

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

**А. Ф. АКУЛЕВИЧ, В. Л. МОЛЯРЕНКО, О. И. ГАЛЕЗНИК**

## **ГРУНТОВЕДЕНИЕ**

Практическое пособие

для студентов специальности 1-51 01 01  
«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2020

УДК 624.131 (076)  
ББК 26.367.1я73  
А44

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук А. Н. Галкин,  
кандидат геолого-минералогических наук А. П. Гусев

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

**Акулевич, А. Ф.**

А44 Грунтоведение : практическое пособие / А. Ф. Акулевич,  
В. Л. Моляренко, О. И. Галезник ; Гомельский гос. ун-т им.  
Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 47 с.  
ISBN 978-985-577-662-9

Практическое пособие содержит краткие теоретические сведения и задания к 8 лабораторным работам по курсу «Грунтоведение».

Издание адресовано студентам специальности 1 – 51 01 01 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

УДК 624.131 (076)  
ББК 26.367.1я73

**ISBN 978-985-577-662-9**

© Акулевич А. Ф., Моляренко В. Л.,  
Галезник О. И., 2020  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный университет  
имени Франциска Скорины», 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Предисловие.....  | 4  |
| Лабораторная работа 1. Общие вопросы исследования грунтов в грунтовой лаборатории.....  | 5  |
| Лабораторная работа 2. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов аэрометрическим методом (ГОСТ 12536-2014)..... | 12 |
| Лабораторная работа 3. Определение пористости песчаных грунтов методом насыщения.....   | 20 |
| Лабораторная работа 4. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде (ГОСТ 5180-2015).....                            | 23 |
| Лабораторная работа 5. Определение пределов пластичности.....   | 26 |
| Лабораторная работа 6. Определение водопрочности глинистых грунтов по размоканию в воде.....                                    | 31 |
| Лабораторная работа 7. Компрессионная сжимаемость грунтов (ГОСТ 12248-2010).....  | 34 |
| Лабораторная работа 8. Одноплоскостной срез грунтов (ГОСТ 12248-2010).....  | 40 |
| Литература.....   | 46 |
| Приложение .....  | 47 |

## 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 практического пособия «Грунтоведение» является овладение студентами знаниями о грунтах и горных породах, рассматриваемых как многокомпонентные динамические системы.

Настоящее пособие состоит из 8 лабораторных работ, обеспечивает формирование необходимых умений и навыков по дисциплине, позволяющих изучить грунты и их свойства и закрепить теоретические знания, полученные на лекционных занятиях.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ В ГРУНТОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ

### 1.1. Грунтовая профильная лаборатория

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).



Рисунок 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. В помещении оборудуется мойка с холодной и горячей водой. Оборудована система 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 2).

**Весовая.** Помещение оборудуется техническими и аналитическими весами. Сейчас, в основном, используются технические весы в электронном исполнении (рисунок 3).

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



Рисунок 2 – Термическая  
комната



Рисунок 3 – Весовая  
комната

## 1.2. 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 должна 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 (кислотощелочные 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.

### **1.3. Электрооборудование**

В лаборатории должны быть электрические схемы сетей (силовой, осветительной и сигнализации) с указанием на них следующих технических данных: рода тока, напряжения, мощности приемников электроэнергии, установки защиты типов электрооборудования, мест расположения 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 месте, доступном и удобном для подхода работников.

Не допускается: использование в электросети вместо плавких или автоматических предохранителей 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; 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.

## **1.4. 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, доводить до кипения парафин, кипятить пикнометры с керосином на песчаной бане.

## **1.5. 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, работать на гидравлических прессах без защитного экрана.



## 1.6. Правила взвешивания на весах

### **Взвешивание на рычажных технoхимических 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 равновесие их, определяя его, плавно открыв 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.

Запрещается: на чашки весов ставить горячие или грязные предметы, а также брать разновески (гирьки) без пинцета; класть на весы разновески и взвешиваемые предметы, а также снимать их можно только при арретированных весах.

Взвешиваемые предметы надо класть на левую чашку и обязательно в «тарe» (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 их 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 мин. 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 выполнить калибровку в следующей последовательности:

- обнулить показания весов, нажав клавишу ТАРА;
- нажать клавишу ТАРА 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 и перед первым измерением, в процессе эксплуатации через 4 ч. Также необходимо перекалибровать весы после установки их в другое место или если произошло изменение 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 ТАРА, 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.

## **1.7. 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  $w$ , %, вычислить по формуле:

$$w = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (1)$$

где  $m_1$  – 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).

Таблица 1 – Журнал определения влажности грунта

| № п.п | Номер стаканчика | Масса стаканчика с крышкой $m_0$ , г | Масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой $m_1$ , г | Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой $m_0$ , г |                    | Влажность грунта $w$ , % |         |
|-------|------------------|--------------------------------------|--|---|--------------------|--------------------------|---------|
|       |                  |                                      |  | Первое взвешивание  | Второе взвешивание | отдельной пробы          | среднее |
| 1     | 2                | 3                                    | 4  | 5   | 6                  | 7                        | 8       |
|       |                  |                                      |  |   |                    |                          |         |
|       |                  |                                      |  |   |                    |                          |         |

Допустимую разницу  $\Delta$  результатов параллельных определений смотреть в таблице 2.

Таблица 2 – Допустимая разность  $\Delta$  результатов параллельных определений

|              | Влажность грунта $w$ , % |       |        |        |      |
|--------------|--------------------------|-------|--------|--------|------|
|              | 1–5                      | >5–10 | >10–50 | >5–100 | >100 |
| $\Delta$ , % | 0,2                      | 0,6   | 2,0    | 4,0    | 5,0  |

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

## 1.8. 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: вырывать листы из журналов; пропускать листы при записи наблюдений; вести черновики и переписывать с них записи в журнал; 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. Опишите устройство грунтовой лаборатории.
2. Каковы правила техники безопасности в грунтовой лаборатории?
3. Опишите технологию взвешивания на весах.
4. Опишите технологию сушки образцов грунта.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ АРЕОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ (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 ареометрический, центрифугирования).

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 СТБ 943-2007 к глинистым грунтам относятся осадочные нецементированные грунты с числом  $I_p \geq 1$ .

В геологической практике широкое распространение получила также гранулометрическая классификация глинистых грунтов, предложенная В. В. Охотиным (Приложение А, таблица А 1).

## 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 1000 см<sup>3</sup> (8); цилиндр мерный ёмкостью один литр 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 4).



Рисунок 4 – 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 3).

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  $m_1'$ ). Одновременно со 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.

Производят опробование суспензии грунта на коагуляцию. Отбирают методом квартования пробу грунта массой около 2 г, растирают её с 4–6 мл дистиллированной воды в фарфоровой чашке пестиком с резиновым наконечником. Затем доливают в чашку ещё 14–16 мл дистиллированной воды и кипятят суспензию в течение 5–10 мин.

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

Взбалтывают суспензию и оставляют 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 1000 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, выдерживают 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.

Таблица 3 – Журнал ареометрического анализа

Ареометр №

Поправка на мениск  $C =$

Поправка на нулевое показание ареометра  $B =$

Колба №

Цилиндр №

Объём цилиндра  $V =$  см<sup>3</sup>

Плотность частиц грунта  $p_s =$  г/см<sup>3</sup>

Гигроскопическая влажность  $w_g =$  %

Навеска для ситового анализа  $m_1 =$  г

Навеска для ареометрического анализа  $= m'_1$  г

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 отсчёт по ареометру без поправок | Температура суспензии, °C | Температурная поправка к отсчёту по ареометру | Упрощённый отсчёт 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 минута                                    |   |                           |   |   | < 0,05             |                      |                         | В отдельной таблице 6 |
|                     | 30 минут                                    |   |                           |   |   | < 0,01             |                      |                         |                       |
|                     | 3 часа                                      |   |                           |   |   | < 0,005            |                      |                         |                       |

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 (таблица 3). Суспензию в мерном цилиндре необходимо довести до объёма 1 л.

## **2.4. Калибровка ареометра**

### **Определение поправки на нулевое показание ареометра**

Ареометр опускают в мерный цилиндр с дистиллированной водой, имеющей температуру 20 °С, и производят отсчёт плотности воды. Полученный отсчёт принимают за единицу плотности. Разность между принятой единицей и замеренным отсчётом по ареометру равна поправке В, которую вводят в расчёт. Поправку В прибавляют к каждому отсчёту по шкале ареометра, если ареометр при проверке показывает менее 1,000, и поправку вычитают, если ареометр показывает более 1,000.

### **Определение поправки на высоту мениска**

Поправку на высоту мениска вводят в расчёт, если ареометр градуирован на заводе по нижнему краю мениска. Для этого ареометр опускают в цилиндр с дистиллированной водой, имеющей температуру 20 °С. Производят отсчёты по нижнему и верхнему краю мениска. Поправку прибавляют 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 опускают в мерный цилиндр с налитой 950 мл дистиллированной водой, имеющей температуру 20 °С, и производят отсчёт по верхнему краю мениска. Добавляют в цилиндр диспергирующее вещество. Затем доливают в цилиндр воды до 1 л, смесь взбалтывают, вторично опускают в неё ареометр и производят отсчёт по верхнему краю мениска. Разность между вторым и первым отсчётом и есть поправка на диспергатор. Поправку вычитают 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 4 время взятия отсчёта по ареометру после окончания взбалтывания суспензии. Затем за 10–12 с до замера плотности суспен-



зии 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.

Таблица 4 – Время взятия отсчёта по ареометру

| Диаметр фракции зёрен грунта, мм | Время от конца взбалтывания суспензии до замера её плотности |
|----------------------------------|--|
| менее 0,05                       | 1 минута   |
| менее 0,01                       | 30 минут   |
| менее 0,005                      | 3 часа   |

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. Показания ареометра и термометра занести в журнал (таблица 3).

## 2.6. Обработка результатов

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

$$m_0 = \frac{m_1}{1+0,01w_g}, \quad (2)$$

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

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

$w_g$  – гигроскопическая влажность, %.

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

$$A = \frac{m_\phi}{m_0} \times 100, \quad (3)$$

где  $A$  – содержание в грунте каждой фракции, %;

$m_\phi$  – 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 5 рассчитать температурную поправку ( $E$ ), результаты записать в журнал (таблица 3).

Содержание фракций грунта размером 1,0–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,1 мм  $L$  в % следует вычислять по формуле:

$$L = \frac{m_{\phi}}{m'_0} (100 - k), \quad (4)$$

где  $m_{\phi}$  – 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 рассчитывают по формуле:

$$m'_0 = \frac{m'_1}{1 + 0,01w_g}, \quad (5)$$

где  $m'_1$  – навеска для ареометрического анализа;

$w_g$  – гигроскопическая влажность, %.

Таблица 5 – 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                                  |                           |                                       |

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

$$\bar{L}_c = \frac{p_s(R+B+C+E)}{(p_s - p_w)m'_0} (100 - k), \quad (6)$$

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

$\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_w$  – плотность воды, равная 1 г/см<sup>3</sup>;

$m'_0$  – 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 меньшей.

Фракцию 0,1–0,05 мм находят по разности: из 100 % вычисляют сумму всех фракций, определяемых с помощью ареометра и ситовым анализом.

Результаты анализа надлежит регистрировать в журнале (таблица 6), 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 6 – 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 6 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 четвёртом – 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. Охарактеризуйте гранулометрическую классификацию В. В. Охотина.
2. Что такое гранулометрический состав грунтов?
3. Как готовят пробы грунта к анализу?
4. Что такое калибровка ареометра?
5. Как берётся упрощённый отсчёт по ареометру?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ МЕТОДОМ НАСЫЩЕНИЯ

### 3.1. Пористость и коэффициент пористости

*Пористостью* называют процентное отношение объема пустот в грунте к общему объему грунта.

*Коэффициентом пористости* называют отношение объема пустот в грунте к объему твердой фазы грунта.

Пористость и коэффициент пористости связаны между собой формулами:

$$n = \frac{e}{1+e} \cdot 100 \% , \quad (7)$$

$$e = \frac{n}{100-n} , \quad (8)$$

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 объемом 50 и 250 см<sup>3</sup>, бюретка, линейка, воронка с длинным носиком, деревянная трамбовка, емкость для воды, воздушно-сухой песок (рисунок 5).



Рисунок 5 – Необходимое оборудование

### 3.3. Проведение исследований

#### Ход определения при рыхлом сложении песков

1. Сухой чистый стаканчик объемом около 50 см<sup>3</sup> 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 поднимают воронку, чтобы песок пересыпался из нее в стаканчик (поднимать носик воронки выше 1–2 см от поверхности песка не рекомендуется). Избыток песка удаляют линейкой, чтобы поверхность песка была на одном уровне с краями стаканчика.

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 объему пор  $V_n$ .

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

4. Данные определений занести в журнал (таблица 7).

Таблица 7 – Журнал определения пористости песков

| № опыта          | Объем воды израсходованной на насыщение породы $V_n, \text{ см}^3$ | Объем стаканчика $V, \text{ см}^3$ | 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. Опыт повторить (см. п.п. 1, 2, 3).

### Ход определения при плотном сложении песков

1. Наполнить сухой чистый стакан объемом около  $250 \text{ см}^3$  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 объему пор  $V_n$ .

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

4. Данные определений занести в журнал (таблица 7).
5. Опыт повторить (см. п.п. 1, 2, 3).

### 3.4. Обработка результатов испытаний

Рассчитать пористость по формуле:

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где  $V_n$  – объем пор;  
 $V$  – объем всей породы.

Рассчитать коэффициент пористости по формуле (8).

*Оценить* надежность определения пористости предлагаемыми методами.

Указать причину погрешностей в результатах.

### Контрольные вопросы

1. Что такое пористость?
2. Что такое коэффициент пористости?
3. Запишите формулы связи пористости и коэффициента пористости.
4. Какое оборудование необходимо для определения пористости песков методом насыщения?
5. Опишите ход опыта.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ В ВОДЕ (ГОСТ 5180-2015)

*Плотность грунта* ( $\rho$ ) – масса единицы объёма грунта. Разработано несколько методов определения плотности грунтов: режущим кольцом, взвешивания в воде парафинированных образцов, взвешивания в нейтральной жидкости, лакировки, ртутный, волюмометрический.

### 4.1. 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.

## 4.2. Подготовка к испытанию

1. Вырезать образец грунта объёмом не менее  $50 \text{ см}^3$  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 серьге весов.

3. Парафин, не содержащий примесей, нагревают до температуры  $57\text{--}60^\circ \text{C}$ .

## 4.3. Проведение испытаний

1. Обвязанный нитью образец грунта взвешивают ( $m$ ). Погрешность взвешивания не должна превышать 0,02 г. Результаты записать в лабораторный журнал (таблица 8).

Таблица 8 – Журнал определения плотности грунта методом взвешивания в воде парафинированных образцов

Визуальное описание грунта \_\_\_\_\_

| № опыта | Масса, г                       |                                 |  |  | Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup> |         |
|---------|--------------------------------|---------------------------------|--|--|--------------------------------------|---------|
|         | грунта до парафинирования, $m$ | парафинированного грунта, $m_1$ | парафинированного грунта в воде, $m_2$ | контрольного взвешивания парафинированного грунта, $m_3$ | образца                              | средняя |
| 1       | 2                              | 3                               | 4                                      | 5  | 6                                    | 7       |
| 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 покрывают парафиновой оболочкой, погружая его на 2–3 с в нагретый парафин. При этом пузырьки воздуха, обнаруженные в застывшей парафиновой оболочке, удаляют, прокалывая их и заглаживая места проколов нагретой иглой. Эту операцию повторяют до образования плотной парафиновой оболочки.

3. Охлаждённый образец взвешивают ( $m_1$ ).

4. Затем парафинированный образец взвешивают в сосуде с водой ( $m_2$ ) (рисунок 6). Для этого над чашей весов устанавливают подставку для сосуда с водой так, чтобы исключить её касание к чаше весов. К серьге коромысла



подвешивают образец и опускают 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).

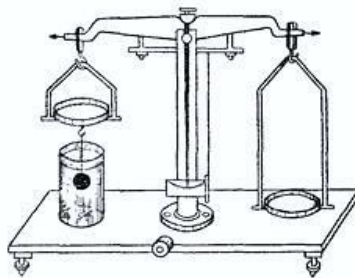


Рисунок 6 – Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

5. Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают ( $m_3$ ) 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.

#### 4.4. Обработка результатов

Плотность грунта ( $\rho$ ), г/см<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \times \rho_p \times \rho_w}{\rho_p(m_1 - m_2) - \rho_w(m_1 - m)}, \quad (10)$$

где  $m$  – масса грунта до парафинирования;

$m_1$  – масса парафинированного образца грунта, г;

$m_2$  – результат взвешивания образца в воде;

$\rho_p$  – плотность парафина, принимаемая равной 0,900 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_w$  – плотность воды при температуре испытаний (таблица 9).

При обработке результатов испытаний плотность вычисляют с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 9 – Плотность воды при различных температурах

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

Разница между параллельными определениями не должна превышать значений, приведенных в таблице 10.

Если разница превышает допустимую, количество определений следует увеличить. Результаты анализа регистрируют в журнале. Результаты необходимо сопровождать указанием метода определения.

Таблица 10 – Допустимая разница  $\Delta$  результатов параллельных определений

| Допустимая<br>разность $\Delta$ , г/см <sup>3</sup> | Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup> |                           |
|---|---|---------------------------|
|   | Песчаные грунты                             | Пылевато-глинистые грунты |
| $\Delta$ , г/см <sup>3</sup>                        | 0,04  | 0,03                      |

## Контрольные вопросы

1. Что такое плотность грунта?
2. Опишите методы определения плотности грунтов.
3. Назовите единицы измерения плотности грунта.
4. Опишите ход опыта по определению плотности грунта методом взвешивания в воде.
5. Какова точность определения плотности грунтов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ

### 5.1. Пластичность грунта

*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 грунта, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояния.

*Граница пластичности* или нижний предел пластичности ( $w_p$ ) – влажность грунта, 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 нецементированных грунтов (ГОСТ 25100-2011): супеси  $1 \leq J_p \leq 7$ ; суглинки  $7 < J_p \leq 17$ ; глины  $J_p > 17$ .

## 5.2. Необходимое оборудование

Для определения границы текучести: стандартный балансирный конус (рисунок 7); 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.

## 5.3. Проведение испытаний определения границы текучести методом балансирного конуса (ГОСТ 5180-2015)

1. Образец грунта объёмом около 50 см при естественной влажности размягнуть 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 закрыть плотно 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).

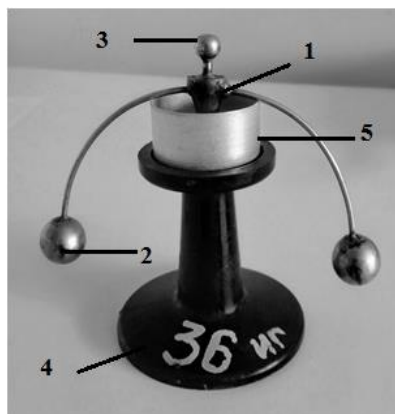
3. Грунтовую массу еще раз тщательно перемешать шпателем и заполнить ею металлический стаканчик, при этом необходимо следить, чтобы при заполнении стаканчика в грунтовой массе не образовалось бы пустот. Поверхность грунта в стаканчике заровнять шпателем и выровнять с краями.

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 течение 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 грунтовую пасту из стаканчика перекалывают в фарфоровую чашку, слегка подсушивают на воздухе, непрерывно помешивая шпателем и повторяют операции, указанные в пунктах 3 и 4.



- 1 – полированный металлический конус из нержавеющей стали с углом при вершине 30 и высотой 25 мм. На высоте 10 мм от вершины конуса нанесена круговая метка;  
 2 – металлические шары балансного устройства; 3 – ручка; 4 – пластмассовая подставка;  
 5 – металлический стаканчик диаметром 4 см и высотой 2 см

Рисунок 7 – Балансный конус Васильева на подставке

8. Когда искомая 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 11).

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

Таблица 11 – Журнал определения верхнего предела пластичности (границы текучести)

Визуальное описание грунта \_\_\_\_\_

| № 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 |   |
| 1        | 2                   | 3                     | 4                    | 5   |
| 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)

## 5.4. Проведение испытаний определения границы пластичности методом раскатывания в шнур (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 нужно 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 12).

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

Таблица 12 – Журнал определения нижнего предела пластичности (границы раскатывания)

Визуальное описание грунта \_\_\_\_\_

| № 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 |   |
| 1        | 2                   | 3                     | 4                    | 5   |
| 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)

## 5.5. Обработка результатов

Вычислить влажность на границе текучести по формуле:

$$w_L = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100 \% , \quad (11)$$

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  $w_L \geq 80\%$ .

Вычислить влажность на границе раскатывания по формуле:

$$w_p = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \times 100\% , \quad (12)$$

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  $w_p \geq 40\%$ .

Вычислить число пластичности по формуле:

$$J_p = w_L - w_p , \quad (13)$$

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. Каковы пределы пластичности?
3. Опишите методику определения нижнего предела пластичности по ГОСТ 5180-2015.

4. Опишите методику определения верхнего предела пластичности по ГОСТ 5180-2015.

5. Какое оборудование необходимо для определения пределов пластичности?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО РАЗМОКАНИЮ В ВОДЕ**

### **6.1. Размокаемость грунта**

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. Поэтому указанные характеристики могут давать объективную оценку размокаемости лишь при сравнительных исследованиях образцов с одинаковым исходным объёмом и формой.

### **6.2. Необходимое оборудование**

Прибор ПРГ-1 (рисунок 8); металлические бюксы; монолит грунта; сушильный шкаф, часы.

Прибор ПРГ-1 изготавливается из оргстекла. На его корпусе наносится шкала с делениями. На две опоры устанавливается качающаяся ось, на которой с помощью гайки закреплены стрелка и скобообразный рычаг, конструкция которого с помощью противовеса обеспечивает автоматическое уравнивание системы и применение равномерной шкалы. К другой части рычага подвешена на нити сетка с квадратными отверстиями 10 на 10 мм, на которые помещается исследуемый образец.

### **6.3. Проведение испытаний**

1. Для исследования (в зависимости от целей) вырезают из монолита образец правильной формы (кубик размером ребра 3–4 см) при естественной

влажности и структуре или формируют образцы нарушенной структуры. Берут пробу на исходную влажность грунта (если она не известна заранее).

При массовых испытаниях для получения одинаковых размеров образцов используют 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 заземлённого воздуха, приводящее к интенсивному разрушению образца. В этом случае образцы перед погружением рекомендуется предварительно увлажнить постепенной капиллярной пропиткой (работу выполняет лаборант).

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



Рисунок 8 – Прибор ПРГ–1

3. Приподняв рукой сетку, на неё устанавливают подготовленный образец и, придерживая рычаг, плавно погружают сетку с образцом в воду. Записывают в журнал (таблица 13) по шкале начальный отсчёт, а также время начала размокания.

Таблица 13 – Журнал определения размокания грунта

Визуальное описание грунта \_\_\_\_\_

Исходная влажность \_\_\_\_\_  $w$ , %

Начальная плотность \_\_\_\_\_  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>

| Время отсчёта | Время от начала размокания, $t$ , с (мин) | Отсчёт по шкале  |                | Степень размокания, $R$ | Характер размокания |
|---------------|---|------------------|----------------|-------------------------|---------------------|
|               |   | начальный, $H_0$ | текущий, $H_t$ |                         |                     |
| 1             | 2   | 3                | 4              | 5                       | 6                   |
|               |   |                  |                |                         |                     |

Дата определения \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Исполнитель \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество, подпись)



4. Через определённые промежутки времени (зависящие от скорости размокания) фиксируются текущие отсчёты  $H_t$ , и данные заносят в журнал (таблица 13) до тех пор, пока грунт полностью не провалится сквозь сетку на дно корпуса и стрелка не займёт нулевое положение (или до тех пор, пока не истечёт учебное время). Одновременно описывают характер размокания образца (образование трещин, выделение пузырьков воздуха, разбухание, оплывание по краям и т. д.).

#### 6.4. Обработка результатов

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

$$R = \frac{H_0 - H_t}{H_0} \times 100 \%, \quad (14)$$

где  $H_0$  – начальный отсчёт;

$H_t$  – текущий отсчёт.

Определяют период размокания  $t_p$  – время соответствующее  $R = 100 \%$ . Строят график кинетики размокания вида  $R = f(t)$  (рисунок 9).

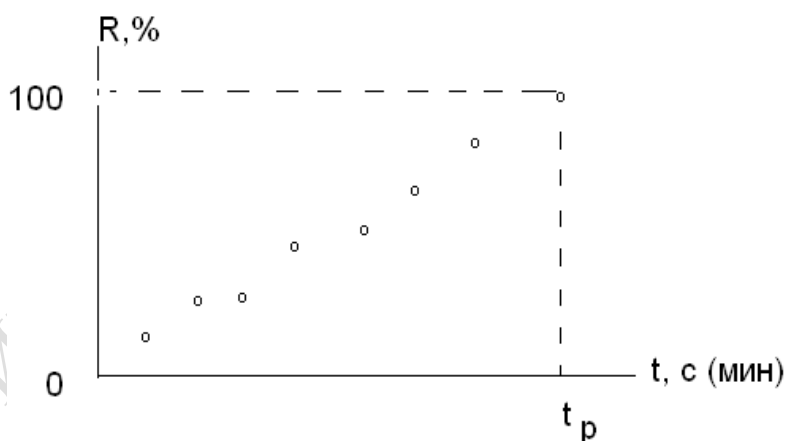


Рисунок 9 – График кинетики размокания

#### Контрольные вопросы

1. Что такое размокание?
2. Каковы показатели размокания?
3. Какое оборудование необходимо для проведения опыта?
4. Что такое ход работы?
5. От чего зависит размокание грунта?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

## КОМПРЕССИОННАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ

### (ГОСТ 12248-2010)

#### 7.1. Сжимаемость грунтов

*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, небольших по величине деформаций, протекающих со скоростью звука, связь между напряжениями и деформациями характеризуется линейным законом упругости (Гука), который для случая одноосного сжатия выражается формулой:

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (15)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение, Па;

$E$  – модуль упругости (модуль Юнга), Па;

$\varepsilon$  – 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.  $\varepsilon_v = \varepsilon_z$ .

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta h}{h},$$

где  $h$  и  $V$  – 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:  $e_i = e_0 - aP_i$ , где  $a = \operatorname{tg} \alpha = \Delta e / \Delta P$  – коэффициент сжимаемости уплотнения.

Сжимаемость песчаных грунтов невелика и зависит от их гранулометрического, минерального состава и плотности сложения. Сжатие песчаных грунтов связано со взаимным перемещением отдельных зёрен, а при больших давлениях – и 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 монтмориллоновые глины характеризуются большей сжимаемостью по сравнению с каолиновыми. 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.

## 7.2. Необходимое оборудование

Компрессионный прибор К-1М (рисунок 10); 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.



Рисунок 10 – Компрессионный прибор К-1М



Рисунок 11 – Одометр

## 7.3. Проведение испытаний

1. Разобрать прибор К-1М, для чего: отвинтить гайки и снять верхнее коромысло; снять консоли, отвинтить арретир, вытащить штамп, отпустить три зажимных винта на дне одометра и снять корпус одометра (рисунок 11); 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 14.

3. Если испытывается грунт ненарушенной структуры, то на кольцо устанавливается режущая насадка. Затем кольцо острым режущим краем устанавливается в вертикальном положении на гладко зачищенную поверх-

ность 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 14.

Таблица 14 – 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  $\rho_s$  \_\_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>

| Масса груза на подвеске $Q$ , кг | Давление $P = \frac{Q}{60}$ , МПа | Отсчёты по индикаторам, мм |                   |   | Абсолютная деформация прибора (по тарировочной кривой $\Delta$ , мм) | Относительная деформация грунта $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$ |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------|---|--|--|
|                                  |                                   | левый $n_1$ , мм           | правый $n_2$ , мм | среднее $n_{cp} = \frac{n_1 + n_2}{2}$ , мм |  |  |
| 1                                | 2                                 | 3                          | 4                 | 5   | 6  | 7  |
|                                  |                                   |                            |                   |   |  |  |

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 и массу  $m_1$  записать в таблицу 14. Из остатков грунта отобрать стаканчики на влажность (смотреть пункт 3).

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 14.

7. Испытания следует проводить 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. Затем 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.

## 7.4. Обработка результатов

1. Вычислить:

1) влажность грунта до опыта:

$$W_0 = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_2} \times 100 \% ; \quad (16)$$

2) плотность грунта до опыта:

$$\rho = \frac{4(m_1 - m_0)}{\pi d_0^2 h_0}, \text{ г/см}^3; \quad (17)$$

3) плотность сухого грунта:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01 W_0}, \text{ г/см}^3; \quad (18)$$

4) коэффициент пористости до опыта:

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + 0,01 W_0) - 1; \quad (19)$$

5) степень влажности:

$$s_r = \frac{W_0 \rho_s}{e_0 \rho_g}. \quad (20)$$

Все данные расчетов записать в таблицу 15.

2. Вычислить абсолютную  $\Delta h$  и относительную  $\varepsilon$  деформацию образца:

$$\Delta h = n_{cp}^0 - n_{cp} - \Delta, \quad (21)$$

где  $n_{cp}$  берутся из таблицы 14, а  $n_{cp}^0$  определяется как среднее из начальных отсчётов двух индикаторов в таблице 14. Значения  $\Delta$  принимаются из таблицы 16, графы 10;

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (22)$$

Результаты вычислений записать в таблицы 14 и 15.

Таблица 15 – Результаты определения компрессии

Плотность влажного грунта  $\rho$  \_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>

Плотность сухого грунта  $\rho_d$  \_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>

Плотность твёрдых частиц грунта  $\rho_s$  \_\_\_\_ г/см<sup>3</sup>

Коэффициент пористости до опыта  $e_0$  \_\_\_\_

Влажность до опыта  $W_0$  \_\_\_\_ %

Степень влажности до опыта  $S_r$  \_\_\_\_

Плотность воды  $\rho_g = 1$  г/см<sup>3</sup>

| Давление $P_i$ ,<br>МПа | Приведенная<br>деформация $\varepsilon_i$ | Коэффициент<br>пористости<br>$e_i$ | Коэффициент<br>сжимаемости<br>$m_0$ , МПа <sup>-1</sup> | Одометрический<br>модуль<br>деформации<br>$E_{oed}$ , МПа <sup>-1</sup> | Модуль<br>деформации<br>$E_k$ , МПа | Структурная<br>прочность<br>грунта<br>$P_{str}$ , МПа |
|-------------------------|---|------------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|
| 1                       | 2   | 3                                  | 4   | 5   | 6                                   | 7   |
|                         |   |                                    |   |   |                                     |   |

3. Построить компрессионную кривую (рисунок 12). Через точки графика проводят плавную осредненную кривую.

4. Вычислить коэффициент пористости  $e_i$  при давлении  $P_i$  по формуле:

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0) \quad (23)$$

5. Коэффициент сжимаемости  $m_0$ , МПа<sup>-1</sup> в заданном интервале давлений  $P_i$  и  $P_{i+1}$  вычисляют с точностью 0,001 МПа по формуле:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i} \quad (24)$$

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

Результаты записать в таблицу 15.

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

$$E_{oed} = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon} = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \quad (25)$$

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

$\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{i+1}$  – значения относительного сжатия, соответствующие давлениям  $P_i$  и  $P_{i+1}$ .

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

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta \quad \text{или} \quad (26)$$

$$E_k = \frac{P_{i+1} - P_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \beta, \quad (27)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{i+1}$  – значения относительного сжатия, соответствующие давлениям  $P_i$  и  $P_{i+1}$ ;

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

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

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}, \quad (28)$$

где  $\nu$  – 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  $\beta$  равным 0,8 для песков; 0,7 для супесей; 0,6 для суглинков и 0,4 для глин.

8. Определяют структурную прочность  $P_{str}$  как давление, при котором относительная вертикальная деформация образца грунта  $\varepsilon$  составит 0,0005.

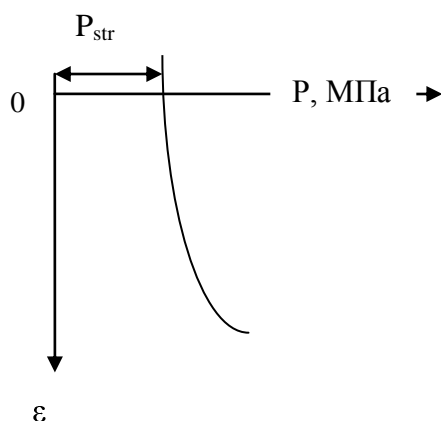


Рисунок 12 – Компрессионная кривая

Таблица 16 – Данные тарировки прибора К–1М

| Дата и время наблюдения | Давление $P$ , МПа | Деформация частей прибора и двух фильтров, мм |        |               |        |               |        |                    |                            |      |
|-------------------------|--------------------|---|--------|---------------|--------|---------------|--------|--------------------|----------------------------|------|
|                         |                    | 1-я тарировка                                 |        | 2-я тарировка |        | 3-я тарировка |        | Средняя из средних | Принятая величина $\Delta$ |      |
|                         |                    | 1 инд.  | 2 инд. | 1 инд.        | 2 инд. | 1 инд.        | 2 инд. |                    |                            |      |
| 1                       | 2                  | 3   | 4      | 5             | 6      | 7             | 8      | 9                  | 10                         |      |
| 10 ч                    | 0,0                | 0,00  | 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                       |      |

## 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. Конструкция прибора К–1М.
5. Общий вид компрессионных кривых в координатах  $p - \varepsilon$  и  $p - e$ .

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ОДНОПЛОСКОСТНОЙ СРЕЗ ГРУНТОВ (ГОСТ 12248-2010)

### 8.1. Испытания грунтов методом одноплоскостного среза

Их производят для определения следующих характеристик прочности сопротивления грунта срезу  $\tau$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ , удельного сопротивления  $c$ .



Эти характеристики можно определять для песков (кроме гравелистых и крупных), глинистых и органо-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.

Соппротивление грунта среза определяют как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезается по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении.

Для определения  $c$  и  $\varphi$  необходимо провести не менее трёх испытаний при различных значениях нормального напряжения.

Испытания проводят по следующим схемам:

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

б) неконсолидированные испытания – для водонасыщенных глинистых и органо-минеральных грунтов, имеющих показатель текучести  $I_L \geq 0,5$ , и просадочных грунтов, приведённых в водонасыщенное состояние замачиванием без приложения нагрузки, для определения  $\varphi$  и  $c$  в нестабилизированном состоянии.

Для испытаний используют образцы грунта ненарушенного сложения с природной влажностью или в водонасыщенном состоянии или 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.

## 8.2. Необходимое оборудование

Прибор ГПП–30м (рисунок 13); индикатор часового типа; нож с ровным краем; шпатель; фильтровальная бумага.

Техническая характеристика прибора ГПП–30м: диаметр испытуемого образца 71,5 мм; площадь сечения  $40 \text{ см}^2$ ; высота образца 35 мм; максимальное вертикальное давление 1 МПа; максимальное горизонтальное давление 0,6 МПа.

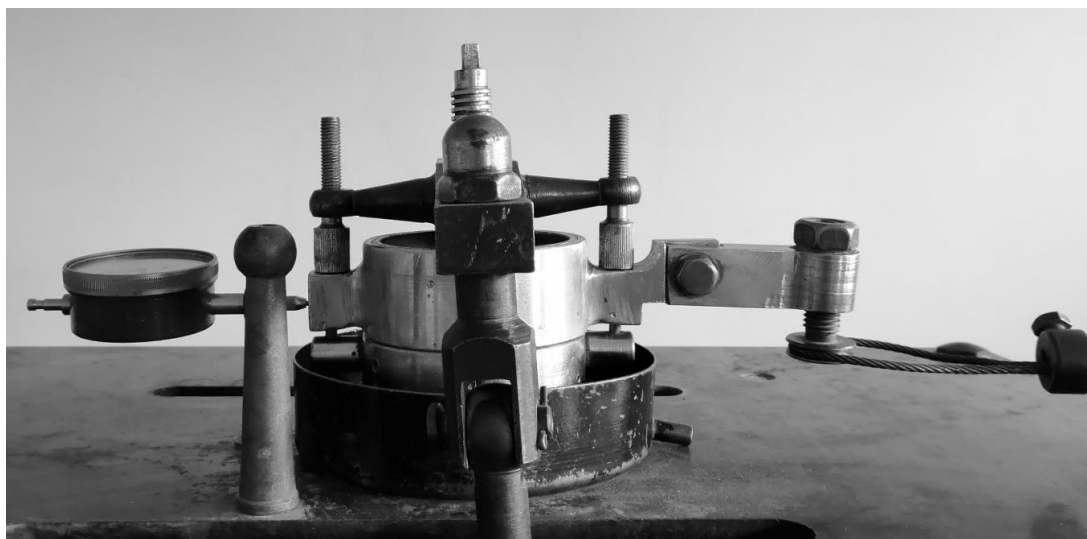


Рисунок 13 – Прибор ГГП-30м

### **8.3. Подготовка к испытанию по схеме неконсолидированного быстрого среза**

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

### **8.4. Проведение испытаний по схеме неконсолидированного быстрого среза**

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

2. Гильза с вырезанным образцом помещается в верхнюю обойму срезывателя. Поверхность грунта покрывается фильтровальной бумагой и на неё накладывается верхний перфорированный вкладыш.

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

4. После зарядки срезывателя на верхний вкладыш осторожно двумя руками закладывается штамп загрузочного устройства. Сверху устанавливается крестовина и подсоединяется механизм вертикального давления.

5. На образец грунта передают в одну ступень нормальное давление  $p$ , при котором будет производиться срез образца. Значения  $p$  принимают по таблице 17.

Таблица 17 – Рекомендуемые значения нормального давления

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

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

$$Q_1 = p40 - 0,4, \quad (29)$$

где  $Q_1$  – масса груза, кг;

$p$  – вертикальное давление, МПа.

6. Одновременным вращением гаек установочных шпилек, соединяющих обоймы, устанавливается зазор между обоймами. Величина зазора устанавливается визуально и 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 отводится от эксцентрика с таким расчётом, чтобы ход верхней обоймы срезывателя был равен 5–8 мм.

8. Присоединяют с помощью тросика механизм горизонтальной нагрузки. Выкручивают установочные шпильки и устанавливают 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 ведут лабораторный журнал (таблица 18).

12. Определение  $\tau$  следует проводить не менее, чем при трех различных значениях  $p$ .

Таблица 18 – Журнал лабораторных определений на одноплоскостной срез

Визуальное описание грунта \_\_\_\_\_

| Дата испытания | Масса груза на подвеске рычага вертикальной нагрузки $Q_1$ , кг | Давление на образец грунта $P$ , МПа | Нормальное напряжение $\sigma$ , МПа | Масса груза на подвеске рычага горизонтальной нагрузки $Q_2$ , кг | Касательное напряжение $\tau$ , МПа |
|----------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1              | 2   | 3                                    | 4                                    | 5   | 6                                   |
|                |   |                                      |                                      |   |                                     |

Дата определения \_\_\_\_\_ 20 г.

Наименование грунта по СТБ 943-2007 \_\_\_\_\_

Исполнитель \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество, подпись)

## 8.5. Обработка результатов

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

$$\sigma = p, \quad (30)$$

$$\tau = \frac{Q_2}{40} \quad (31)$$

2. Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$  определяют как параметры линейной зависимости:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (32)$$

где  $\tau$  и  $\sigma$  рассчитывают по формулам (30) и (31).

3. Угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$  вычисляют по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (33)$$

$$c = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (34)$$

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

Для трех испытаний ( $n = 3$ ) формулы (33) и (34) можно записать так:

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

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

4. Строят график зависимости  $\tau$  от  $\sigma$  (рисунок 14).

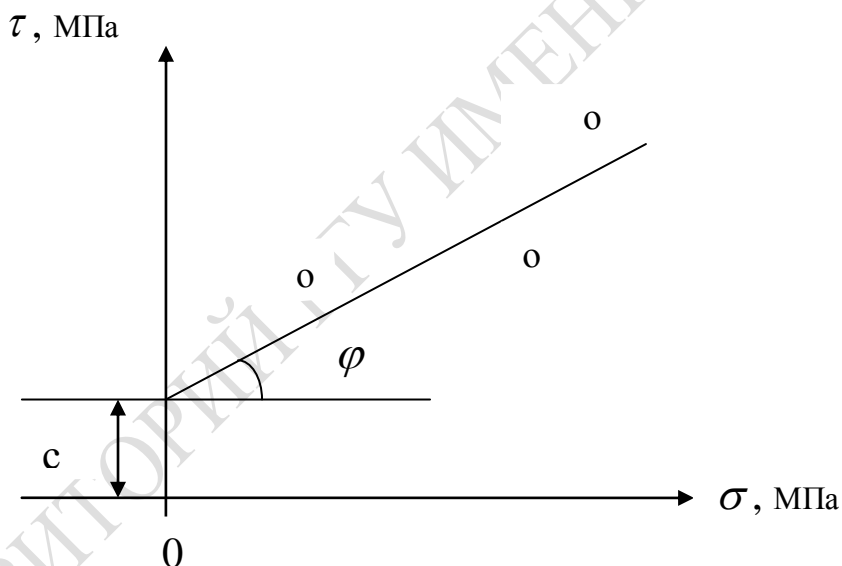


Рисунок 14 – График зависимости  $\tau$  от  $\sigma$

### Контрольные вопросы

1. Опишите параметры, характеризующие сопротивление грунтов сдвигу.
2. Опишите способы подготовки грунтов к испытаниям на одноплоскостной срез.
3. Опишите конструкцию прибора ГПП-30м.
4. Какова методика испытания грунтов при быстром сдвиге без предварительного уплотнения?
5. Как обрабатываются результаты испытаний?

## 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.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

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

Таблица А1

| Название грунта               | Содержание частиц, %     |                            |   |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|---|
|                               | глинистых<br>< 0,005 мм* | пылеватых<br>0,005–0,05 мм | песчаных<br>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 2–0,25 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 2–0,25 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 2–0,25 мм    |
| Песок мелкозернистый          | < 3                      | -                          | Больше, чем пылеватых. Преобладают частицы 0,25–0,05 мм |

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

Производственно-практическое издание

**Акулевич Анатолий Францевич,  
Моляренко Владимир Леонидович,  
Галезник Ольга Ивановна**

## **ГРУНТОВЕДЕНИЕ**

Практическое пособие

Редактор В. И. Шкредова  
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 16.09.2020. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 3,1.  
Тираж 25 экз. Заказ 415т.

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, 246019, Гомель











**А. Ф. АКУЛЕВИЧ,  
В. Л. МОЛЯРЕНКО,  
О. И. ГАЛЕЗНИК**

# **ГРУНТОВЕДЕНИЕ**

Гомель  
2020