.1, 9.2).



Рисунок 9.1 – Компрессионный прибор К–1М



Рисунок 9.2 – Одометр

9.3 Проведение испытаний

1 Разобрать прибор К–1М: отвинтить гайки и снять верхнее коромысло; снять консоли, отвинтить арретир, вытащить штамп, отпустить три зажимных винта на дне одометра и снять корпус одометра; из корпуса вытащить кольцо и снять с него резиновую прокладку и режущую насадку.

2 Штангенциркулем измерить высоту h_0 и внутренний диаметр d_0 кольца. Взвесить кольцо. Массу кольца m_0 и размеры его записать в таблицу 9.1.

3 Если испытывается грунт ненарушенной структуры, то на кольцо устанавливается режущая насадка. Затем кольцо острым режущим краем устанавливается в вертикальном положении на гладко зачищенную поверхность монолита. Придерживая кольцо левой рукой, в монолите острым ножом вырезать столбик грунта диаметром, примерно равным внешнему диаметру кольца. Одновременно, понемногу нажимая на верхний край кольца, насадить его на столбик грунта, не допуская перекоса. После того как грунт займёт всю плоскость кольца, отделить его от монолита. Снять с кольца режущую насадку и избыток грунта в кольце срезать вровень с краями кольца. Эту операцию необходимо выполнить очень тщательно, чтобы объём испытуемого образца был точно равен объёму полости кольца. Кольцо с грунтом взвесить и массу (m_1) записать в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Журнал компрессионных испытаний

Визуальное описание грунта _____

Место взятия грунта _____

Дата отбора _____

Высота кольца h_0 _____ мм

Диаметр кольца d_0 _____ мм

Масса кольца m_0 _____ г

Масса кольца с влажным грунтом m_1 _____ г

Плотность твёрдой фазы ρ_s _____ г/см³

Масса груза на подвеске Q , кг	Давление $p = \frac{Q}{60}$, Мпа	Отсчёты по индикаторам, мм			Абсолютная деформация прибора (по тарировочной кривой Δ , мм)	Относительная деформация грунта $\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$
		левый n_1 , мм	правый n_2 , мм	среднее $n_{cp} = \frac{n_1 + n_2}{2}$, мм		

Дата определения _____ 20 ____ г

Исполнитель _____
(фамилия, имя, отчество, подпись)

4 Если испытывается грунт нарушенной структуры, то необходимое количество грунта тщательно перемешать до образования однородной массы и заполнить им кольцо, добиваясь одинаковой плотности грунта во всех частях кольца, для чего кольцо следует заполнять послойно. Кольцо с грунтом взвесить, массу m_1 записать в таблицу 9.1. Из остатков грунта отобрать стаканы на влажность, результаты записать в таблицу 9.2 (см. п. 3).

Таблица 9.2 – Результаты определения влажности

Номер металлического стаканчика	Масса металлического стаканчика m_2 , г	Масса металлического стаканчика с влажным грунтом m_3 , г	Масса металлического стаканчика с высушенным грунтом m_4 , г		Влажность $w = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_2} \times 100 \%$
			1-е взвеш.	2-е взвеш.	

5 Установить на кольцо режущую насадку. Покрыть обе поверхности грунта влажной фильтровальной бумагой. Установить кольцо с грунтом на дно одометра и собрать прибор.

6 Закрепить в опорных бобышках два индикатора так, чтобы ножки индикаторов упирались в консоли и были выдвинуты на 70 % свободного хода (примерно на 7 мм). Записать показания индикаторов при отсутствии груза на подвеске в таблицу 9.1.

7 Испытания проводим экспресс-методом. Это значит, что отсчёты по индикаторам снимаются через две минуты после приложения очередной степени нагрузки.

8 На подвеску рычага прессы устанавливаются следующие грузы:

а) для слабых грунтов – 0,1; 0,2; 0,3; 0,6; 1,2; 1,8; 3,0; 4,5; 6,0 кг;

б) для прочных грунтов – 0,6; 1,2; 1,8; 3,0; 4,5; 6,0; 12,0 кг.

9 Этими же ступенями снимают грузы до нуля и также записывают показания индикаторов (цикл разгрузки).

10 После окончания опыта прибор разбирают, грунт выбрасывают, а прибор тщательно вытирают и собирают снова.

9.4 Обработка результатов

1 Вычислить:

1) влажность грунта до опыта:

$$w_0 = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_2} \times 100 \% ; \quad (9.4)$$

2) плотность грунта до опыта, г/см³:

$$\rho = \frac{4(m_1 - m_0)}{\pi d_0^2 h_0} ; \quad (9.5)$$

3) плотность сухого грунта, г/см³:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 w_0} ; \quad (9.6)$$

4) коэффициент пористости до опыта:

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + 0,01 w_0) - 1; \quad (9.7)$$

5) степень влажности:

$$s_r = \frac{w_0 \rho_s}{e_0 \rho_w}. \quad (9.8)$$

Все данные расчетов записать в таблицу 9.3.

Таблица 9.3 – Результаты определения компрессии

Плотность влажного грунта γ _____ г/см³

Плотность сухого грунта γ_d _____ г/см³

Плотность твёрдых частиц грунта γ_s _____ г/см³

Коэффициент пористости до опыта e_0 _____

Влажность до опыта w_0 _____ %

Степень влажности до опыта s_r _____

Плотность воды $\rho_w = 1$ г/см³

Давление P_i , МПа	Приведенная деформация ε_i	Коэффициент пористости e_i	Коэффициент сжимаемости, m_0 , МПа ⁻¹	Одометрический модуль деформации, E_{oed} , МПа ⁻¹	Модуль деформации E_k , МПа	Структурная прочность грунта P_{str} , МПа

2) Вычислить абсолютную (Δh) и относительную (ε) деформацию образца, используя формулы:

$$\Delta h = n_{cp}^0 - n_{cp} - \Delta, \quad (9.9)$$

где n_{cp} – берется из таблицы 9.1;

n_{cp}^0 – среднее из начальных отсчётов двух индикаторов (таблица 9.1).

Значения дельты принимаются из таблицы 9.4 (графа «Принятая величина дельты»).

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}. \quad (9.10)$$

Результаты вычислений записать в таблицы 9.1, 9.2.

Таблица 9.4 – Данные тарировки прибора К–1М

Дата и время наблюдения	Давление P , МПа	Деформация частей прибора и двух фильтров, мм						Средняя из средних	Принятая величина дельты
		1 тарировка		2 тарировка		3 тарировка			
		1 инд.	2 инд.	1 инд.	2 инд.	1 инд.	2 инд.		
10 ч	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02 мин	0,05	0,03	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,055	0,05
04 мин	0,1	0,06	0,09	0,07	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08
06 мин	0,2	0,10	0,14	0,10	0,12	0,11	0,15	0,12	0,12
08 мин	0,3	0,12	0,15	0,14	0,17	0,13	0,16	0,145	0,14
10 мин	0,4	0,13	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16	0,155	0,16
12 мин	0,5	0,14	0,18	0,18	0,18	0,16	0,18	0,17	0,17
14 мин	0,6	0,15	0,18	0,18	0,19	0,17	0,18	0,175	0,17
16 мин	0,7	0,16	0,18	0,19	0,20	0,18	0,19	0,185	0,18
18 мин	0,8	0,17	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19

3 Построить компрессионную кривую (рисунок 9.3). Через точки графика провести плавную осредненную кривую.

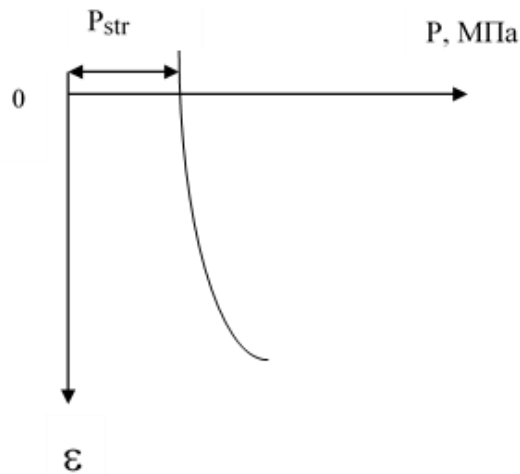


Рисунок 9.3 – Компрессионная кривая

4 Вычислить коэффициент пористости e_i при давлении P_i по формуле:

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0). \quad (9.11)$$

5 Коэффициент сжимаемости m_0 , МПа^{-1} в заданном интервале давлений P_i и P_{i+1} вычислить с точностью 0,001 МПа по формуле:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}, \quad (9.12)$$

где e_i и e_{i+1} – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям P_i и P_{i+1} .

Результаты записать в таблицу 9.3.

6 Одометрический модуль деформации E_{oed} вычислить с точностью 0,1 МПа по формуле:

$$E_{oed} = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon} = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i}, \quad (9.13)$$

где $\Delta \varepsilon$ – изменение относительного сжатия, соответствующее изменению давления Δp ;

ε_i и ε_{i+1} – значения относительного сжатия, соответствующие давлениям P_i и P_{i+1} .

7 Модуль деформации по данным компрессионных испытаний E , МПа в интервале давлений P_i и P_{i+1} вычислить с точностью 0,1 МПа по формулам:

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta, \quad (9.14)$$

$$E_k = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \beta, \quad (9.15)$$

где ε_i и ε_{i+1} – значения относительного сжатия, соответствующие давлениям P_i и P_{i+1} ;

m_0 – коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалу давлений от P_i до P_{i+1} ;

β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и вычисляемый по формуле:

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (9.16)$$

где ν – коэффициент поперечной деформации, определяемый по результатам испытаний в приборах трехосного сжатия или в компрессионных приборах с измерением бокового давления. При отсутствии экспериментальных данных допускается принимать β равным 0,8 для песков; 0,7 для супесей; 0,6 для суглинков и 0,4 для глин.

8 Определить структурную прочность P_{str} как давление, при котором относительная вертикальная деформация образца грунта ε составит 0,0005.

Контрольные вопросы

- 1 Чем обусловлена сжимаемость грунтов?
- 2 Какими параметрами можно охарактеризовать сжимаемость грунтов?
- 3 Какие недостатки имеет экспресс-метод по сравнению со стандартными испытаниями на компрессию?
- 4 Что показывает компрессионная кривая?

5 Что такое структурная прочность?

6 Как определить абсолютную и относительную деформацию грунта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10 ФИЛЬТРАЦИОННАЯ КОНСОЛИДАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ (НА ОСНОВЕ ГОСТ 12248-2010)

10.1 Общие положения

Консолидацией называется сжатие грунта без возможности бокового расширения в зависимости от времени при постоянной нагрузке.

При приложении внешней нагрузки на водонасыщенные грунты вначале наблюдается мгновенное сжатие (адиабатическое, обусловленное сжимаемостью поровой воды), затем процесс фильтрационного уплотнения (обусловленный выжиманием воды из пор) и, наконец, добавляется процесс вторичной консолидации или ползучести твёрдой фазы грунта (обусловленный невосстанавливаемыми сдвигами частиц, их агрегатов, вводно-коллоидных оболочек и т. п., когда выжимание воды становится весьма незначительным).

Процесс фильтрационной консолидации недоуплотнённых полностью водонасыщенных глинистых грунтов в условиях одномерной задачи при равномерном распределении нагрузки описывается следующим уравнением:

$$\frac{\partial P_z}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 P_z}{\partial z^2}, \quad (10.1)$$

где P_z – давление на скелет грунта;

C_v – коэффициент фильтрационной консолидации грунта;

z – глубина залегания элементарного слоя в грунтовом массиве.

Если степень влажности грунта $S_r < 0,85$, то фильтрационная консолидация не наступает.

Консолидацию грунтов в лабораторных условиях изучают на компрессионных приборах различных систем (типа КП, К–1, МГРИ и др.).

10.2 Необходимое оборудование

Компрессионный прибор К–1М; одомер; весы технические; штангенциркуль с точностью 0,1 мм; стаканчик металлический (2 шт.); шпатель; индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм; термометр с ценой деления 1 °С, сушильный шкаф; бумага фильтровальная (рисунки 9.1, 9.2).

10.3 Проведение испытаний

1 Разобрать прибор К–1М.

2 Штангенциркулем измерить высоту h_0 и диаметр d_0 кольца. Взвесить кольцо с пластмассовой подставкой. Массу кольца m_0 и его размеры записать в журнал испытаний (таблица 10.1).

3 Необходимое количество грунта тщательно перемешать в чашке, добавляя воду до образования однородной массы текучепластичной консистенции. Определить температуру грунта. Установить кольцо на пластмассовую подставку широким фланцем и заполнить кольцо грунтом, добиваясь одинаковой плотности грунта во всех частях кольца. Кольцо с грунтом и подставкой взвесить, и массу m_1 записать в таблицу 10.1.

4 Из остатков грунта отобрать два стаканчика на влажность в соответствии с ГОСТ 5180-84. Масса грунта в стаканчике должна быть 15–50 г. Взвесить их и поставить в сушильный шкаф. Результаты определения влажности записать в журнал (таблица 10.2).

5 Покрыть поверхность грунта фильтровальной бумагой и установить кольцо на дно одометра. Снять пластмассовую подставку, установить режущую насадку, покрыть вторую поверхность грунта фильтровальной бумагой.

6 Собрать прибор: на кольцо надеть резиновую прокладку; надеть и закрепить корпус одометра; установить штамп так, чтобы он достаточно плотно прилегал к поверхности грунта.

7 Закрепить в опорных бобышках два индикатора, чтобы ножки индикаторов упирались в консоли и были выдвинуты на 70 % свободного хода. Записать показания индикаторов при отсутствии груза на подвеске в таблицу 10.1.

8 Приготовить секундомер. Аккуратно установить на подвеску рычага груз массой 12 кг и брать отсчёты по индикатору через 30 с, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 мин, 1 ч от начала опыта (далее, при наличии времени, опыт проводят в соответствии с требованиями ГОСТа до стабилизации деформации). Данные записывать в таблицу 10.1.

9 После окончания опыта прибор разобрать, грунт переложить в чашку, прибор тщательно протереть и передать лаборанту.

Таблица 10.1 – Данные испытаний на консолидацию

Грунт –
 Структура –
 Место взятия –
 Высота кольца h_0 _____ мм
 Диаметр кольца d_0 _____ мм
 Масса кольца m_0 _____ г

Дата отбора –
 Дата начала опыта –
 Дата окончания опыта –
 Масса кольца с влажным грунтом m_1 _____ г
 Плотность твёрдой фазы грунта $\rho_s =$ _____ г/см³
 Температура воды в грунте T _____ °С

Время опыта (часы, минуты, секунды)	Масса груза на подвеске Q , кг	Давление на грунт $P = \frac{Q}{60}$, Мпа	Отсчёты по индикаторам, мм			Время от начала приложения ступени нагрузки t , мин	Корень квадратный из времени \sqrt{t} , мин	Абсолютная деформация прибора Δ , мм	Абсолютная деформация грунта $Dh = n_{cp}^0 - n_{cp} - D$, мм	Относительная деформация грунта $\varepsilon = \frac{Dh}{h_0}$
			левый n_1	правый n_2	среднее $n_{cp} = \frac{n_1 + n_2}{2}$					
	0					0	0	0	0	0
	12									

Таблица 10.2 – Журнал определения влажности грунта

Визуальное описание грунта _____

Номер стаканчика	Масса стаканчика m_2 , Г	Масса стаканчика с влажным грунтом m_3 , Г	Масса стаканчика с высушенным грунтом m_4 , Г		Влажность w_0 , %
			1-е взвеш.	2-е взвеш.	

Дата определения _____ 20__ г.

Исполнитель _____
(фамилия, имя, отчество, подпись)

10.4 Обработка результатов

1 Вычислить влажность грунта до опыта по данным таблицы 10.2:

$$w_0 = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_2} \times 100 \% . \quad (10.2)$$

2 Вычислить плотность грунта до начала эксперимента:

$$\rho = \frac{4(m_1 - m_0)}{\pi d_0^2 h_0} . \quad (10.3)$$

3 Вычислить плотность сухого грунта до опыта:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 w_0} . \quad (10.4)$$

4 Вычислить коэффициент пористости до опыта:

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 . \quad (10.5)$$

5 Вычислить степень влажности до опыта:

$$S_r = \frac{w_0 \rho_s}{e_0 \rho_w}, \quad (10.6)$$

где ρ_w – плотность воды, принимаемая за 1 г/см³.

Все результаты вычислений занести в таблицу 10.3.

Таблица 10.3 – Результаты определения физических характеристик и коэффициента фильтрационной консолидации при компрессионных испытаниях

Начальные характеристики:

Плотность влажного грунта ρ _____ г/см³

Плотность сухого грунта ρ_d _____ г/см³

Плотность частиц грунта ρ_s _____ г/см³

Коэффициент пористости e_0 _____

Влажность w_0 _____ %

Степень влажности S_r _____

Плотность воды $\rho_w = 1$ г/см³

Температура грунта (воды в грунте) T _____ °C

Время, соответствующее 90 % фильтрационной консолидации t_{90} , мин	Время, соответствующее 100 % фильтрационной консолидации t_{100} , мин	Средняя высота образца h , см	Коэффициент фильтрационной консолидации C_v , см ² /мин

6 Вычислить абсолютную (Δh) и относительную (ε) деформацию образца грунта по формулам:

$$\Delta h = n_{cp}^0 - n_{cp} - \Delta, \quad (10.7)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (10.8)$$

где n_{cp}^0 – среднее из начальных отсчётов двух индикаторов;

n_{cp} – берется из таблицы 10.1, а значение дельта – из таблицы

10.4

Таблица 10.4 – Данные тарировки прибора К-1М

Дата и время наблюдения	Давление P , Мпа	Деформация частей прибора и двух фильтров, мм							
		1 тарировка		2 тарировка		3 тарировка		Средняя из средних	Принятая величина Δ
		1 инд.	2 инд.	1 инд.	2 инд.	1 инд.	2 инд.		
10 ч	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02 мин	0,05	0,03	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,055	0,05
04 мин	0,1	0,06	0,09	0,07	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08
06 мин	0,2	0,10	0,14	0,10	0,12	0,11	0,15	0,12	0,12
08 мин	0,3	0,12	0,15	0,14	0,17	0,13	0,16	0,145	0,14
10 мин	0,4	0,13	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16	0,155	0,16
12 мин	0,5	0,14	0,18	0,18	0,18	0,16	0,18	0,17	0,17
14 мин	0,6	0,15	0,18	0,18	0,19	0,17	0,18	0,175	0,17
16 мин	0,7	0,16	0,18	0,19	0,20	0,18	0,19	0,185	0,18
18 мин	0,8	0,17	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19

7 Для определения коэффициента фильтрационной консолидации C_v кривую консолидации следует обработать методом «квадратного корня из времени» или логарифмическим методом, а при одновременном определении коэффициентов фильтрационной C_v и вторичной за счёт ползучести консолидации C_α – логарифмическим методом.

8 Для определения коэффициента фильтрационной консолидации методом «квадратного корня из времени» по результатам испытаний грунта под постоянным давлением строят кривую консолидации в координатах: относительная деформация за ступень давления (ордината, ε) – корень квадратный из времени в минутах (абсцисса, \sqrt{t}) (рисунок 10.1).

К начальному участку кривой проводят касательную ab и из точки пересечения касательной с осью ординат проводят вторую прямую ac , абсциссы которой равны 1,15 соответствующих абсцисс ab (рисунок 10.1).

Коэффициент фильтрационной консолидации вычисляют по формуле:

$$C_v = \frac{T_{90} h^2}{t_{90}} f_T, \quad (10.9)$$

где C_v – коэффициент фильтрационной консолидации, см²/мин;

T_{90} – фактор времени, соответствующий степени консолидации 0,90, равный 0,848;

h – высота образца (средняя между начальной высотой и высотой после завершения опыта на консолидацию). При двухсторонней фильтрации принимается высота, равная $\frac{h}{2}$;

t_{90} – время;

f_T – температурный поправочный коэффициент по таблице 10.5.

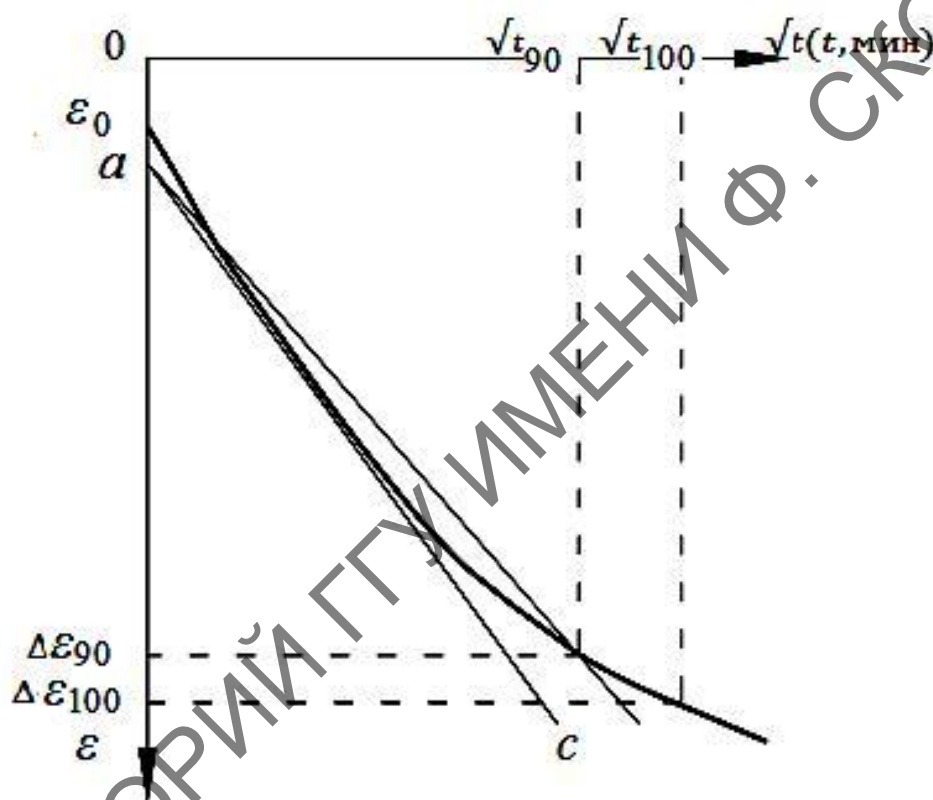


Рисунок 10.1 – График обработки кривой консолидации методом «корень квадратный из времени»

Таблица 10.5 – Значения температурной поправки

Температура T , °C	10	15	20	25	30
Температурная поправка f_T	1,3	1,15	1,0	0,9	0,8

9 Для определения времени 100 %-ной фильтрационной консолидации t_{100} предварительно вычисляют деформацию сжатия:

$$\varepsilon_{100} = \frac{\varepsilon_{90}}{0,9}. \quad (10.10)$$

Из точки ε_{100} проводят горизонтальную прямую до пересечения с кривой консолидации и находят соответствующее значение $\sqrt{t_{100}}$ (рисунок 10.1).

Контрольные вопросы

- 1 Чем обуславливается длительная сжимаемость глинистого грунта?
- 2 Какими параметрами можно охарактеризовать консолидацию грунта?
- 3 При какой степени влажности возникает фильтрационная консолидация?
- 4 С какой точностью снимают отсчёт по индикатору часового типа?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

ОДНОПЛОСКОСТНОЙ СРЕЗ ГРУНТОВ

(ПО ГОСТ 12248-2010)

11.1 Общие положения

Испытания грунтов методом одноплоскостного среза производят для определения следующих характеристик: прочности сопротивления грунта срезу τ , угла внутреннего трения φ , удельного сопротивления c . Эти характеристики можно определять для песков (кроме гравелистых и крупных), глинистых и органно-минеральных грунтов.

Эти характеристики определяют по результатам испытаний образцов грунта в одноплоскостных срезных приборах с фиксированной плоскостью среза путём сдвига одной части образца относительно другой его части касательной нагрузкой при одновременном нагружении образца нагрузкой, нормальной к плоскости среза.

Сопротивление грунта срезу – предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Для определения c и φ необходимо провести не менее трёх испытаний при различных значениях нормального напряжения.

Испытания проводят по следующим схемам:

а) консолидированно-дренированные испытания – для песков и глинистых грунтов независимо от их степени влажности в стабилизированном состоянии;

б) неконсолидированное испытание – для водонасыщенных глинистых и органно-минеральных грунтов, имеющих показатель текучести $I_L \geq 0,5$ и просадочных грунтов, приведённых в водонасыщенное состояние замачиванием без приложения нагрузки; для определения φ и c в нестабилизированном состоянии.

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью (или в водонасыщенном состоянии), образцы ненарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности (в том числе при полном водонасыщении) или образцы, отобранные из уплотнённого массива (для искусственно уплотнённых грунтов).

Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 70 мм и высотой от 1/3 до 1/2 диаметра. Максимальный размер фракции грунта (включений, агрегатов) в образце должен быть не более 1/5 высоты образца.

11.2 Необходимое оборудование

Прибор ГПП–30М (рисунок 11.1); индикатор часового типа; нож с ровным краем; шпатель; фильтровальная бумага.

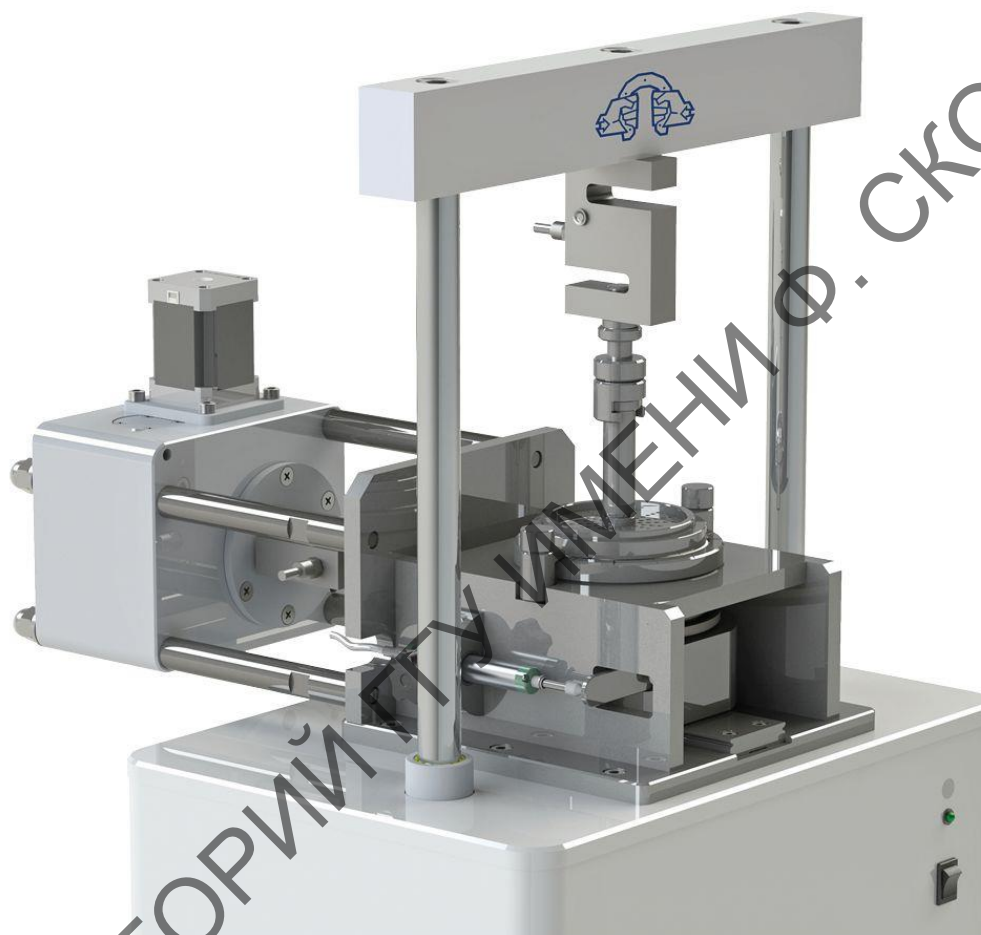


Рисунок 11.1 – Прибор ГПП–30М

Техническая характеристика прибора ГПП–30М: диаметр испытуемого образца – 71,5 мм; площадь сечения – 40 см²; высота образца – 35 мм; максимальное вертикальное давление – 1 МПа; максимальное горизонтальное давление – 0,6 МПа.

11.3 Подготовка к испытанию по схеме неконсолидированного быстрого среза

Кольцо прибора заполняют грунтом, добиваясь одинаковой плотности и влажности по образцу.

11.4 Проведение испытаний по схеме неконсолидированного быстрого среза

1 Перед производством испытания на сдвиг собрать срезыватель прибора. Для этого верхнюю обойму следует поставить на нижнюю, а установочные шпильки закрутить, настолько, чтобы концы их вошли в отверстия бобышек нижней обоймы и верхняя обойма лежала на нижней без зазора между ними. При этом шпильки не должны допускать смещения обойм относительно друг друга. На дно нижней обоймы уложить перфорированный вкладыш. Затем на вкладыш разложить лист фильтровальной бумаги.

2 Гильзу с вырезанным образцом поместить в верхнюю обойму срезывателя. Поверхность грунта покрыть фильтровальной бумагой. После этого положить верхний перфорированный вкладыш.

3 После закрепления срезывателя в гнезде маховичком и соединения обойм грунт продавить до соприкосновения с нижним вкладышем.

4 После зарядки срезывателя на верхний вкладыш осторожно двумя руками заложить штамп загрузочного устройства. Сверху установить крестовину и подсоединить механизм вертикального давления.

5 На образец грунта передать в одну ступень нормальное давление p , при котором будет производиться срез образца. Значения p принять по таблице 11.1.

Таблица 11.1– Рекомендуемые значения нормального давления

Грунты	Нормальное давление p , МПа
Глинистые и органо-минеральные грунты с показателем текучести: $0,5 \leq I_L < 1,0$ $I_L \geq 1,0$	0,05; 0,1; 0,15 0,025; 0,075; 0,125

Масса груза на подвеске рычага вертикальной нагрузки прибора ГПП–30М (для того, чтобы создать нормальное давление P) рассчитать по формуле:

$$Q_1 = p \cdot 40 - 0,4, \quad (11.1)$$

где Q_1 – масса груза, кг;

p – вертикальное давление, МПа.

6 Одновременным вращением гаек установочных шпилек, соединяющих обоймы, установить зазор между обоймами. Величина должна быть минимальной (от 0,5 до 1,0 мм). Если вращение гаек требует значительного усилия или после их изъятия зазор закрывается снова, необходимо снять вертикальное давление и проверить правильность загрузки.

7 Перед началом сдвига упор тормозного устройства отвести от эксцентрика с таким расчётом, чтобы ход верхней обоймы срезывателя был равен 5–8 мм.

8 Присоединить с помощью тросика механизм горизонтальной нагрузки. Выкрутить установочные шпильки и установить индикатор горизонтальных деформаций так, чтобы ножка была выдвинута на 6–8 мм.

9 При передаче касательной нагрузки ступенями их значения не должны превышать 10 % значения нормального давления, при котором производится срез. Приложение ступеней нагрузки должно следовать через каждые 10–15 с. Весь опыт должен занять не более 2 мин.

10 Испытания следует считать законченными, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или относительная деформация образца превысит 10 % (в зависимости от того, что наступит раньше).

11 В процессе испытания вести лабораторный журнал (таблица 11.2).

12 Определение τ следует проводить не менее, чем при трех различных значениях p .

Таблица 11.2 – Журнал лабораторных определений на одноплоскостной срез

Визуальное описание грунта _____

Дата испытания	Масса груза на подвеске рычага вертикальной нагруз- ки Q_1 , кг	Давление на образец грунта P , Мпа	Нормальное напряжение σ , Мпа	Масса груза на подвеске рычага горизонтальной нагрузки Q_2 , кг	Касательное напряжение τ , Мпа

Дата определения _____ 20__ г.

Наименование грунта по СТБ 943-2007 _____

Исполнитель _____

(фамилия, имя, отчество, подпись)

11.5 Обработка результатов

1 По измеренным в процессе испытаний значениям касательных и нормальных нагрузок вычислить касательные и нормальные напряжения по формулам:

$$\sigma = p, \quad (11.2)$$

$$\tau = \frac{Q_2}{40}. \quad (11.3)$$

2 Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c определить как параметры линейной зависимости:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (11.4)$$

где σ и τ рассчитать по формулам (11.2), (11.3).

3 Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c вычислить по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (11.5)$$

$$c = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (11.6)$$

где τ_i – опытные значения сопротивления срезу, определённые при различных значениях σ_i и относящиеся к отдельному монолиту грунта (при $n \geq 3$) или одному инженерно-геологическому элементу;

n – число испытаний.

Для трех испытаний ($n = 3$) формулы можно записать следующим образом:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{3(\tau_1 \sigma_1 + \tau_2 \sigma_2 + \tau_3 \sigma_3) - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}, \quad (11.7)$$

$$c = \frac{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)(\tau_1 \sigma_1 + \tau_2 \sigma_2 + \tau_3 \sigma_3)}{3(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}. \quad (11.8)$$

4 Строят график зависимости τ от σ (рисунок 11.2).

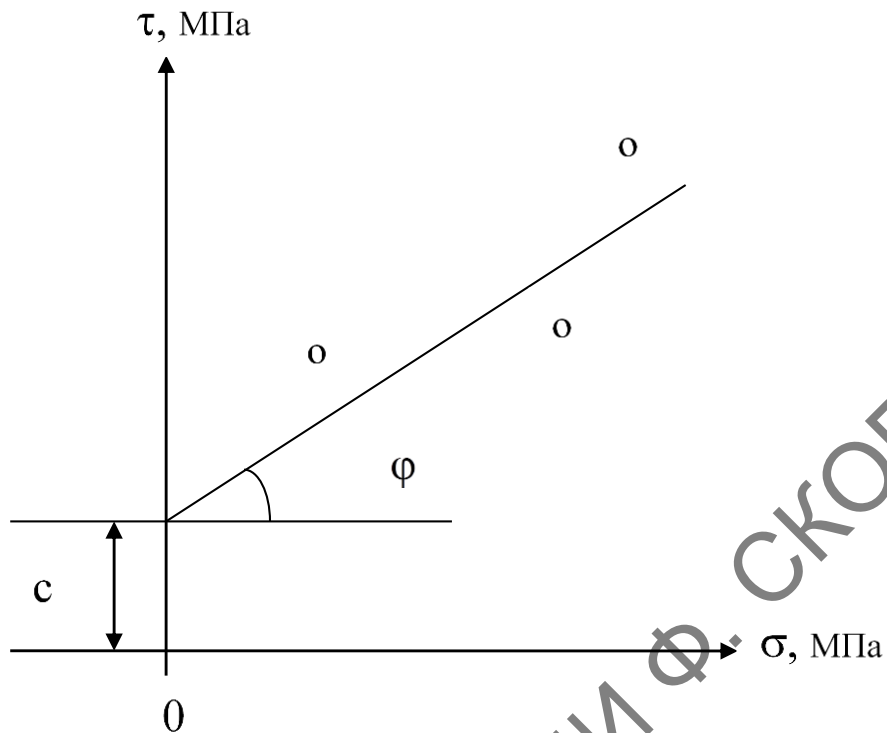


Рисунок 11.2 – График зависимости τ от σ

Контрольные вопросы

- 1 Какие параметры характеризуют сопротивление грунтов сдвигу?
- 2 Как подготавливают грунт к испытаниям на одноплоскостной срез?
- 3 Грунты какого сложения используют для выполнения эксперимента?
- 4 Какова основная методика испытания грунтов при быстром сдвиге без предварительного уплотнения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12 УГОЛ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

12.1 Общие положения

Углом естественного откоса называют угол, при котором неукреплённый откос песчаного грунта сохраняет равновесие, или угол, под которым располагается свободно насыпанный песок.

Угол естественного откоса определяют в воздушно-сухом состоянии и под водой.

12.2 Необходимое оборудование

Прибор УВТ-2 (рисунок 12.1); воронка; шланг; совок; банка для воды; сухой песок.

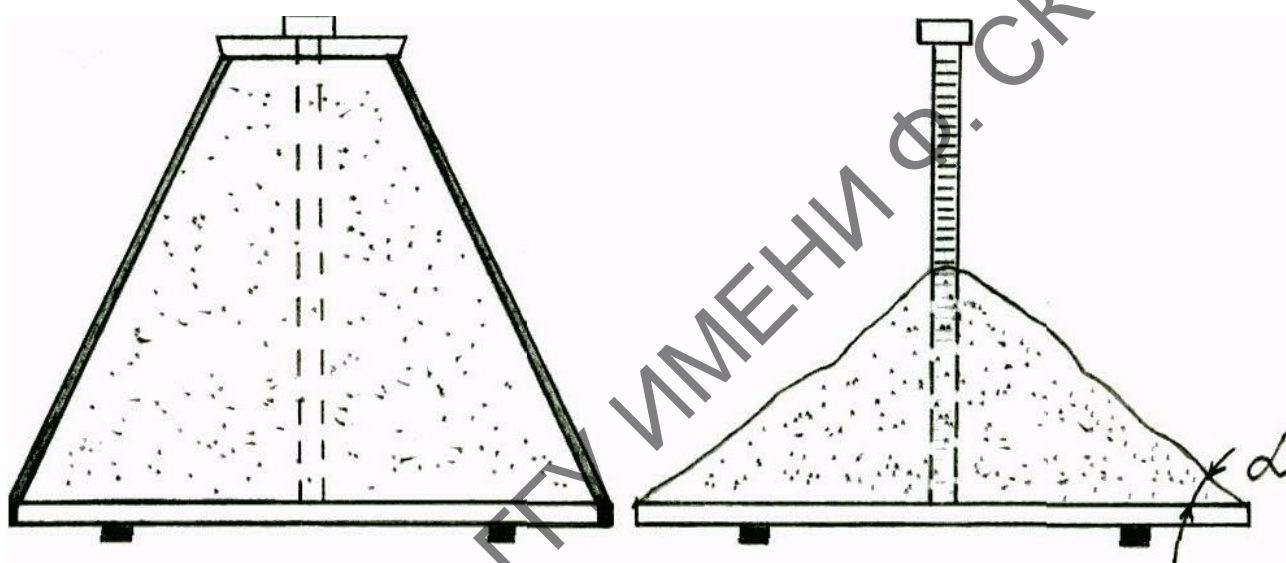


Рисунок 12.1 – Прибор УВТ-2

12.3 Проведение испытаний

- 1 Достать прибор из коробки и снять крышку.
- 2 Установить резервуар на ровную поверхность.
- 3 Убедиться, что мерительный столик установлен в гнезда резервуара.
- 4 На столик установить обойму, в которую лоточком или совком до верха насыпают песок, слегка постукивая по резервуару или обойме.
- 5 Осторожно, по возможности вертикально поднимая, снять обойму. По вершине образовавшегося конуса взять отсчёт.
- 6 Данные занести в лабораторный журнал (таблица 12.1).

7 Опыт повторить не менее двух раз. Расхождения между повторными определениями не должны превышать 1° .

8 Для определения угла естественного откоса под водой после заполнения обоймы песком резервуар наполняют водой до верхней метки, имеющейся на боковой поверхности резервуара с помощью резинового шланга, спущенного на дно резервуара.

9 Прекратить подачу воды, убрать шланг и дать грунту полностью насытиться водой примерно 10–15 мин.

10 Осторожно, по возможности вертикально, снять обойму.

11 Осторожно за стержень приподнять мерительный столик над водой и снять отсчёт по вершине конуса песка.

12 Данные записать в журнал (таблица 12.1).

13 Повторить опыт.

Таблица 12.1 – Журнал определения угла естественного откоса песков

Визуальное описание грунта _____

Номер опыта	Описание образца	Угол откоса песка, градус	
		в воздушно-сухом состоянии	под водой
		α_d	α_w
1	Песок мелкозернистый	30	27
2	Песок мелкозернистый	31	27

Дата определения _____ 20__ г.

Исполнитель _____

(фамилия, имя, отчество, подпись)

12.4 Обработка результатов

Проанализировать надёжность метода и стабильность показаний, возможную разбежку в результатах, если она имеется.

Контрольные вопросы

1 Что такое угол естественного откоса?

2 Какие основные единицы измерения угла откоса?

3 Какие причины расхождения показаний при испытаниях песков в воздушно-сухом состоянии и под водой?

4 Как влияет влажность на угол естественного откоса?

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 13
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТА
В ТРУБКЕ КАМЕНСКОГО**

13.1 Общие положения

Водопроницаемостью грунтов называют способность их пропускать сквозь себя воду.

Численно водопроницаемость характеризуется так называемым коэффициентом фильтрации k . Коэффициент фильтрации измеряется обычно в м/сут или в см/с.

В 1856 году Анри Дарси, проведя ряд экспериментов с просачиванием воды через песок, помещенный в трубку цилиндрического сечения, получил следующую зависимость (закон Дарси):

$$Q = k\omega I, \quad (13.1)$$

где Q – расход воды через данную трубку;

ω – площадь поперечного сечения трубки;

I – градиент напора;

k – коэффициент фильтрации.

Как следует из формулы (13.1), коэффициент фильтрации представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте равном единице.

На коэффициент фильтрации k влияют температура, вязкость, плотность воды.

Влияние температуры можно учесть следующей формулой:

$$k = k_{10}(0,7 + 0,03T), \quad (13.2)$$

где T – температура воды при опыте;

k_{10} – коэффициент фильтрации при 10 °С.

Параметр проницаемости среды, не зависящий от физических свойств воды или другой жидкости (например, нефти), называется коэффициентом проницаемости k_o . На практике часто используется другая единица измерения коэффициента k_o – дарси (Д).

1 Д = $1,02 \cdot 10^{-12}$ м² = $1,02 \cdot 10^{-8}$ см²; 1 мД (миллидарси) = 0,001 Д.

Широко применяется для оценки проницаемости также микрометр квадратный (мкм²). 1 м² = 10^{12} мкм².

Между коэффициентом фильтрации k и коэффициентом проницаемости k_o установлена следующая связь:

$$k = k_o \frac{\rho g}{\eta}, \quad (13.3)$$

где ρ – плотность воды;
 g – ускорение свободного падения;
 η – динамическая вязкость.

Кром вязкости η в грунтоведении используется понятие кинематическая вязкость ν .

Между динамической и кинематической вязкостью существует зависимость:

$$\eta = \nu \cdot \rho. \quad (13.4)$$

На вязкость заметно влияет температура воды (таблица 13.1).

Таблица 13.1 – Значения кинематической вязкости для воды

Температура, °С	0	5	10	12	15	20	30	40	50
100· ν , см ² /с	1,78	1,52	1,34	1,24	1,14	1,01	0,81	0,66	0,65

Плотность воды также зависит от температуры (таблица 13.2).

Таблица 13.2 – Плотность воды при разных температурах

Температура, °С	Плотность, г/см ³	Температура, °С	Плотность, г/см ³
0–12	1,000	24–27	0,997
12–18	0,999	28–30	0,996
19–23	0,998	31–33	0,995

Опыты Дарси выполнялись при постоянном градиенте напора. Каменским Г. Н. сконструирован прибор (трубка Каменского) и получена формула определения коэффициента фильтрации при снижающихся во времени градиентах напора и скорости фильтрации:

$$k = - \frac{l}{t} \ln \left(1 - \frac{s}{h_0} \right), \quad (13.5)$$

где l – длина пути фильтрации (высота столбика грунта в трубке);

h_0 – первоначальный напор;

s – падение уровня воды в трубке за время t .

На практике опыты в трубке Каменского применяются не только для песков, но и для изучения слабопроницаемых грунтов: песков пылеватых, алевритов, супесей.

13.2 Необходимое оборудование

Трубка Каменского; стеклянная банка на 1 л; секундомер; термометр с ценой деления 0,5 °С; линейка; пылеватый песок или алеврит.

13.3 Описание прибора

Прибор в простейшем случае состоит из стеклянной трубки диаметром 2–4 см, длиной около 25 см, на которой сверху нанесены деления через каждый 1 см (рисунок 13.1). На нижнем конце трубки укрепляется сетка. Сетка в случае необходимости может быть заменена обвязкой из марли.

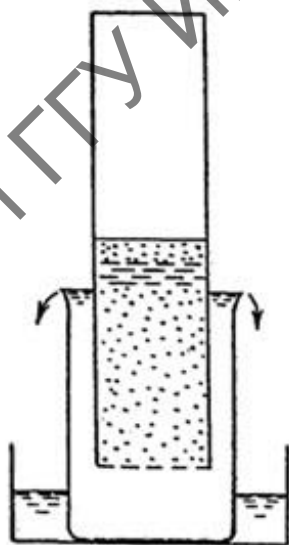


Рисунок 13.1 – Трубка Каменского

13.4 Загрузка прибора

1 Установить трубку на подставке в банке высотой 20–25 см и осторожно небольшими порциями наполнять трубку грунтом до высоты

10 см, слегка уплотняя его легкой деревянной трамбовкой. В банку по мере наполнения трубки грунтом понемногу наливать воду.

2 Когда весь грунт будет насыщен водой, добавить в банку такое количество воды, чтобы, просочившись под напором снизу, она образовала над грунтом слой в 1–2 см.

3 Насыпать над песком слой гравия толщиной 1–2 см для предохранения песка от размыва.

13.5 Ход определения коэффициента фильтрации

1 По окончании загрузки прибора следует долить в трубку воду сверху и быстро установить на небольшой подставке в наполненную до краев водой чашку. Высота чашки должна быть ниже деления, до которого предполагается наблюдать падение уровня в трубке.

2 Чашку вместе с трубкой поместить в широкий низкий цилиндр, куда будет собираться вода, переливающаяся через край чашки по мере падения уровня в трубке.

3 Секундомером отметить момент прохождения мениска воды в трубке через нулевое деление, а затем через ряд последующих делений (для малопроницаемых песков – через два-три деления, а для хорошо фильтрующих – через большее число делений).

4 Одновременно с наблюдением за падением уровня воды произвести замеры температуры.

5 Данные опыта занести в журнал (таблица 13.3). Опыт повторить несколько раз.

Таблица 13.3 – Журнал определения коэффициента фильтрации в трубке Каменского

Краткое описание грунта _____

Но- мер опы- та	Длина пути фильтра- ции l , см	Перво- на- чаль- ный напор h_0 , м	Падение уровня s , см	Время фильтра- ции t , с	Темпера- тура воды T , °С	Темпера- турная по- правка $\tau = 0,7 + 0,03T$	Коэффици- ент филь- трации при 10 °С	
							$k_{10} = \frac{k}{\tau}$	см/с м/су т

13.6 Обработка результатов

1 Рассчитать коэффициент фильтрации грунта для каждого эксперимента. Расчеты выполнить в см/с и м/сут, округление провести до трех значащих цифр.

2 Рассчитать k_{10} для каждого эксперимента и среднее значение. Округление провести до трех значащих цифр.

3 Рассчитать коэффициент проницаемости грунта k_o по формуле (13.3) для каждого эксперимента и среднее значение. Расчеты выполнить в мкм^2 и в Д, округление провести до трех значащих цифр.

4 Результаты расчетов оформить в виде таблицы.

5 Определить, как влияет температура воды на коэффициент фильтрации и коэффициент проницаемости грунта.

6 Записать формулу связи скорости фильтрации v и градиента напора I .

Контрольные вопросы

1 Что такое водопроницаемость грунтов?

2 Чем характеризуется водопроницаемость?

3 Какая связь устанавливается между коэффициентом фильтрации и коэффициентом проницаемости?

4 Как рассчитывается коэффициент фильтрации?

5 Что такое коэффициент проницаемости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

14.1 Общие положения

Способность горных пород проводить электрический ток определяется их удельной электропроводностью (σ). Величина, обратная электропроводности, является удельным электрическим сопротивлением (ρ):

$$\rho = \frac{1}{\sigma}. \quad (14.1)$$

Удельное электрическое сопротивление характеризует противодействие единицы объёма вещества (горных пород, воды и т. д.) прохождению электрического тока.

Удельное электрическое сопротивление горных пород определяется удельным электрическим сопротивлением твердой фазы, жидкостей и газов, насыщающих поровое пространство, их объёмным содержанием (коэффициентами пористости, водонефтегазонасыщения и глинистости), температурой и давлением.

В уравнении, описывающем электрическое сопротивление (R), удельное электрическое сопротивление представляет собой коэффициент пропорциональности:

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (14.2)$$

где R – электрическое сопротивление образца, Ом;

L – длина образца, м;

S – площадь поперечного сечения образца, м².

Единицей изменения удельного электрического сопротивления в системе СИ служит Ом на метр (1 Ом×м – это сопротивление электрическому току между двумя противоположными гранями куба с ребром 1 м).

Лабораторным путём удельное электрическое сопротивление (ρ) определяется для установления:

– пределов изменения электрического сопротивления отдельных типов и групп пород (песков, песчаников, глин, глинистых, известково-магнезиальных, кислых, средних, основных и других групп пород);

– наиболее вероятных и средних значений электрического сопротивления для типов пород отдельных стратиграфических подразделений, разрезов, площадей, фаций и геологических регионов;

– характера зависимости удельного электрического сопротивления пород от минерального состава, структуры, соотношения фаз, частоты и напряженности электрического поля;

– характера изменения удельного электрического сопротивления при эпигенетическом преобразовании и метаморфизме пород.

Все эти сведения используются при проектировании токовых методов электрометрии скважин и электроразведки, при интерпретации результатов этих исследований, а также для решения многих других задач геологических исследований.

Минералы, входящие в состав горных пород, по величине ρ подразделяются на три группы:

- 1) проводники: $\rho < 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- 2) полупроводники $10^{-4} < \rho < 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- 3) диэлектрики $\rho > 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

К диэлектрикам относятся важнейшие породообразующие минералы: кварц, полевые шпаты, кальцит, доломит, галит, сильвин, сера, флюорит, слюды и др. Диэлектриком является также нефть, ее $\rho = 10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Газовая фаза – воздух, смеси углеводородов имеют $\rho \rightarrow \infty$.

Удельное электрическое сопротивление воды определяется степенью ее минерализации, химическим составом растворенных в ней солей, температурой и изменяется от $2 \cdot 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (для дистиллированной воды) до $3 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (для вод с высокой минерализацией, достигающей $300-400 \text{ г/дм}^3$).

14.2 Необходимое оборудование и материалы

Источник постоянного тока Б5-48; микроамперметр; штангенциркуль; двухэлектродная установка; образцы пород девонских отложений Припятской впадины; термометр с ценой деления $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$; пластовая вода минерализацией 200 г/дм^3 ; пресная водопродовная вода.

14.3 Производство испытаний

1 Собрать установку так, чтобы источник питания, микроамперметр и исследуемый образец были включены в цепь последовательно, а вольтметр – параллельно.

2 Определить цену деления шкалы измерительного прибора – микроамперметра.

3 Замерить штангенциркулем длину и диаметр образца. Закрепить с помощью круглой резинки воздушно-сухой образец между электродами.

4 Установить на источнике питания напряжение 50 В.

5 Включить источник питания и быстро измерить силу тока в микроамперметрах. Результаты записать в журнал лабораторного эксперимента.

6 Провернуть образец вдоль его цилиндрической оси примерно на 120° и снова измерить силу тока.

7 Провернуть образец еще на 120° и еще раз измерить силу тока. Результаты записать в журнал лабораторного эксперимента.

8 Отсоединить образец от электродов и определить вид горной породы.

9 Достать из ведерка с водопроводной водой образец керна, обсушить его боковую поверхность ветошью или фильтровальной бумагой, определить вид горной породы. Замерить штангенциркулем длину и диаметр образца.

10 Закрепить образец с помощью резинки между электродами и измерить три раза силу тока, аналогично сухому образцу. Если амперметр зашкаливает, то уменьшить подаваемое напряжение на источнике питания. Результаты записать в лабораторный журнал.

11 Вернуть образец в ведерко с водопроводной водой.

12 Достать из кувшинчика с пластовой водой образец керна, обсушить его боковую поверхность ветошью или фильтровальной бумагой, определить вид горной породы. Замерить штангенциркулем длину и диаметр образца.

13 Закрепить образец с помощью резинки между электродами и измерить три раза силу тока, аналогично как с образцом, насыщенным пресной водой. Если амперметр зашкаливает, то уменьшить подаваемое напряжение на источнике питания. Результаты записать в лабораторный журнал.

14 После измерения опустить образец керна в кувшинчик с минерализованной водой.

Контрольные вопросы

- 1 Какова формула для расчета закона Ома?
- 2 Какие единицы измерения напряжения, силы тока, электрического сопротивления используются в системе СИ?
- 3 Какие факторы влияют на величину удельного электрического сопротивления горной породы?
- 4 В каких геофизических методах исследований используется электропроводность пород?
- 5 На какие группы подразделяются горные породы по электропроводности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ВЛАГОЁМКОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ МЕТОДОМ ВЛАГОЁМКИХ СРЕД

15.1 Общие положения

Максимальной молекулярной влагоёмкостью грунта w_m называется максимальное количество гигроскопической и пленочной воды, удерживаемое частицами этого грунта. Так же как и гигроскопичность грунта, максимальная молекулярная влагоёмкость зависит от состава грунта и его удельной поверхности.

Для определения максимальной молекулярной влагоёмкости существует ряд методов. Из них в инженерно-геологической практике наибольшее распространение получили методы: высоких колонн, влагоёмких сред и центрифугирования.

Метод высоких колонн применяется для песчаных грунтов. Для глинистых грунтов он непригоден, так как для них потребовались бы слишком высокие колонны вследствие высокой капиллярности этих грунтов и слишком большая продолжительность опыта вследствие их слабой водопроницаемости.

Водопроницаемостью грунтов называют способность их пропускать сквозь себя воду.

Для глинистых грунтов более удобен метод влагоёмких сред, разработанный А. Ф. Лебедевым. Метод этот применяется и для песчаных грунтов, не содержащих частиц крупнее 0,5 мм.

15.2 Необходимое оборудование и материалы

Гидравлический пресс (рисунок 15.1); металлические стаканчики (2 шт.); технические весы с разновесами; металлическое кольцо толщиной 1,5 мм и диаметром 50 мм; металлические пластинки; фильтровальная бумага; марля; фарфоровая чашка; шпатель; сушильный шкаф.

15.3 Ход определения

1 Образец грунта в воздушно-сухом состоянии просеять сквозь сито 0,5 мм.

2 Среднюю пробу массой 70–75 г (из частиц < 0,5 мм) замесить с водой в фарфоровой чашке до состояния верхнего предела пластичности.



Рисунок 15.1 – Гидравлический пресс

3 На лист фильтровальной бумаги размером 6×6 см положить кусочек марли такого же размера, затем положить на марлю металлическое кольцо (шаблон) стандартного размера (толщиной 1–2 мм, диаметром 50 мм) и заполнить его полость заготовленным грунтом. Избыток грунта, выступающего из отверстия шаблона, удалить ножом.

4 Кольцо осторожно убрать; оставшийся на фильтровальной бумаге столбик грунта поместить между листами фильтровальной бумаги (по 20 листов с каждой стороны).

5 Несколько приготовленных таким образом образцов различных грунтов поместить под пресс, отделяя их друг от друга деревянной или металлической пластинкой.

6 Довести давление прессования до $65,5 \text{ кгс/см}^2$ (6,55 МПа) и выдержать его в течение 10 мин, следя за неизменностью давления в течение всего опыта.

7 По окончании прессования быстро освободить каждый образец от фильтровальной бумаги и марли, поместить его в предварительно взвешенный металлический стаканчик, высушить при $105 \text{ }^\circ\text{C}$, взвесить и вычислить влажность. Эта влажность и является максимальной молекулярной влагоёмкостью w_m .

8 Данные опыта занести в журнал (таблица 15.1).

Таблица 15.1 – Журнал определения максимальной молекулярной влагоёмкости методом влагоёмких сред

Но- мер опы- та	Номер ме- таллическо- го стакан- чика с крышкой	Масса ме- таллическо- го стакан- чика с крышкой m , г	Масса влажного грунта с металли- ческим стаканчи- ком и крышкой m_1 , г	Масса высушенного грунта с металли- ческим стаканчи- ком и крышкой m_0 , г		Макси- мальная молеку- лярная влагоём- кость w_m , %
				1-е взве- шивание	2-е взве- шивание	
1	159	37,77	48,33	46,35	46,35	23,2
2	216	27,69	37,27	35,51	35,49	22,7

9 Прессование второго (параллельного) образца следует проводить отдельно от первого.

15.4 Обработка результатов

1 Вычислить максимальную молекулярную влагоёмкость по формуле:

$$w_m = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100 \%, \quad (15.1)$$

где m – масса пустого стаканчика с крышкой, г;

m_1 – масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

m_0 – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

2 Определить среднее значение максимальной гигроскопической влажности из двух определений.

3 При параллельных определениях расхождение в результатах допускается в пределах 1–2 %.

Контрольные вопросы

1. Что такое максимальная молекулярная влагоёмкость грунта?
- 2 Какой метод используется для определения максимальной молекулярной влагоёмкости грунтов?
- 3 От чего зависит максимальная молекулярная влагоёмкость грунта?
- 4 Как рассчитать максимальную молекулярную влагоёмкость?
- 5 Для каких грунтов более удобен метод влагоёмких сред?

ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – Взамен ГОСТ 5180-75, ГОСТ 5181-78, ГОСТ 5182-78, ГОСТ 5183-77; введ. 01.07.1985. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 24 с.

2 ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Взамен ГОСТ 12536-79; введ. 01.07.2015. – М. : Стандартиформ, 2015. – 22 с.

3 СТБ 943-2007 Грунты. Классификация. – Взамен СТБ 943-93; введ. 2008-01-01. – Минск : Госстандарт, 2007. – 20 с.

4 ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Взамен ГОСТ 12248-96 и ГОСТ 24143-80; введ. 2013-11-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 78 с.

5 Чаповский, Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е. Г. Чаповский. – М. : Недра, 1975. – 304 с.

6 Грунтоведение : учебно-методическое пособие / А. Н. Галкин [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 307 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Гранулометрическая классификация глинистых и песчаных грунтов (по В. В. Охотину, 1940 г.)

Таблица А1 – Гранулометрическая классификация глинистых и песчаных грунтов

Название грунта	Содержание частиц, %		
	глинистых < 0,005 мм*	пылеватых 0,005–0,05 мм	песчаных 0,05–2,0 мм
Глина	> 30	–	–
Суглинок тяжелый	30–20	–	–
Суглинок средний	20–15	–	Больше, чем пылеватых
Суглинок средний, пылеватый	20–15	Больше, чем песчаных	–
Суглинок легкий	15–10	–	Больше, чем пылеватых
Суглинок пылеватый	15–10	Больше, чем песчаных	–
Супесь тяжелая	10–6	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2,0–0,25 мм
Супесь Мелкозернистая	10–6	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25–0,05 мм
Супесь тяжелая, пылеватая	10–6	Больше, чем песчаных	–
Супесь легкая	6–3	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2,0–0,25 мм
Супесь легкая, мелкозернистая	6–3	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25–0,05 мм
Супесь легкая Пылеватая	6–3	Больше, чем песчаных	–
Песок	< 3	–	Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 2,0–0,25 мм
Песок	< 3	–	Больше, чем пылеватых.

Мелкозернистый			Преобладают частицы 0,25–0,05 мм
----------------	--	--	-------------------------------------

* При использовании шкалы Стокса за глинистые частицы принимают частицы < 0,002 мм
Учебное издание

**Моляренко Владимир Леонидович,
Галкин Александр Николаевич,
Павловский Александр Илларионович,
Андрушко Светлана Владимировна**

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Практикум

Редактор А. А. Банчук
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 14.07.2022. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 5,85.
Тираж 15 экз. Заказ 368.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ