

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по учебной геологической практике для студентов спец. Т 19.03  
«Строительство дорог и транспортных объектов»

Брест 2001

УДК 625.731: 624.131.1] (07)

БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии

~~БР-  
Техническо~~  
Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
Брестского государственного технического университета

Автор: Г. П. Демина, ассистент

Рецензент: Найчук А. Я. – директор научно-технического центра Министерства архитектуры и строительства, к. т. н.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Общие указания по организации и выполнению работ.....  | 5  |
| 1. Состав и объем инженерно-геологических исследований.....  | 6  |
| 2. Отбор, упаковка и транспортирование образцов пород для лабораторных исследований.....             | 8  |
| 2.1. Отбор монолитов образцов грунтов из горных выработок.....                                       | 8  |
| 2.2. Упаковка образцов.....  | 8  |
| 2.3. Транспортирование и хранение образцов.....  | 10 |
| 3. Гранулометрический состав грунта.....   | 11 |
| 3.1. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом.....                   | 12 |
| 3.1.1. Порядок выполнения работы.....  | 12 |
| 3.2. Определение гранулометрического состава грунтов полевым методом.....                            | 15 |
| 3.2.1. Порядок выполнения работы.....  | 15 |
| 4. Влажность грунта.....   | 17 |
| 4.1. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы.....                       | 17 |
| 4.1.1. Порядок выполнения работы.....  | 17 |
| 5. Пластичность пылеватого-глинистых грунтов.....  | 18 |
| 5.1. Определение границы текучести.....  | 19 |
| 5.2. Определение границы раскатывания.....   | 20 |
| 5.3. Определение естественной влажности.....   | 20 |
| 6. Плотность грунтов в естественном состоянии.....   | 21 |
| 6.1. Определение плотности грунта методом режущего кольца.....                                       | 21 |
| 6.1.1. Порядок выполнения работы.....  | 22 |
| 6.2. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде.....                                    | 22 |
| 6.2.1. Порядок выполнения работы.....  | 22 |
| 7. Плотность частиц грунта.....  | 23 |
| 7.1. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом.....                               | 24 |
| 7.1.1. Порядок выполнения работы.....  | 24 |
| 8. Определение плотности сухого грунта, пористости, коэффициента пористости и степени влажности..... | 25 |
| 9. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов.....   | 26 |
| 9.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний.....                                 | 26 |
| 9.2. Проведение испытаний.....   | 29 |
| 9.3. Обработка результатов.....  | 29 |

|  |    |
|--|----|
| 10. Угол естественного откоса.....   | 31 |
| 10.1. Определение угла естественного откоса песчаного грунта в воздушно-сухом состоянии..... | 31 |
| 10.2. Определение угла естественного откоса водонасыщенного песка (под водой).....           | 32 |
| 11. Определение влажности и плотности грунта влагомером-плотномером Ковалева Н.П. ....       | 32 |
| 11.1. Устройство прибора.....  | 32 |
| 11.2. Подготовка к испытанию.....  | 35 |
| 11.3. Определение плотности грунта.....  | 35 |
| 11.4. Определение плотности сухого грунта.....   | 35 |
| 11.5. Определение влажности грунта.....  | 35 |
| 11.6. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности.....                        | 36 |
| 12. Определение качества уплотнения грунта с помощью статического плотномера.....            | 37 |
| 12.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний.....                        | 37 |
| 12.2. Проведение испытаний.....  | 38 |
| 13. Определение коэффициента уплотнения грунта методом динамического зондирования.....       | 42 |
| 13.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний.....                        | 42 |
| 13.2. Проведение испытаний.....  | 43 |
| 13.3. Обработка результатов испытаний.....   | 44 |
| 14. Определение коэффициента уплотнения грунта методом пенетрации.....                       | 44 |
| 14.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний.....                        | 46 |
| 14.2. Проведение испытаний.....  | 47 |
| 14.3. Обработка результатов опытов.....  | 47 |
| 15. Составление заключения.....  | 51 |
| Приложение 1.....  | 53 |
| Приложение 2.....  | 54 |
| Приложение 3.....  | 55 |
| Приложение 4.....  | 56 |
| Приложение 5.....  | 57 |
| Литература.....  | 58 |

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ

К выполнению полевых и лабораторных работ, изложенных в данных методических указаниях, студенты приступают после изучения соответствующих дисциплин (инженерная геодезия, дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог).

Руководитель практики выдает каждой бригаде студентов план местности, снятой во время геодезической практики, с указанием оси проектируемой дороги. На плане для каждой бригады отмечаются места, где должен быть выполнен весь планируемый комплекс инженерно-геологических изысканий. Каждая бригада переносит данные места на местность и отбирает в них необходимые пробы грунта для лабораторных испытаний, а также проводит полевые исследования. Затем места, где проводились исследования, наносятся на продольный профиль проектируемой дороги (здесь также используются материалы геодезической практики).

При оформлении отчетов по практике в их состав следует включить указанные выше материалы геодезической практики, результаты лабораторных и полевых испытаний грунтов, а также материалы тарировки соответствующих приборов.

Все измерения должны выполняться с максимальной точностью.

# 1. СОСТАВ И ОБЪЕМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Состав инженерно-геологических и гидрогеологических исследований определен необходимостью изучения применяемых в настоящее время методик оценки физико-механических характеристик грунтов, используемых в дорожном строительстве. Сюда входят вопросы по отбору, транспортировке и хранению образцов грунта, определению наименования, физических и механических характеристик, как в лабораторных, так и в полевых условиях. Состав и объем исследований в каждом конкретном случае определяет руководитель практики. Ниже приведена предварительная схема, отражающая эти вопросы и которая может быть использована при решении задач практики.

Каждая бригада, состоящая из 5-8 человек, должна выполнить определенный объем работ в полевых и лабораторных условиях. С этой целью руководителем практики намечается трасса будущей дороги, и на ней фиксируются места отрывки шурфов. На месте отрывки шурфа снимается растительный слой с площадки, имеющей размеры в плане 1,7 м X 1,7 м. При выполнении этих работ не допускается уплотнение грунта. Затем на предварительно выровненной площадке начинают отбор проб для лабораторных исследований и проводят опыты в полевых условиях (рис.1).

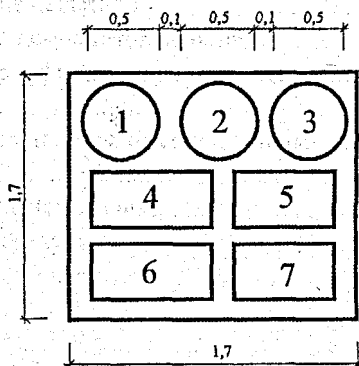


Рис.1. Схема отбора проб и проведения испытаний

1 — грансостава, влажности, пластичности, плотности частиц; 2 — плотности методом режущего кольца; 3 — характеристик, определяемых на приборе Ковалева; 4, 5, 6 — соответственно площадки испытаний грунта статическим плотномером, пенетрометром, динамическим плотномером, 7 — резервный участок.

После завершения всех работ на этом уровне, производят отрывку шурфа на глубину 0,7 м от поверхности земли и проводят те же работы по отбору проб грунта и их испытанию. Затем производят дальнейшую отрывку шурфа до глубины 1,20 м. По всей глубине шурфа делают инженерно-геологическую колонку.

Информация по составу и объемам проводимых работ приведена в таблице 1.

Таблица 1

Состав и объем выполняемых работ

| № п/п | Наименование работ   | Количество проб по уровням                                |   |   |
|-------|--|---|---|---|
|       |  | ≈0,20м  | ≈0,7м   | ≈1,2м   |
| 1     | 2  | 3   | 4   | 5   |
| 1     | Грансостав   | 1 (≈2,00кг)   | 1(≈2,00кг)  | 1 (≈2,00кг)   |
| 2     | Плотность  | 2   | 2   | 2   |
| 3     | Влажность  | 2   | 2   | 2   |
| 4     | Пластичность (если присутствуют пылевато-глинистые грунты) | 1(200г)   | 1 (200г)  | 1 (200г)  |
| 5     | Плотность частиц (по заданию руководителя)                 | 2   | -   | 2   |
| 6     | Характеристики, определяемые на приборе Ковалева)          | По 1 определению каждой характеристики                    | По 1 определению каждой характеристики                    | По 1 определению каждой характеристики                    |
| 7     | Характеристики, определяемые статическим плотномером       | В 3-х точках  | В 3-х точках  | В 3-х точках  |
| 8     | Характеристики, определяемые динамическим плотномером      | "   | "   | "   |
| 9     | Характеристики, определяемые пенетрометром                 | В 4-х точках  | В 4-х точках  | В 4-х точках  |
| 10    | Угол естественного откоса                                  | 2 пробы: Используется грунт после определения грансостава | 2 пробы: Используется грунт после определения грансостава | 2 пробы: Используется грунт после определения грансостава |
| 11    | Коэффициент фильтрации                                     | определения грансостава                                   | определения грансостава                                   | определения грансостава                                   |

Данная схема применима при однородном геологическом строении площадки. При наличии нескольких геологических слоёв все указанные определения в таблице 1 для уровня 0,2 м выполняют для каждого слоя.

## 2. ОТБОР, УПАКОВКА И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОРОД ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Достоверность результатов лабораторного изучения физико-механических свойств горных пород грунтов зависит от правильности отбора образцов, сохранения их природного состояния в процессе отбора, транспортировки и хранения.

### 2.1. ОТБОР МОНОЛИТОВ ОБРАЗЦОВ ГРУНТОВ ИЗ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Отбор монолитов (образцов грунта) производят из горных выработок (шурфов, скважин) с помощью ножа, лопаты, грунтоноса. Монолит, сохраняющий форму без жесткой тары, необходимо отбирать в виде куса породы, из которого затем следует вырезать образцы необходимого размера. При отборе монолита не допускается нарушение сложения грунта.

Монолит, не сохраняющий форму без жесткой тары, следует отбирать методом режущего кольца. Для этого, зачистив поверхность грунта, устанавливают на ней кольцо режущим краем вниз. Придерживая кольцо рукой, острым ножом вырезают столбик грунта высотой 5-10 мм и диаметром на 1-2 мм больше наружного диаметра кольца. Затем кольцо как бы насаживают на столбик грунта, срезая лишний грунт с боков. Перекосы кольца при этом не допускаются. Операцию вырезания столбика грунта и погружения кольца в грунт продолжают до полного заполнения кольца. После заполнения кольца, грунт, выступающий сверху, срезают ножом вровень с краями кольца, осторожно очищают от грунта наружную поверхность кольца и накрывают крышкой. Затем, придерживая кольцо с грунтом рукой, подрезают столбик грунта на 8-10 мм ниже низа кольца, отделяют кольцо с грунтом и, перевернув, производят зачистку второй поверхности. После этого закрывают кольцо второй крышкой.

### 2.2. УПАКОВКА ОБРАЗЦОВ

Образцы породы нарушенного сложения, для которых не требуется сохранения природной влажности, следует укладывать в тару (обычно мешочки из плотной материи, плотной водостойкой бумаги или синтетических пленок).

Образцы породы нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности, необходимо укладывать в коррозионно-стойкие металлические или пластмассовые банки с герметически закрывающимися крышками.



Образцы породы нарушенного сложения, предназначенные для определения природной влажности, допускается укладывать в мешочки из синтетической пленки при условии взвешивания образцов немедленно после их отбора.

Вместе с образцом нарушенного сложения внутрь тары, не имеющей выгравированного номера, следует вкладывать этикетку, завернутую в кальку и покрытую слоем парафина; второй экземпляр этикетки необходимо наклеивать на тару. Содержание этикетки допускается надписывать на таре. Если тара имеет выгравированный номер, то все записи следует делать в журнале со ссылкой на номер тары.

Монолиты, отобранные из горных выработок и буровых скважин необходимо немедленно изолировать от наружного воздуха.

Монолит, не помещаемый в жесткую тару, следует запарафинировать. Для этого его туго обматывают слоем марли, предварительно расплавленным парафином, смешанным с гудроном. Затем весь монолит в марле покрывают слоем парафина, обматывают вторым слоем марли (также пропитанной парафином) и еще раз покрывают слоем парафина толщиной не менее 1 мм. До запарафинирования на верхнюю поверхность монолита следует положить этикетку, завернутую в кальку и покрытую парафином. Второй экземпляр этикетки, смоченный расплавленным парафином, необходимо прикрепить сверху запарафинированного монолита и также покрыть тонким слоем парафина.

Монолиты, отобранные в жесткую тару, необходимо упаковывать в этой же таре. Открытые торцы тары следует закрывать жесткими крышками с резиновыми прокладками. Если резиновые прокладки отсутствуют, места соединения крышки с тарой надлежит покрыть двойным слоем изоляционной ленты или залить расплавленным парафином. При отсутствии жестких крышек торцы следует запарафинировать. В последнем случае перед заливкой парафина на открытые торцы необходимо положить два-четыре слоя марли, пропитанной парафином. Сверху монолита между резиной и крышкой или между слоями парафина следует положить этикетку, вторую этикетку прикрепить на боковой поверхности жесткой тары.

Парафин, применяемый для изоляции монолитов, должен иметь температуру несколько выше точки его плавления (обычно 57-60°C).

Для увеличения пластичности парафина в него необходимо добавлять 35-50% (по массе) гудрона.

Для изоляции монолитов допускается применение вместо смеси парафина с гудроном заменителей (например, смесь 60% парафина, 25% воска, 10% ка-

нифоли и 5% минерального масла или смесь 37,5% воска, 37,5% канифоли, 25% окиси железа).

На этикетке образца должны быть указаны:

- 1) наименование организации, проводящей изыскания;
- 2) название или номер изыскательской партии (экспедиции) (группа №, бригада №);
- 3) наименование объекта (участка);
- 4) номер образца;
- 5) название выработки и ее номер;
- 6) глубина отбора образца;
- 7) название породы по визуальному определению;
- 8) должность и фамилия лица, производившего отбор образца, и его подпись;
- 9) дата отбора образца.

Этикетки следует заполнять четко, простым графитовым карандашом, чтобы исключить возможность обесцвечивания или расплывания записей. Образцы породы, предназначенные для транспортирования в лаборатории, расположенные на значительном расстоянии от места отбора, необходимо упаковывать в ящики.

Укладка монолитов в ящик должна быть плотной, с заполнением свободного пространства между ними влажными (для монолитов немерзлой породы) древесными опилками, стружкой или аналогичными им по свойствам материалами. При укладке в ящик между монолитами и стенками его следует проложить слой заполнителя толщиной 3-4 см, а между монолитами — слой толщиной 2-3 см.

Внутри ящика под верхнюю крышку необходимо положить завернутый в кальку список образцов со сведениями, указанными в этикетке. Ящики следует пронумеровать, сделать надписи: "Верх", "Не бросать" и "Не кантовать", а также написать адрес получателя и отправителя.

### 2.3. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ

Транспортирование образцов (без упаковки, в ящики) в лаборатории, расположенные в непосредственной близости от пункта отбора следует производить обязательно в сопровождении лица, ответственного за сохранность доставляемых образцов.

Монолиты (образцы) при транспортировании не должны подвергаться резким динамическим и температурным воздействиям.

Монолиты немерзлой породы, упакованные в ящики, необходимо транспортировать при положительной температуре окружающего воздуха.

Образцы немерзлой породы, для которых требуется сохранение природной влажности, следует хранить в помещениях или камерах (эксикаторах) с относительной влажностью воздуха 50-60% при температуре не ниже  $+2^{\circ}\text{C}$  и не выше  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Срок хранения упакованных образцов нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности, не должен превышать двух суток, считая с момента отбора образцов до их лабораторных исследований.

Образцы породы нарушенного сложения, требующие сохранения природной влажности и взвешенные немедленно после их отбора, допускается хранить более двух суток.

Сроки хранения упакованных монолитов (с момента отбора до начала лабораторных исследований) в помещениях или камерах не должны превышать: немерзлых скальных, маловлажных песчаных, а также глинистых пород твердой и полутвердой консистенции — трех месяцев; других видов немерзлых пород — полутора месяца.

Срок хранения упакованных монолитов (с момента отбора до начала лабораторных исследований) при отсутствии помещений или камер не должен превышать 15 суток.

Монолиты, имеющие повреждения гидроизоляционного слоя и дефекты упаковки или хранения, следует принимать к лабораторным испытаниям только как образцы породы нарушенного сложения.

### 3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУНТА

Под гранулометрическим или механическим составом грунта понимают относительное содержание частиц различной крупности, выраженное в процентах от общей массы грунта. Гранулометрический состав является одним из важных факторов, определяющих физические свойства грунта. От него зависят такие свойства как пластичность, пористость, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, разбухание, высота капиллярного поднятия, водопроницаемость и др.

Наибольшее распространение в строительной практике получили ситовой анализ, метод Сабанина, пипеточный метод, ареометрический метод и полевой метод Рутковского.

### 3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ СИТОВЫМ МЕТОДОМ

Гранулометрический анализ на ситах является основным методом гранулометрического состава песчаных грунтов. Ситовой анализ заключается в просеивании пробы воздушно-сухого грунта через сита с диаметром отверстий 2; 0,5; 0,25 и 0,1 мм.

#### 3.1.1. Порядок выполнения работы

Сита собирают в колонку так, чтобы диаметры их отверстий уменьшались сверху вниз. Нижнее сито закрывают поддоном.

Осуществляют отбор средней навески, для чего высушенный на воздухе образец тщательно перемешивают, затем шпателем или линейкой распределяют на листе бумаги тонким слоем толщиной в несколько миллиметров и двумя взаимно перпендикулярными линиями разделяют на равные части (квадранты). Два противоположных квадранта (по диагонали) оставляют в качестве сокращенной пробы, а два других удаляют. Такое деление производят до тех пор, пока не останется необходимое количество грунта  $\approx 100\text{г}$ . Взвешенную пробу (100г) помещают на верхнее сито собранной колонки, закрывают крышкой и просеивают до полной сортировки частиц грунта на ситах. Контроль полной сортировки частиц грунта осуществляют просеиванием содержимого каждого сита над листом бумаги. При выпадении частиц содержимое бумаги необходимо высыпать на нижележащее сито, снятое сито поставить на место и продолжить обработку до тех пор, пока процесс деления грунта по крупности не будет завершен.

Содержимое каждого сита высыпают на предварительно взвешенные листки бумаги, взвешивают с точностью до 0,01 г и вычисляют массу каждой фракции. Суммарная масса всех фракций не должна отличаться более чем на 0,5% массы образца, взятой для анализа.

Вычисляют процентное содержание каждой фракции по формуле:

$$X = \frac{A \cdot 100}{B},$$

где  $X$  - процентное содержание фракций в грунте;

где  $A$  - масса фракции;

где  $B$  - масса навески.

Данные анализа заносят в таблицу 2.

Таблица 2

## Результаты просеивания на ситах

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | Наименование показателей                      | Размеры фракций грунта, мм |       |          |          |      |
|--------------|-------------------|--------|---|----------------------------|-------|----------|----------|------|
|              |                   |        |   | >2                         | 2-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | <0,1 |
| 1            | 2                 | 3      | 4   | 5                          | 6     | 7        | 8        | 9    |
|              |                   |        | Масса фракций грунта, г                       |                            |       |          |          |      |
|              |                   |        | Содержание фракций, %                         |                            |       |          |          |      |
|              |                   |        | Содержание частиц крупнее данного диаметра, % |                            |       |          |          |      |
|              |                   |        | Содержание частиц менее данного диаметра, %   |                            |       |          |          |      |

По данным таблицы 2 подсчитывают сумму процентов по массе частиц крупнее 2; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Наименование песка по крупности устанавливают по таблице №1 приложения 1 по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице (сверху вниз).

Для большей наглядности и удобства сравнения различных грунтов между собой гранулометрический состав обычно изображают графически. Кривая гранулометрического состава строится в системе прямоугольных координат, в полулогарифмическом масштабе (рис. 2).

По оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц, а по оси ординат – суммарные процентные содержания частиц менее данного размера. Для этого последовательно суммируют содержание фракций, начиная с самой мелкой. По кривой гранулометрического состава находят показатель максимальной неоднородности – меру неоднородности гранулометрического состава песка, который определяют по формуле:

$$U_{MAX} = d_{95} \frac{d_{95}}{d_5}$$

где  $d_{95}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_5$  – диаметры частиц, мм, процентное содержание которых в грунте менее соответственно 95%, 50% и 5%.

Чем выше  $U_{MAX}$ , тем зерновой состав грунта более неоднороден.

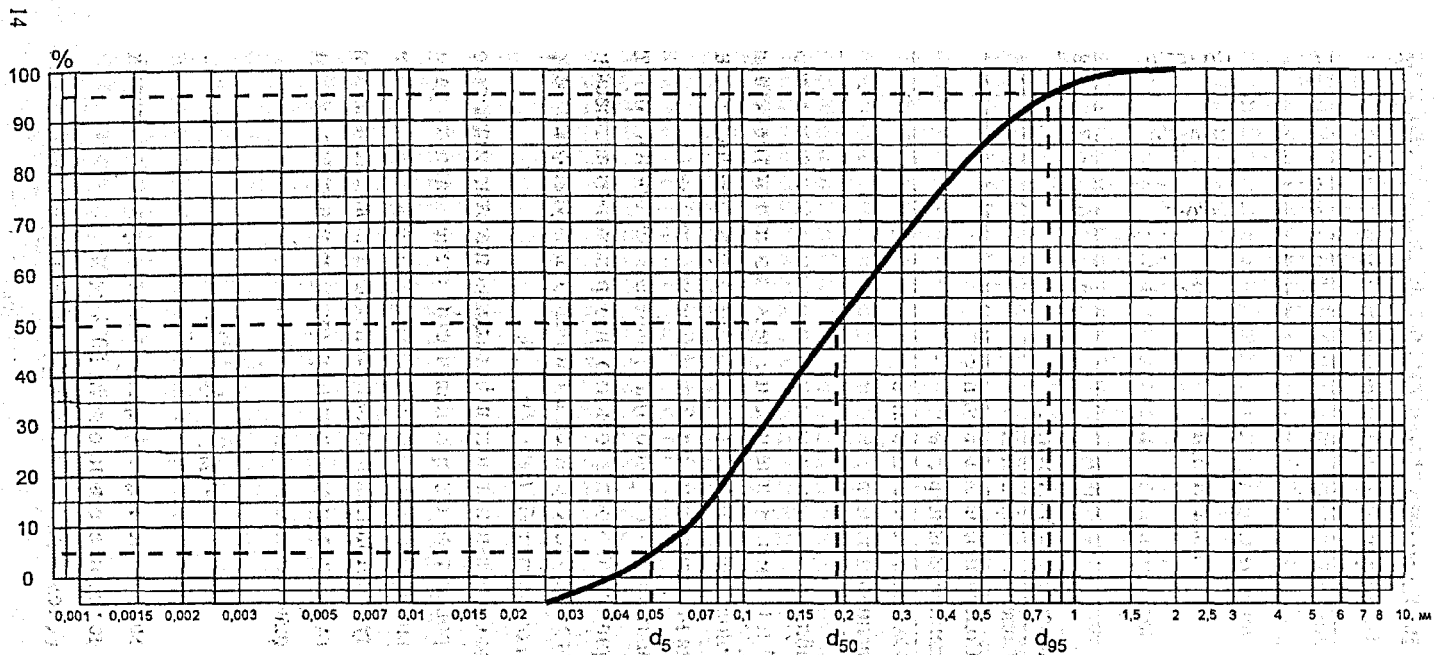


Рис. 2. Кривая гранулометрического состава

Рассматриваемые песчаные грунты классифицируются по показателю максимальной неоднородности следующим образом:

|                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| однородные                | $U_{MAX} < 4;$          |
| среднеоднородные          | $4 < U_{MAX} \leq 20;$  |
| неоднородные              | $20 < U_{MAX} \leq 40;$ |
| повышенной неоднородности | $U_{MAX} > 40.$         |

По данным определения гранулометрического состава составляют заключение по наименованию песчаного грунта с учетом его однородности.

### 3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

#### ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ

Распространенным полевым методом является метод Рутковского, применяемый для массовых определений гранулометрического состава глинистых грунтов. В основу метода положена способность глинистых фракций набухать в воде, а также различная скорость осаждения частиц, зависящая от их размера. Экспериментально выделяют три основные группы фракций: глинистую, пылевую и песчаную.

#### 3.2.1. Порядок выполнения работы

##### А. Определение содержания глинистых частиц

$$d < 0,005 \text{ мм}$$

Из воздушно-сухого грунта, прошедшего через сито диаметром  $d = 0,5 \text{ мм}$  в мензурку емкостью  $100 \text{ см}^3$  насыпают с уплотнением песок объемом  $V_0 = 10 \text{ см}^3$ . Грунт в мензурке разрыхляют, наливают  $50-70 \text{ см}^3$  воды и тщательно размешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником. В полученную суспензию для ускорения коагуляции прибавляют  $2-3 \text{ см}^3$  5% раствора  $\text{CaCl}_2$ . Затем мензурку доливают воду до  $100 \text{ см}^3$  и оставляют суспензию отстаиваться на 1 час. После этого измеряют объем осадка  $V$  в мензурке и определяют приращение объема грунта  $K$  в результате его набухания:

$$K = \frac{V - V_0}{V_0}$$

Определяют процентное содержание глинистой фракции (меньше  $0,005 \text{ мм}$ ) по эмпирической формуле:

$$a_{21} = 22,7 \cdot K$$

##### Б. Определение содержания в грунте песчаных частиц

$$d = (2-0,05) \text{ мм}$$

В мензурку емкостью  $100\text{см}^3$  насыпают с уплотнением  $10\text{см}^3$  грунта, прошедшего через сито  $d = 0,5\text{мм}$ . Грунт в мензурке разрыхляют, наливают  $100\text{см}^3$  воды, содержимое размешивают стеклянной палочкой и затем отстаивают 90с. Через 90 с суспензию в объеме  $70-75\text{см}^3$  сливают в мерный сосуд.

Отмучивание в мензурке проводят 5-8 раз, пока вода на сливаемую высоту, по истечении 90с не станет прозрачной. Для контроля отмучивания в мензурку наливают воду до уровня  $30\text{см}^3$ , взмучивают и через 30с сливают весь слой жидкости, находящейся над осадком. Взмучивание со сливом проводят до тех пор, пока осадок не будет содержать взвешенные частицы. Доливают в мензурку воды до  $100\text{см}^3$  и после отстоя определяют объем песчаных частиц ( $V_n$ ). Вычисляют его процентное содержание, принимая, что  $1\text{см}^3$  осевших песчаных частиц соответствует 10%.

**В. Определение содержания пылевой фракции**  
 пылевой фракции  $d = (0,05 - 0,005)\text{мм}$

Процентное содержание пылевой фракции вычисляют по разности между 100% и суммой процентного содержания песчаной и глинистой фракции.

Данные сводят в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты определения песчаной, пылевой и глинистой фракций  
 полевым методом

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № образца | Первоначальный объем грунта, $\text{см}^3 (V_0)$ | Объем набухшего грунта, $\text{см}^3 (V)$ | Приращение объема грунта, $\text{см}^3 (K)$ | Объем песка, оставшегося в мензурке после отмучивания, $\text{см}^3 (V_H)$ | Содержание фракций, % |          |           |
|--------------|-------------------|-----------|--|---|---|--|-----------------------|----------|-----------|
|              |                   |           |  |   |   |  | глинистая             | песчаная | пылеватая |
| 1            | 2                 | 3         | 4  | 5   | 6   | 7  | 8                     | 9        | 10        |

### Г. Оформление журнала гранулометрического состава

Журнал оформляют в виде таблицы 4 с использованием данных ситового анализа и данных, полученных по методу Рутковского.



Для наглядности и анализа на кривой гранулометрического состава (рис. 2) выделяют зоны состава фракций (глинистые, пылеватые, песчаные; гравийные) и достраивают кривую гранулометрического состава в зоне глинистых и пылеватых фракций.

Таблица 4  
Результаты определения гранулометрического состава грунтов

| Точка отбора | Результаты ситового анализа (содержание фракций, %) |          |             |             |         |   |                        | Результаты анализа по методу Рутковского |   |                                     |                        |                             | Гранулометрический состав грунта, % |       |      |       |       |          |             |
|--------------|---|----------|-------------|-------------|---------|---|------------------------|--|---|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------|------|-------|-------|----------|-------------|
|              | Глубина отбора, м                                   |          |             |             |         |   |                        | Песок                                    | Глина                                   |                                     |                        |                             | Гравий                              | Песок | Пыль | Глина |       |          |             |
|              | >2 мм   | 2-0,5 мм | 0,5-0,25 мм | 0,25-0,1 мм | <0,1 мм | Объем осадка после отмучивания, см <sup>3</sup> | Содержание в грунте, % |  | Объем набухшего грунта, см <sup>3</sup> | Приrost объема на 1 см <sup>3</sup> | Содержание в грунте, % | Содержание пыли в грунте, % |                                     |       |      |       | >2 мм | 2-0,5 мм | 0,5-0,25 мм |
| 1            | 2   | 3        | 4           | 5           | 6       | 7   | 8                      | 9  | 10                                      | 11                                  | 12                     | 13                          | 14                                  | 15    | 16   | 17    | 18    | 19       | 20          |

#### 4. ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТА

Влажностью грунта называют отношение массы воды, удаленной из грунта при его высушивании до постоянной массы, к массе сухого грунта. Влажность грунта является важнейшей характеристикой физического состояния грунта. Влажность выражается в процентах, либо в долях единицы.

##### 4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЫСУШИВАНИЯ ДО ПОСТОЯННОЙ МАССЫ

###### 4.1.1. Порядок выполнения работы

Взвешивают пронумерованный бокс с крышкой ( $m_1$ , г). В него помещают пробу грунта массой 15-20г, закрывают крышкой и взвешивают ( $m_2$ , г). Сняв крышку, бокс помещают в нагретый сушильный шкаф, где грунт высушивают

БИБЛИОТЕКА  
Брестского государственного  
технического университета

до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2)^\circ \text{C}$ . Песчаные грунты высушивают в течение 3ч., а остальные — в течение 5ч., после чего производят взвешивание ( $m_3$ , г). Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1ч., остальных — в течение 2ч., затем снова взвешивают. Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканчиком при двух последующих взвешиваниях не более 0,02г.

Вычисляют влажность грунта по формуле:

$$W_i = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100, \%$$

Для каждой пробы грунта делают 2 параллельных определения. Все взвешивания производят на технических весах с точностью до 0,01 г. Результаты вычислений выражают с точностью до 0,1. Расхождение между определениями более 2% не допускается.

Полученные данные записывают в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты определения влажности грунта

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | № бюкса | Масса пустого бюкса, г ( $m_1$ ) | Масса бюкса с влажным грунтом, г ( $m_2$ ) | Масса бюкса с сухим грунтом, г ( $m_3$ ) | Влажность, %             |                                |
|--------------|-------------------|--------|---------|----------------------------------|--|--|--------------------------|--------------------------------|
|              |                   |        |         |                                  |  |  | опытные данные ( $w_i$ ) | средний результат ( $w_{cp}$ ) |
| 1            | 2                 | 3      | 4       | 5                                | 6  | 7  | 8                        | 9                              |
|              |                   |        |         |                                  |  |  |                          |                                |

Среднее значение влажности определяют по формуле:

$$w_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n}, \%$$

где  $n$  — число определений влажности.

## 5. ПЛАСТИЧНОСТЬ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Под пластичностью грунта понимают его способность в определенном интервале влажностей изменять свою форму без разрыва сплошности в результате воздействия внешнего давления и сохранять ее, когда внешнее давление снимается.

Характеристики пластичности пылеватоглинистых грунтов — это влажности на границе текучести  $w_L$  и раскатывания  $w_p$ , а также число пластичности  $J_p$  и показатель текучести  $J_L$ .

Влажность, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний, называется границей раскатывания —  $w_p$ .

Влажность, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний, называется границей текучести —  $w_L$ .

Разность между влажностями на пределе текучести и раскатывания, выраженная в процентах, называется числом пластичности:

$$J_p = w_L - w_p, \%$$

Пылевато-глинистые грунты подразделяют по числу пластичности на суглинки, суглинки и глины (приложение 1, табл. 2).

По величинам характерных влажностей  $w_p$  и  $w_L$  и естественной влажности  $w$ , можно определить показатель текучести, т.е. степень подвижности слагающих грунт частиц при механическом воздействии.

$$J_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$$

По показателю текучести пылевато-глинистые грунты подразделяют на группы от твердых до текучих (приложение 2, табл. 5).

Характеристики  $w_L$ ,  $w_p$  и  $J_p$  являются косвенными показателями состава (гранулометрического и минералогического) пылевато-глинистых грунтов. Более высокие значения этих характеристик свойственны грунтам с большим содержанием глинистых частиц, а также грунтам, в минералогический состав которых входит монтмориллонит.

### 5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ТЕКУЧЕСТИ

Из грунта, прошедшего через сито с отверстиями в 1мм, с добавлением небольшого количества дистиллированной воды приготавливают грунтовую пасту, которую выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2ч. Затем грунтовую пасту тщательно перемешивают в фарфоровых чашках и укладывают с помощью шпателя в стаканчик прибора, заполняя его без оставления пустот. Поверхность пасты сглаживают в уровень с краями стаканчика.

Подносят к поверхности грунтовой пасты, находящейся в стаканчике, смазанный тонким слоем вазелина конус и, опустив его, дают в течение 5с свободно погружаться в пасту под давлением от собственной массы.

Если конус за 5с погрузится в пасту до черты, то верхний предел считается достигнутым.

Погружение конуса за 5с на глубину менее 10мм показывает, что влажность пасты еще не достигла искомой границы текучести. В этом случае вынимают пасту из стаканчика, добавляют в него немного воды (дистиллированной), тщательно перемешивают и операции повторяют.

При погружении конуса на глубину более 10мм грунтовую пасту вынимают из стаканчика, кладут на стекло, перемешивают шпателем, давая ей немного подсохнуть, и операции повторяют.

Отбирают из испытываемой пасты пробу не менее 15г и производят определение влажности методом высушивания.

Производят не менее двух параллельных определений. Расхождение более 2% не допускается.

## 5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ РАСКАТЫВАНИЯ

Границу раскатывания следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста, раскатываемая в жгут толщиной 3мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3-10мм.

Приготовленную грунтовую пасту, оставшуюся от определения границы текучести, подсушивают до тех пор, пока она при раскатывании не перестанет прилипать к ладоням рук.

Из подсушенной грунтовой пасты берут небольшие кусочки и раскатывают их на стекле до образования жгута диаметром около 3мм и длиной, равной ширине ладони.

Если при такой толщине грунтовой жгут начнет крошиться, то считают, что предел раскатывания достигнут. Если при толщине около 3мм жгут сохраняет связность и эластичность и не крошится, то его переминают руками, а затем вновь раскатывают до указанной толщины.

Если жгут начинает крошиться, не достигнув толщины 3мм, добавляют несколько капель дистиллированной воды и перемешивают, а затем раскатывают.

Взяв не мене 10г жгута грунта в предварительно взвешенный бюкс, определяют его влажность методом высушивания. Для каждого образца грунта производят не менее двух параллельных определений. Расхождение в результатах более 2% не допускается.

## 5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Естественную влажность определяют методом высушивания.

За границы текучести и раскатывания и естественную влажность принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений. Результаты определений влажностей заносят в таблицу 6.

## Результаты определения показателей пластичности грунта

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | Показатели пластичности, % | № блока | Масса, г |                         |                       | Влажность, %          |                             | Наименование грунта |
|--------------|-------------------|--------|----------------------------|---------|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|
|              |                   |        |                            |         | блока    | блока с влажным грунтом | блока с сухим грунтом | опытные данные, $W_i$ | средний результат, $W_{cp}$ |                     |
| 1            | 2                 | 3      | 4                          | 5       | 6        | 7                       | 8                     | 9                     | 10                          | 11                  |
|              |                   |        | $W_L$                      |         |          |                         |                       |                       |                             |                     |
|              |                   |        | $W_P$                      |         |          |                         |                       |                       |                             |                     |
|              |                   |        | $W$                        |         |          |                         |                       |                       |                             |                     |

По влажностям границы текучести, границы раскатывания и естественной влажности определяют наименование и состояние пылеватого-глинистого грунта (приложения 1, 2, табл. 2, 5) и делают заключение по выполняемой работе.

## 6. ПЛОТНОСТЬ ГРУНТОВ В ЕСТЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ

Плотность грунта равна отношению массы грунта к его объему. Плотность грунта зависит от минералогического состава, пористости, влажности грунта. Максимального значения плотность при данной пористости достигает при полном заполнении пор водой. Изменяется плотность для большинства видов грунтов в пределах от  $1,4 \text{ г/см}^3$  до  $2,2 \text{ г/см}^3$ .

Используют плотность грунта в расчетах оснований, земляных сооружений, для подземных конструкций, а также при установлении объема земляных работ.

Зная плотность грунта, можно найти его удельный вес по формуле:

$$\gamma = \rho \cdot g, \text{ кН/м}^3,$$

где  $\rho$  - плотность грунта,  $\text{г/см}^3$ ;

$g$  - ускорение свободного падения, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

### 6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА

Этот метод применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также песчаных грунтов ненарушенного сложения и естественной влажности.

### 6.1.1. Порядок выполнения работы

Определяют массу ( $m_1$ , г) режущего кольца вместе с крышками и внутренний объем кольца ( $V$ , см<sup>3</sup>). Методом режущего кольца отбирают образец грунта. Кольцо с грунтом и крышками взвешивают ( $m_2$ , г). Определяют плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ г/см}^3.$$

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах параллельных определений более 0.03г/см<sup>3</sup> не допускается.

Полученные данные записывают в таблицу 7 и определяют среднее значение плотности по формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}, \text{ г/см}^3,$$

где  $n$  – количество опытов.

Таблица 7

Результаты определения плотности грунта

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | № кольца | Масса кольца, г          |                             | Объем кольца, $V$ , см <sup>3</sup> | Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее значение плотности грунта, $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|--------------|-------------------|--------|----------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--|---|
|              |                   |        |          | пустого с крышкой, $m_1$ | с крышками и грунтом, $m_2$ |                                     |  |   |
| 1            | 2                 | 3      | 4        | 5                        | 6                           | 7                                   | 8  | 9   |

## 6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ В ВОДЕ

Метод парафинирования применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке.

### 6.2.1. Порядок выполнения работы

Берут кусочек грунта объемом не менее 50см<sup>3</sup> и, удалив по возможности при помощи ножа, выступающие острые части и обвязав его тонкой нитью длиной 15-20см, взвешивают на технических весах ( $m$ , г).

После взвешивания образец опускают на 1-2с в расплавленный парафин с температурой 57-60°. Так, повторными погружениями наращивают парафино-

вую оболочку до толщины 1-1.5мм. При этом необходимо следить, чтобы в парафине не оставалось пузырьков воздуха. Затем взвешивают охлажденный запарафинированный образец ( $m_1$ ).

Подвесив запарафинированный образец грунта на крючок коромысла весов, погружают его в сосуд с чистой водой, установленный на подставке, и взвешивают ( $m_2$ , г). При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда. Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают для проверки герметичности оболочки. При увеличении массы образца более чем на 0,02 г по сравнению с первоначальной, образец бракуется, и испытание повторяется с другим образцом.

Плотность грунта вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_n \cdot \rho_w}{\rho_n \cdot (m_1 - m_2) - \rho_w (m_1 - m)}, \text{ г/см}^3,$$

где  $\rho_n$  - плотность парафина, принимаемая равной 0,90г/см<sup>3</sup>;

$\rho_w$  - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>.

Для каждого образца грунта количество параллельных определений должно быть не менее двух. Расхождение в результатах в этом случае не должно превышать 0,03г/см<sup>3</sup>.

Данные определений сводят в таблицу 8 и определяют среднее значение плотности грунта.

Таблица 8  
Результаты определения плотности грунта

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | Масса, г            |                                   |                     |   | Объем, см <sup>3</sup>            |                             |                     | Плотность грунта, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Среднее значение плотности грунта, $\rho_{ср}$ , г/см <sup>3</sup> |
|--------------|-------------------|--------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--|--|
|              |                   |        | образца грунта, $m$ | образца грунта с парафином, $m_1$ | парафина, $m_1 - m$ | запарафинированного образца в воде, $m_2$ | образца грунта с парафином, $V_1$ | парафиновой оболочки, $V_n$ | образца грунта, $V$ |  |  |
| 1            | 2                 | 3      | 4                   | 5                                 | 6                   | 7   | 8                                 | 9                           | 10                  | 11   | 12   |

## 7. ПЛОТНОСТЬ ЧАСТИЦ ГРУНТА

Плотность частиц грунта определяется отношением массы частиц грунта к их объему.

Плотность частиц грунта обуславливается только минералогическим составом и изменяется в пределах от 2,4 г/см<sup>3</sup> до 2,8 г/см<sup>3</sup>. Для ориентировочных расчетов можно принимать плотность частиц равной: для песков - 2,66 г/см<sup>3</sup>, супесей - 2,68 г/см<sup>3</sup>, суглинков - 2,71 г/см<sup>3</sup>, глин - 2,74 г/см<sup>3</sup>.

## 7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА ПИКНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Определяют плотность частиц грунта с помощью мерных сосудов (пикнометров) емкостью не менее 100см<sup>3</sup>.

### 7.1.1. Порядок выполнения работы

Из приготовленного воздушно-сухого грунта берут навеску грунта из расчета 15г. на каждые 100мл емкости пикнометра. Пикнометр, наполненный на 1/3 объема дистиллированной водой, взвешивают ( $m_1$ , г). Затем через воронку всыпают в него отобранную навеску грунта и снова взвешивают ( $m_2$ , г).

Пикнометр с водой и грунтом взбалтывают и ставят кипятить на песчаную баню. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) для песков и супесей должна составлять 30 минут. После кипячения пикнометр слегка охлаждают и доливают до риски на горлышке дистиллированную воду, а затем охлаждают до комнатной температуры, поместив его в небольшой сосуд с водой.

Поправляют положение мениска путем добавки в пикнометр нескольких капель дистиллированной воды. Низ мениска должен совпадать с мерной риской на пикнометре.

Тщательно обтирают пикнометр снаружи и шейку внутри фильтровальной бумагой и взвешивают ( $m_3$ , г). Затем содержимое пикнометра выливают, его ополаскивают и наливают в него до того же уровня дистиллированную воду, имеющую температуру суспензии и взвешивают ( $m_4$ , г).

Массу сухого грунта определяют по формуле:

$$m_0 = \frac{m_2 - m_1}{1 + 0.01w_g}, \text{ г.}$$

где  $w_g$  - гигроскопическая влажность, принимаемая равной 1...2%.

Плотность частиц грунта определяют по формуле:

$$\rho_s = \frac{m_0 \cdot \rho_w}{m_0 + m_4 - m_3}, \text{ г/см}^3,$$

где  $\rho_w$  - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>.

Для каждого образца грунта производят два параллельных определения плотности частиц грунта. Расхождение между результатами определений более чем на 0,02 г/см<sup>3</sup> не допускается. За плотность частиц грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений, выраженное с точностью до 0.01 г/см<sup>3</sup>.



Данные опытов заносят в таблицу 9

Таблица 9

Результаты определения плотности частиц грунта

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | Масса, г                      |   |  |  | Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup> ( $\rho_{st}$ ) |                                  |                                  |
|--------------|-------------------|--------|-------------------------------|---|--|--|--|----------------------------------|----------------------------------|
|              |                   |        | пикнометра с водой, ( $m_1$ ) | пикнометра с водой и грунтом, ( $m_2$ ) | пикнометра с водой и грунтом до черты, ( $m_3$ ) | пикнометра с водой до черты, ( $m_4$ ) | сухого грунта, ( $m_0$ )                                   | частные значения ( $\rho_{st}$ ) | среднее значение ( $\rho_{ср}$ ) |
| 1            | 2                 | 3      | 4                             | 5                                       | 6  | 7                                      | 8  | 9                                | 10                               |
|              |                   |        |                               |   |  |  |  |                                  |                                  |

**8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СУХОГО ГРУНТА, ПОРИСТОСТИ, КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ И СТЕПЕНИ ВЛАЖНОСТИ**

Плотностью сухого грунта называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к его объему (включая имеющиеся в грунте поры).

Плотность сухого грунта вычисляют по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w}, \text{ г/см}^3,$$

где  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;

$w$  – влажность грунта, %.

Пористостью грунта называется отношение объема пор к общему объему грунта. Пористость определяют по формулам:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \text{ или } n = 1 - \frac{\rho}{(1 + 0.01w) \cdot \rho_s},$$

где  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_d$  – плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>;

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

$w$  – влажность грунта, %.

Коэффициентом пористости называется отношение объема пор к объему скелета грунта. Коэффициент пористости определяют по формулам:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \text{ или } e = \frac{n}{1 - n}$$

Песчаные грунта по плотности их сложения разделяют, в зависимости от коэффициента пористости на плотные, средней плотности и рыхлые (приложение 1, табл. 3).

Степень влажности грунта характеризует долю заполнения пор грунта водой. Степень влажности вычисляют по формуле:

$$S_r = \frac{0.01w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}$$

где  $\rho_w$  — плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$w$  — влажность, %.

В зависимости от степени влажности песчаные грунты разделяют на мало-влажные, влажные, насыщенные водой (приложение 1, табл. 4).

Полученные показатели песчаных грунтов применяют для классификации грунтов.

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Водопроницаемостью называют способность грунтов пропускать (фильтровать) через свои поры воду.

Показателем водопроницаемости является коэффициент фильтрации, который представляет собой скорость фильтрации при гидравлическом градиенте равном единице.

Определение коэффициента фильтрации  $K_f$  песчаных грунтов производят с помощью прибора ПКФ-СД. Величину  $K_f$  используют при проектировании земляного полотна в дорожном, железнодорожном и аэродромном строительстве.

### 9.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний

Общий вид прибора ПКФ-СД представлен на рис. 3.

Прибор состоит из следующих основных частей: фильтрационной трубки в сборе, трамбуемого устройства, стакана и ванны.

Фильтрационная трубка включает рабочий цилиндр 1, на котором размещен пьезометр 2. Снизу к цилиндру навинчено перфорированное дно 3 с сеткой 4. После уплотнения грунта фильтрационная трубка устанавливается на подставку 6.

Для проведения опыта по определению коэффициента фильтрации  $K_f$  при гидравлическом градиенте  $i = 1$ , фильтрационная трубка с подставкой помещается в стакан 7. При гидравлическом градиенте  $i = 2$ , фильтрационная трубка с подставкой устанавливается непосредственно в ванну 8.

Трамбующее устройство состоит из направляющего стержня 9, наковальни 10, ударника 11 и рукоятки 12.

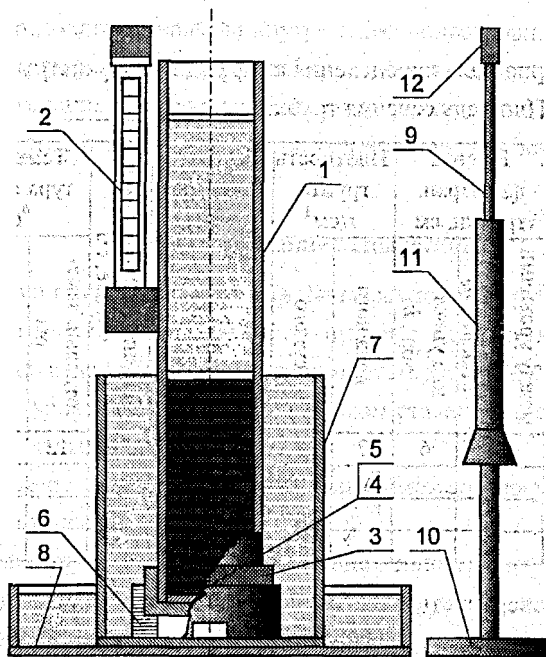


Рис. 3. Устройство прибора ПКФ-СД

При подготовке прибора к работе необходимо на рабочий цилиндр (1) навинтить дно (3), на основание которого укладывают металлическую сетку (4), предотвращающую вымывание пылевидных частиц из пробы грунта. Рабочий цилиндр с навинченным дном далее именуется фильтрационной трубкой.

Фильтрационную трубку взвешивают с точностью до 1 г и полученный результат заносят в рабочий журнал таблицы 10.

Измеряют начальную высоту фильтрационной трубки  $H_0$ , для чего опускают в нее металлическую линейку до упора в металлическую сетку и фиксируют расстояние от сетки до верхнего торца фильтрационной трубки.

Высушивают подлежащий испытаниям грунт при комнатной температуре. Просеивают его через сито с размером ячейки 5 мм для гравелистых и крупных песков, или 2 мм для песков средней крупности, мелких и пылеватых. Из просеянного грунта отбирают навеску массой 450 г.

Затем засыпают в рабочий цилиндр первую навеску (примерно на 1/3 объема цилиндра), вставляют в него трамбовку (масса груза 0,5 кг, высота падения груза 0,3 м) и проводят 25 ударов по уплотняемому грунту.

Замеряют с точностью до 1 мм расстояние от поверхности уплотненного грунта до верха цилиндра и результаты записывают в рабочий журнал.

## Рабочий журнал для определения коэффициента фильтрации песка

## Площадь сечения трубки

| Точка отбора | Масса, г |                    |        | Высота фильтрац. трубки, см                   |                         | Плотность грунта, г/см <sup>3</sup> |        | Время фильтрации, сек |                  | Падение уровня воды в трубке, см | Температура воды, °С |                  | Градиент напора | Коэффициент фильтр., м/сут |
|--------------|----------|--------------------|--------|---|-------------------------|-------------------------------------|--------|-----------------------|------------------|----------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------------|
|              | цилиндра | цилиндра с грунтом | грунта | между уровнями воды в трубке и стакане, $h_0$ | над уплотн. обр., $h_3$ | влажного                            | сухого | отдельн. замесы       | среднее значение |                                  | отдельн. замесы      | среднее значение |                 |                            |
| 1            | 2        | 3                  | 4      | 5   | 6                       | 7                                   | 8      | 9                     | 10               | 11                               | 12                   | 13               | 14              | 15                         |
|              |          |                    |        |   |                         |                                     |        |                       |                  |                                  |                      |                  |                 |                            |
|              |          |                    |        |   |                         |                                     |        |                       |                  |                                  |                      |                  |                 |                            |

Взрыхляют поверхность уплотненного слоя ножом на глубину 1-2мм и засыпают в рабочий цилиндр вторую навеску, уплотняют, производят замеры и записывают в журнал. Аналогично поступают с третьей навеской грунта.

После завершения уплотнения грунта рабочий цилиндр с грунтом взвешивают с точностью до 1 г и заносят результаты взвешивания в рабочий журнал.

Остаток грунта сохраняют для последующего определения фактической влажности.

На поверхность уплотненного грунта в рабочем цилиндре засыпают гравий с размером частиц 2-5мм таким образом, чтобы толщина слоя гравия составила 5-10мм.

Затем фильтрационную трубку с уплотненным грунтом помещают во входящий в комплект прибора металлический стакан (7), высота которого соответствует верхнему уровню грунта в рабочем цилиндре. Заполняют этот стакан водой на 2/3 высоты и выдерживают перед проведением следующей операции в течение 30 минут.

Переносят стакан с помещенной в него фильтрационной трубкой в резервуар с водой емкостью 8-10л и доводят уровень воды в этом резервуаре до высоты на 10-15мм выше верхней кромки стакана.

Выдерживают стакан в резервуаре с водой до появления зеркала воды над слоем гравия и фиксируют время насыщения грунта водой в рабочем журнале.

Осторожно доливают воду во внутреннюю полость фильтрационной трубки на 1/3 ее высоты и переносят прибор вместе с металлическим стаканом в ванну для проведения замеров длительности фильтрации, расположив его таким образом, чтобы нулевая отметка водомерной трубки располагалась на уровне глаз.

## 9.2. Проведение испытаний

Доливают во внутреннюю полость фильтрационной трубки воду до уровня, превышающего не менее чем на 0,5 см нулевую отметку водомерной трубки (каждое деление на водомерной трубке соответствует 0,5 см).

Проверяют уровень воды в металлическом стакане и в случае необходимости, заполняют его водой до верха.

Устанавливают в металлический стакан термометр для измерения температуры воды в процессе испытаний.

По секундомеру определяют время понижения уровня воды по шкале водомерной трубки от 0 до 5 см для хорошо фильтрующих песков. Для засоренных мелкозернистых песков можно ограничиться отсчетами делений от 0 до 1 см (или 3 см). После первого отсчета воду снова доливают до нулевой отметки, и отсчеты повторяют 3-4 раза. Из 3-4 отсчетов берется среднее в секундах. Температура воды также замеряется.

В случае если длительность фильтрации превышает 10 минут, градиент напора при проведении испытания необходимо принять равным 2. Для этого фильтрационную трубку вместе с подставкой необходимо извлечь из металлического стакана и установить ее в ванну без стакана.

Измерение длительности фильтрации при выбранных уровнях падения воды и градиенте напора следует провести не менее 2 раз, рассчитав после этого среднее значение.

В случае, если один из результатов отличается от среднего значения более чем на 10%, следует провести еще одно измерение и рассчитать среднее значение без учета выпадающего результата.

## 9.3. Обработка результатов

Коэффициент фильтрации рассчитывают по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{864 \cdot L \cdot \phi}{t(0,7 + 0,03T_{cp})}, \text{ м/сут,}$$

где  $L$  - высота фильтрующего слоя песка, определяемая как разность между общей высотой фильтрационной трубки  $H_0$  и расстоянием от верхнего торца трубки до поверхности грунта  $h_3$ , см;  
 $t$  - среднее значение времени фильтрации, сек;  
 $T_{op}$  - температура воды, °C;  
 $\varphi$  - значение функции падения уровня воды, определяемой по таблице 11, в зависимости от отношения  $S/h_0$ ,  
 $S$  - падение уровня воды в водомерной трубке, см;  
 $h_0$  - высота первоначального напора воды в приборе от его дна до нулевого деления водомерной трубки, равная 10 для градиента напора 1 или 20 для градиента напора 2.

Таблица 11

Зависимость величины падения уровня воды от первоначального напора

| $S/h_0$ | $\varphi(S/h_0)$ | $S/h_0$ | $\varphi(S/h_0)$ | $S/h_0$ | $\varphi(S/h_0)$ | $S/h_0$ | $\varphi(S/h_0)$ |
|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|
| 0,01    | 0,010            | 0,26    | 0,301            | 0,51    | 0,713            | 0,76    | 1,427            |
| 0,02    | 0,020            | 0,27    | 0,315            | 0,52    | 0,734            | 0,77    | 1,470            |
| 0,03    | 0,030            | 0,28    | 0,329            | 0,53    | 0,755            | 0,78    | 1,514            |
| 0,04    | 0,040            | 0,29    | 0,346            | 0,54    | 0,777            | 0,79    | 1,561            |
| 0,05    | 0,051            | 0,30    | 0,357            | 0,55    | 0,799            | 0,80    | 1,609            |
| 0,06    | 0,062            | 0,31    | 0,371            | 0,56    | 0,821            | 0,81    | 1,661            |
| 0,07    | 0,073            | 0,32    | 0,385            | 0,57    | 0,844            | 0,82    | 1,715            |
| 0,08    | 0,083            | 0,33    | 0,400            | 0,58    | 0,863            | 0,83    | 1,771            |
| 0,09    | 0,094            | 0,34    | 0,416            | 0,59    | 0,892            | 0,84    | 1,838            |
| 0,10    | 0,105            | 0,35    | 0,431            | 0,60    | 0,916            | 0,85    | 1,897            |
| 0,11    | 0,117            | 0,36    | 0,446            | 0,61    | 0,941            | 0,86    | 1,966            |
| 0,12    | 0,128            | 0,37    | 0,462            | 0,62    | 0,957            | 0,87    | 2,040            |
| 0,13    | 0,139            | 0,38    | 0,478            | 0,63    | 0,994            | 0,88    | 2,120            |
| 0,14    | 0,151            | 0,39    | 0,494            | 0,64    | 1,022            | 0,89    | 2,207            |
| 0,15    | 0,163            | 0,40    | 0,510            | 0,65    | 1,050            | 0,90    | 2,303            |
| 0,16    | 0,174            | 0,41    | 0,527            | 0,66    | 1,079            | 0,91    | 2,408            |
| 0,17    | 0,186            | 0,42    | 0,545            | 0,67    | 1,109            | 0,92    | 2,526            |
| 0,18    | 0,196            | 0,43    | 0,562            | 0,68    | 1,139            | 0,93    | 2,659            |
| 0,19    | 0,210            | 0,44    | 0,580            | 0,69    | 1,172            | 0,94    | 2,813            |
| 0,20    | 0,223            | 0,45    | 0,593            | 0,70    | 1,204            | 0,95    | 2,996            |
| 0,21    | 0,236            | 0,46    | 0,616            | 0,71    | 1,238            | 0,96    | 3,219            |
| 0,22    | 0,248            | 0,47    | 0,635            | 0,72    | 1,273            | 0,97    | 3,507            |
| 0,23    | 0,261            | 0,48    | 0,654            | 0,73    | 1,309            | 0,98    | 3,912            |
| 0,24    | 0,274            | 0,49    | 0,673            | 0,74    | 1,347            | 0,99    | 4,605            |
| 0,25    | 0,228            | 0,50    | 0,693            | 0,75    | 1,386            |         |                  |

Заносят полученное значение  $K_{\phi}$  в рабочий журнал с округлением результатов до 0,1 м/сут, если величина коэффициента фильтрации составляет менее 5 м/сут, и округлением результатов до целых чисел, если коэффициент фильтрации более 5 м/сут.

Определяют плотность грунта, разделив массу грунта на фактический объем образца, вычисляемый по формуле:

$$V_{\phi} = (H_0 - h_3) \cdot F, \text{ см}^3,$$

где  $H_0$  — общая высота фильтрационной трубки, см;

$h_3$  — расстояние от верхнего торца трубки до поверхности грунта, см;

$F$  — площадь внутреннего сечения трубки, см<sup>2</sup>.

Рассчитывают плотность сухого грунта по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w}, \text{ г/см}^3,$$

где  $\rho$  — плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;

$w$  — фактическая влажность, %.

## 10. УГОЛ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА

Углом естественного откоса называется угол между горизонталью и поверхностью наиболее крутого свободного откоса песчаного грунта, при котором он сохраняет равновесие.

Значение угла естественного откоса для сухих песков в рыхлом состоянии практически совпадает с углом внутреннего трения.

Угол естественного откоса сыпучего грунта является одной из расчетных характеристик при проектировании многих земляных сооружений.

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

### 10.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ПЕСЧАНОГО ГРУНТА В ВОЗДУШНО-СУХОМ СОСТОЯНИИ

Прибор, состоящий из круглой перфорированной подставки с вертикальной стойкой в центре, на которую нанесена шкала в градусах и полого корпуса в виде усеченного конуса, устанавливают в стеклянную чашку и постепенно заполняют песком до краев конуса. Избыток песка удаляют с помощью линейки.

Коническую часть прибора плавно, без толчков и сотрясений, приподнимают на 1-2 мм над подставкой так, чтобы песок очень медленно высыпался из прибора в стеклянную чашку. После того, как песок перестанет осыпаться, конус приподнимают вверх и снимают с прибора.

Оставшийся на подставке песок образует конус с минимальным углом естественного откоса для данного песка. Значение угла естественного откоса определяют по шкале на стойке прибора.

Опыт проводят трижды. Расхождение в определении угла естественного откоса между повторными определениями не должно превышать  $1^\circ$ . Результаты заносят в таблицу 12 и вычисляют среднее значение угла естественного откоса.

## 10.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ВОДОНАСЫЩЕННОГО ПЕСКА (ПОД ВОДОЙ)

Прибор устанавливают в стеклянную чашку и заполняют воздушно-сухим песком. Осторожно наполняют стеклянную чашку водой так, чтобы она лишь на 2-3мм не доходила до верха прибора. После насыщения песка водой через перфорированную подставку опыт выполняют так же, как и при определении угла естественного откоса в воздушно-сухом состоянии.

Полученные данные записывают в таблицу 12.

Таблица 12  
Результаты определения угла естественного откоса

| Точка отбора | Глубина отбора, м | № слоя | Воздушно-сухой песок |                 |                             | Водонасыщенный песок |                 |                             |
|--------------|-------------------|--------|----------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|
|              |                   |        | № опыта              | угол в градусах | среднее значение угла, град | № опыта              | угол в градусах | среднее значение угла, град |
| 1            | 2                 | 3      | 4                    | 5               | 6                           | 7                    | 8               | 9                           |

## 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ГРУНТА ВЛАГОМЕРОМ-ПЛОТНОМЕРОМ КОВАЛЕВА Н.П.

Плотность грунта, естественная влажность, плотность сухого грунта, а также оптимальная влажность и максимальная плотность могут быть определены с помощью прибора Ковалева, непосредственно в полевых условиях.

### 11.1. Устройство прибора

Прибор Ковалева (рис. 4) состоит из поплавкового приспособления А, приспособления для отбора и уплотнения проб Б, приспособления для определения предела текучести грунтов В. Все приспособления укладываются в резервуаре прибора Г.



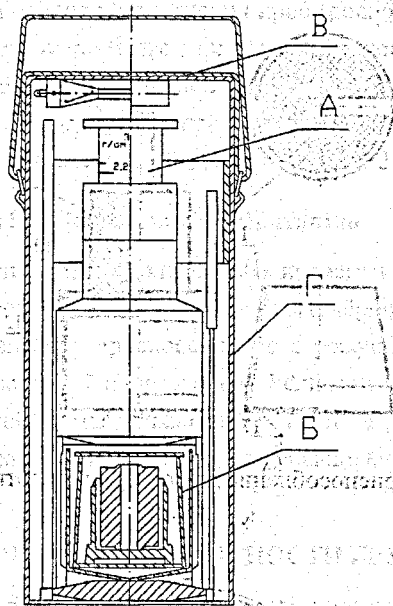


Рис. 4. Плотномер-влажномер Ковалева Н.П.

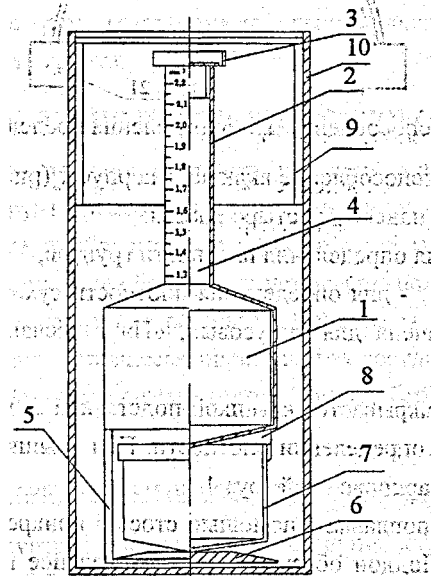


Рис. 5. Поплавковое приспособление

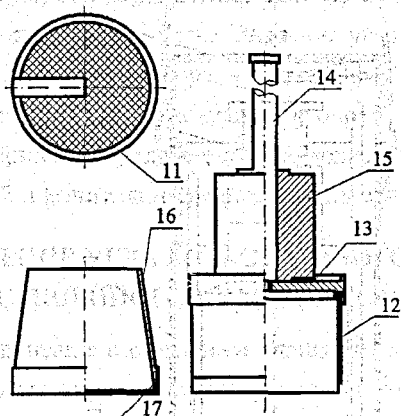


Рис. 6. Приспособление для отбора и уплотнения проб

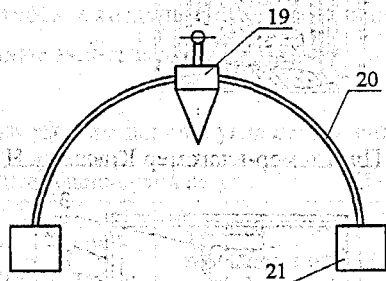


Рис. 7. Приспособление для определения предела текучести.

Поплавковое приспособление включает корпус 1 (рис. 5), с прикрепленной трубкой 2. На трубке нанесены четыре шкалы:

- шкала " Δ " – для определения плотности грунтов;
- три шкалы " δ " - для определения плотности сухих грунтов, из которых шкала «Ч» предназначена для гумусовых, «П» - песчаных, «Г» - глинистых грунтов.

Сверху трубка закрывается крышкой-подставкой 3, на которую помещается проба грунта при определении плотности. Под крышкой-подставкой внутри трубки 2 находится тарировочный груз 4.

К низу корпуса поплавок с помощью стоек 5 прикреплен поддон 6, имеющий форму диска. Поддон обеспечивает вертикальное положение поплавка и служит для установки сосуда 7 при определении плотности. Для обеспечения поступления воды и выхода воздуха служит щель, для чего на дне корпуса поплавок закреплены три уголка 8.

11. Приспособление для отбора и уплотнения проб (рис. 6) состоит из режущего цилиндра 12 и ударника, состоящего из пяты 13, стержня 14 и гири 15. Сюда же относится сосуд 16 для уплотнения проб с разъемным дном 17.

Приспособление для определения предела текучести (рис. 7) состоит из конуса 19, к которому крепится скоба 20 с двумя грузами 21.

## 11.2. Подготовка к испытанию

Перед началом работы прибор должен быть проверен. Для этого в резервуар 9 (рис. 5) наливается вода до уровня, отмеченного черной круговой чертой, и в воду опускается поплавок с режущим цилиндром 12 на крышке-подставке 3 и сосудом 7 на поддоне 6. Если поплавок погрузится до нижней черты начала шкал "Δ" и "Ч", то прибором можно пользоваться. В противном случае необходимо уравнивать тарировочным грузом.

## 11.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА

На выровненную площадку ставится режущий цилиндр и производится отбор пробы грунта методом режущего кольца. После отбора образца грунта в резервуар, до отмеченного чертой уровня, наливается вода и в нее опускается поплавок. Затем кольцо с грунтом ставится на крышку-подставку. По шкале "Δ" берется отсчет плотности грунта.

## 11.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СУХОГО ГРУНТА

После определения плотности грунта режущий цилиндр снимается с крышки-подставки и грунт с помощью ножа из цилиндра переносится в сосуд. В сосуд наливается вода, приблизительно 3/4 его объема, и грунт размешивают. Затем сосуд с перемешанной пробой грунта устанавливают на поддон и поплавок погружается в воду, налитую в резервуар. Вода через зазор между поплавком и сосудом заполняет оставшееся пространство сосуда. По шкале "Ч", "П" или "Г", соответственно типу испытываемого грунта, берут отсчет плотности сухого грунта.

## 11.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Зная плотность грунта и плотность сухого грунта, его влажность определяют по формуле:

$$W = \left( \frac{\rho}{\rho_d} - 1 \right) \cdot 100, \%$$

## 11.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Для определения максимальной плотности и оптимальной влажности грунтов на выровненной площадке ставят режущий цилиндр, который задавливают в грунт либо погружают с помощью ударника. Затем режущий цилиндр с грунтом откапывают и снова ставят на площадку, и принятым числом ударов гири грунту придается стандартное уплотнение.

Чтобы достигнуть требуемого стандартного уплотнения необходимо сделать гирей массой 0,5 кг, падающей с высоты 30 см, следующее количество ударов:

- для песков и супесей - 38;
- для суглинков - 60;
- для глин - 75.

После стандартного уплотнения определяют плотность и влажность грунта вышеописанным методом.

Результаты записывают в таблицу 13.

Таблица 13

Результаты определения оптимальной влажности и максимальной плотности

| № пробы | Точка отбора пробы | Наименование грунта     | № увлажнения                 | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup> | Влажность, % | Примечание   |
|---------|--------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--------------|--|
| 1       | 2                  | 3                       | 4                            | 5                            | 6  | 7            | 8  |
| 15      | Дорога № ЗПК 7+26  | Песок средней крупности | Естеств.<br>1<br>2<br>3<br>4 |                              |  |              | Максимальную плотность и оптимальную влажность подчеркнуть |

После этого грунт в объеме лунки (8x8x8) см взрыхляют и в него добавляют воду в объеме 15 см<sup>3</sup>. Порцию воды отмеряют с помощью совка. Грунт с водой тщательно перемешивают, поверхность его разравнивают и слегка уплотняют. После этого грунту придают стандартное уплотнение, определяют плотность и влажность, и записывают во второй строке таблицы. Циклы определения плотности и влажности повторяют для каждого возрастающего увлажнения (на 15 см<sup>3</sup> каждый раз) до тех пор, пока плотность грунта не достигнет максимума. Затем, по полученным данным строят график  $\rho_d = f(w)$  (рис. 8).

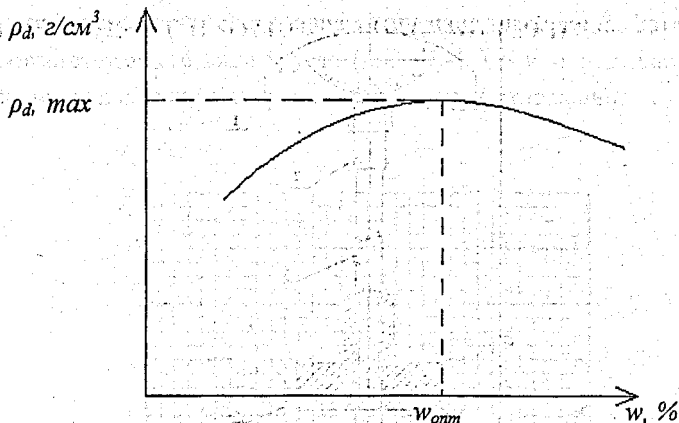


Рис. 8. Изменение плотности сухого грунта от его влажности

Максимальному значению  $\rho_d$  на графике соответствует оптимальное значение влажности  $w_{опт}$ .

## 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО ПЛОТНОМЕРА

Статический плотномер СПГ-1 предназначен для оперативного контроля качества уплотнения грунтов земляного полотна, оснований автомобильных дорог и прочих земляных сооружений оцениваемого коэффициентом уплотнения  $K_{упл}$ . Применение данного прибора допускается на любых грунтах. При использовании плотномера для текущего и приемочного контроля плотности грунта не менее 10% измерений из общего количества необходимо проводить стандартным весовым методом с отбором проб грунта кольцами.

Коэффициентом уплотнения  $K_{упл}$  называют отношение плотности сухого грунта в естественном состоянии к его максимальной плотности, полученному при стандартном уплотнении.

Коэффициент уплотнения грунтов для целей строительства изменяется от 0,88 до 0,98.

### 12.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний

Плотномер СПГ-1 состоит (рис. 9) из силоизмерительного устройства 1 с крепежной гайкой 2, в которую завинчивается переходный стержень 3 с ограничительной муфтой 4, рабочего стержня 5 и двух сменных наконечников — конуса 6 и усеченного конуса 7. Запасная шайба служит ограничителем для усеченного конуса 7. Перед началом работы элементы плотномера прочно свинчивают в соответствии с рисунком.

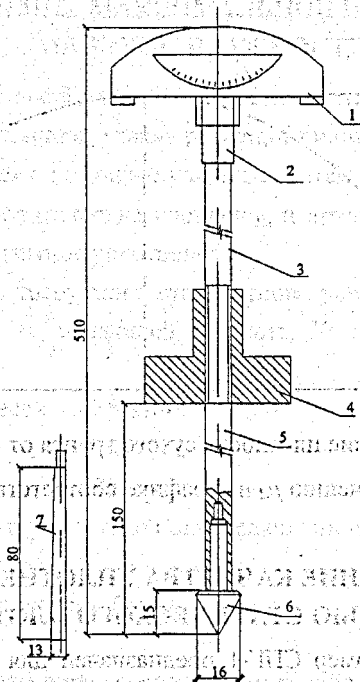


Рис. 9. Статический плотномер СПГ-1

В зависимости от установленного вида грунта при сборе плотномера используется конус (песчаные грунты) или усеченный конус (пылевато-глинистые грунты) с шайбой, подложенной под его основание, при завинчивании в рабочий стержень.

## 12.2. Проведение испытаний

На выбранной площадке снимают верхний переуплотненный или разрыхленный слой (если производится отсыпка сооружения) на глубину 3-5 см, основание выравнивают и зачищают.

Фиксирующую кнопку, расположенную на тыльной части силоизмерительного устройства, сдвигают налево от 0. Рабочий стержень ставят вертикально к измеряемой поверхности и нажимом на рукоять динамометра погружают наконечник в грунт до упора ограничительной муфты (или шайбы — при усеченном конусе) в поверхность грунта. Со шкалы силоизмерительного устройства снимают показание и записывают в журнал. Пенетрацию повторяют в каждом месте 3-5 раз, при этом расстояние между точками измерения должно быть не менее 12-15 см. Перед каждым последующим замером показание стрелки сбрасывают перемещением фиксирующей кнопки на 0. За расчетную вели-

чину усилия принимают среднеарифметическое значение  $P_c$ . Затем по графикам для соответствующего вида грунта (рис. 10-15) и  $w$  определяют коэффициент уплотнения для песчаных и пылеватоглинистых отложений.

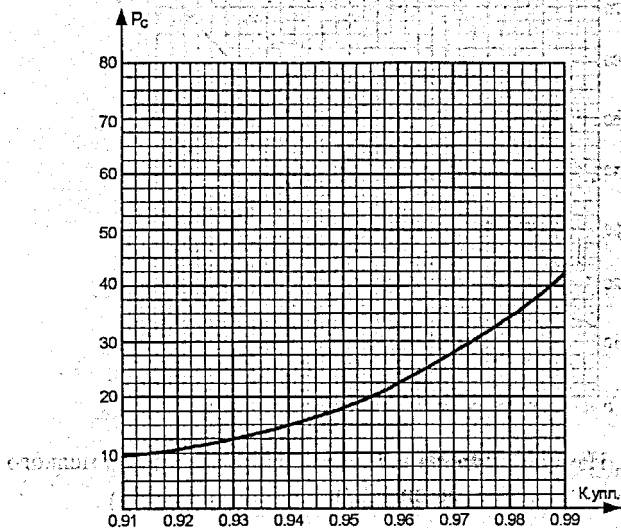


Рис. 10. Изменение коэффициента уплотнения крупного песка в зависимости от значения  $P_c$  ( $w=5...9\%$ )

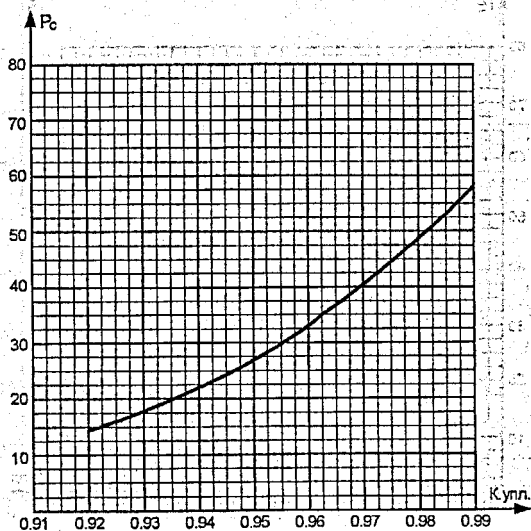


Рис. 11. Изменение коэффициента уплотнения песка средней крупности в зависимости от значения  $P_c$  ( $w=7...10\%$ )

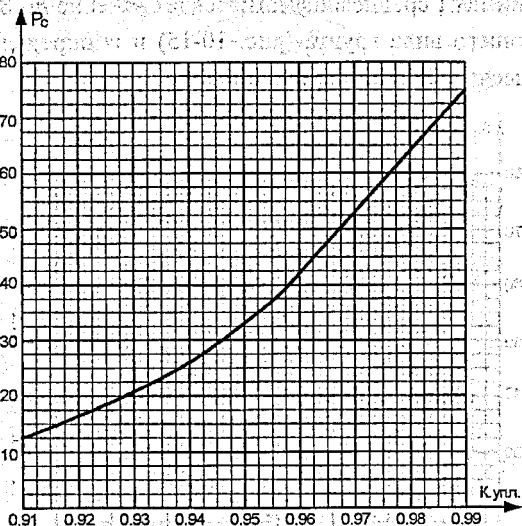


Рис. 12. Изменение коэффициента уплотнения песка мелкого в зависимости от значения  $P_c$  ( $w=10...12\%$ )

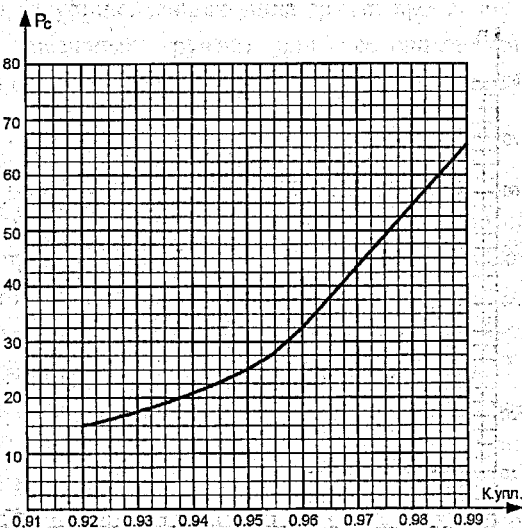


Рис. 13. Изменение коэффициента уплотнения песка пылеватого в зависимости от значения  $P_c$  ( $w=12...15\%$ )



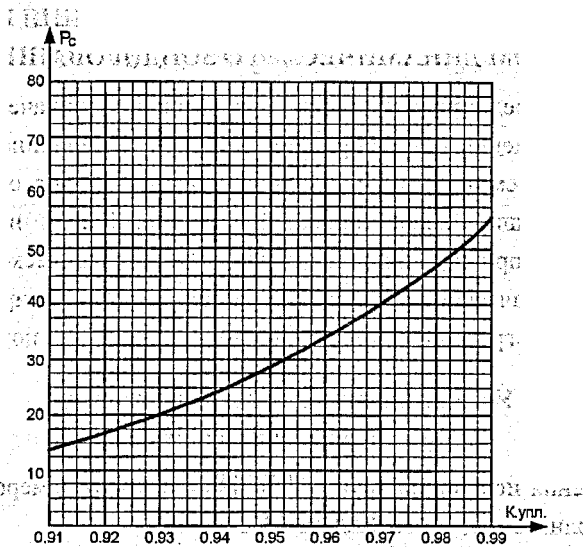


Рис. 14. Изменение коэффициента уплотнения супеси в зависимости от значения  $P_c$  ( $w=14\% \dots 17,8\%$ )

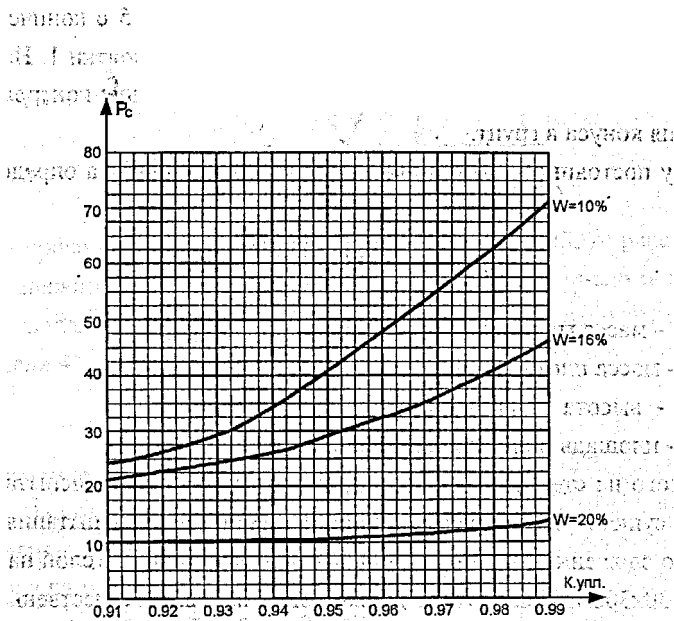


Рис. 15. Изменение коэффициента уплотнения суглинка в зависимости от значения  $P_c$

### 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Данный метод предназначен для оперативного контроля качества уплотнения земляных сооружений без отбора образцов грунта. Величина  $P_g$  является косвенным показателем плотности грунтов, которую следует определять по номограммам, имеющим корреляционный характер. Этими номограммами можно пользоваться при строительстве дорог III и IV технической категории. Для дорог I и II технической категории необходимо строить тарифовочные графики для конкретных грунтов, из которых возводится земляное полотно.

#### 13.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний

Для проведения испытаний грунта динамическим плотномером необходимо вначале выполнить подготовительные работы:

- разбраться с устройством прибора;
- определить постоянный коэффициент для данного прибора;
- подготовить места испытаний на строительной площадке.

Динамический плотномер (рис.16) состоит из стержня 5 с коническим наконечником 6, направляющей 3, гири 2, наковальни 4 и рукоятки 1. На поверхности стержня через 10 см нанесены две риски, служащие для контроля глубины погружения конуса в грунт.

Величину постоянного коэффициента для данного прибора определяют по формуле:

$$K = \frac{(Q + 0.314q) \cdot QH}{(Q + q)S}$$

где  $Q$  - 2,5 кг - масса груза;

$q$  - 1,2 кг - масса плотномера;

$H$  = 30 см - высота падения груза;

$S$  = 2 см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения.

После этого на строительной площадке готовят места для испытаний с их привязкой к существующим координатам. Если проводят испытания грунтов естественного сложения, то снимают полностью растительный слой на площадке размером 30x30см. При этом не должна быть нарушена естественная структура грунта. При проведении испытаний насыпного грунта - снимают рыхлый, либо переуплотненный верхний слой (15..20см) зачищают, и выравнивают площадки размером 20x20см.

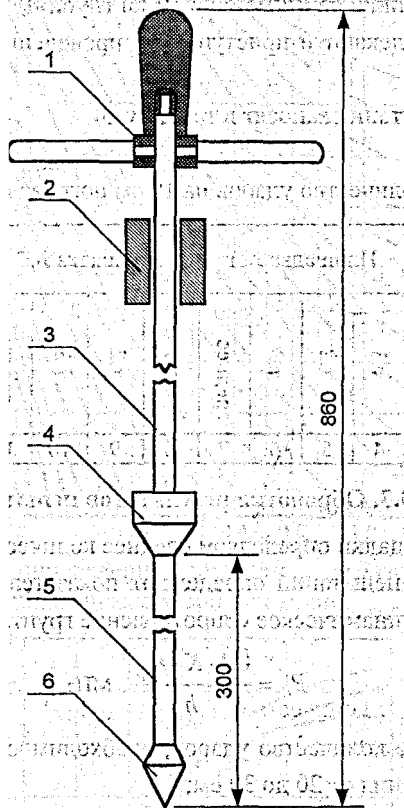


Рис. 16. Динамический плотномер

Если проводится несколько параллельных испытаний, то расстояние между точками должно быть не менее 120 см. Например, если число испытаний 3, то точки располагают по вершинам равностороннего треугольника со стороной 120 см, если 4 — то квадрата со стороной 120 см и т.д.

### 13.2. Проведение испытаний

Испытание с помощью динамического плотнера производят следующим образом. На подготовленную для испытаний площадку устанавливают прибор в вертикальном положении, держа за рукоятку. Свободной рукой поднимают груз до упора и отпускают. Груз свободно падает и ударяет по наковальне. Конус при этом углубляется в грунт, на различную глубину, в зависимости от плотности земляного полотна. Таким образом, конус погружается на глубину 30 см. При этом фиксируют количество ударов, необходимое для погружения

конического наконечника на последние 10 см глубины. После этого с помощью рукоятки прибор извлекают и приступают к проведению испытаний в следующей точке.

Результаты испытаний заносят в таблицу 14.

Таблица 14

Количество ударов на 10 см погружения конуса

| Точка проведения испытаний | Глубина испытаний, м | Наименование объекта | Площадка №1 |     |     |         | Площадка №2 |     |     |         | Площадка №3 |     |     |         |
|----------------------------|----------------------|----------------------|-------------|-----|-----|---------|-------------|-----|-----|---------|-------------|-----|-----|---------|
|                            |                      |                      | т.1         | т.2 | т.3 | среднее | т.1         | т.2 | т.3 | среднее | т.1         | т.2 | т.3 | Среднее |
| 1                          | 2                    | 3                    | 4           | 5   | 6   | 7       | 8           | 9   | 10  | 11      | 12          | 13  | 14  | 15      |
|                            |                      |                      |             |     |     |         |             |     |     |         |             |     |     |         |

### 13.3. Обработка результатов испытаний

Для каждой площадки определяем среднее количество ударов  $n_{cp}$ .

По результатам испытаний определяют показатель динамического зондирования – условное динамическое сопротивление грунта  $P_{\delta}$  по формуле:

$$P_{\delta} = \frac{0.1 \cdot K \cdot n_{cp}}{h}, \text{ МПа,}$$

где  $n_{cp}$  – среднее количество ударов, необходимое для погружения конуса на участке зондирования от 20 до 30 см,

$h$  – глубина погружения конуса, соответствующая числу ударов  $n_{cp}$ , см. Для данного случая  $h=10$  см.

Затем, по номограммам (рис. 17-18) определяют плотность сухого грунта, коэффициент уплотнения песчаных грунтов для свежетысанных насыпей и насыпей, возраст которых превышает 1 месяц. По приложению 5 табл. 10-11 определяют модуль деформации грунта и угол внутреннего трения.

Величину  $d_{60}$  – диаметр частиц, соответствующий ординате 60% на суммирующей кривой гранулометрического состава берут по графику (рис.2).

## 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УПЛОТНЕНИЯ

### ГРУНТА МЕТОДОМ ПЕНЕТРАЦИИ

Метод пенетрации грунта позволяет произвести оперативный контроль уплотнения земляного полотна. С помощью прибора плотномера-пенетрометра можно определять коэффициент уплотнения песчаных и пылевато-глинистых грунтов. Величина  $R_0$  – удельное напряжение сдвига является косвенным показателем плотности грунтов, которую определяют по номограммам.

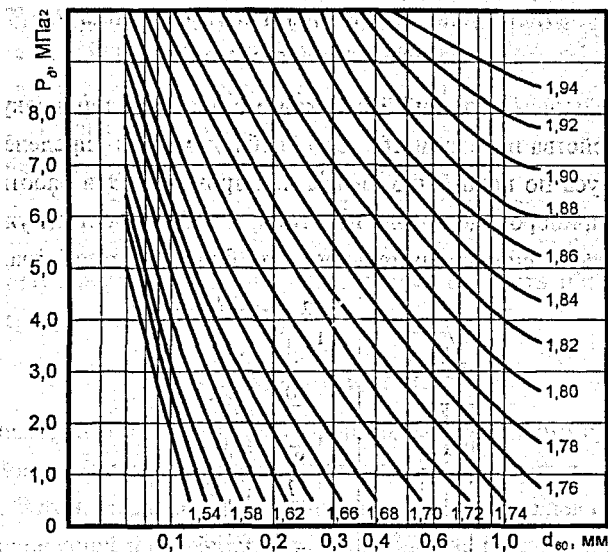


Рис. 17. Номограмма для определения плотности сухого грунта по результатам динамического зондирования.

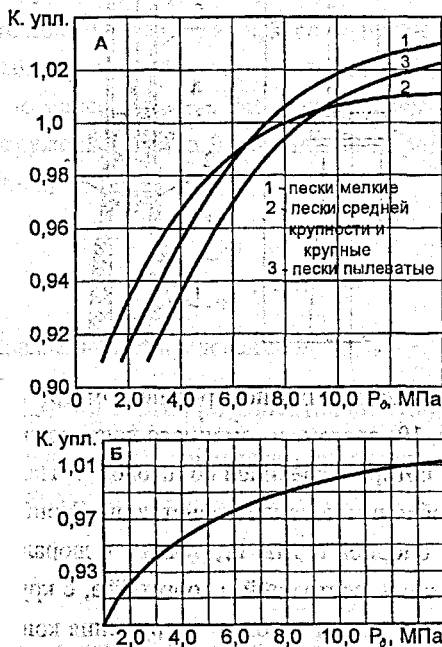


Рис. 18. Номограммы для определения коэффициента уплотнения песчаных грунтов по результатам динамического зондирования: А — для свежесыпанных насыпей; Б — для насыпей, возраст которых более 1 месяца

#### 14.1. Устройство прибора и его подготовка к проведению испытаний

Перед проведением испытаний необходимо провести тарировку силоизмерительного устройства пенетromетра. Это необходимо для определения усилия вдавливания конуса по показанию шкалы пенетromетра. Эти работы выполняются с каждым прибором до начала практики, и каждой бригаде уже выдается тарировочный график силоизмерительного устройства пенетromетра.

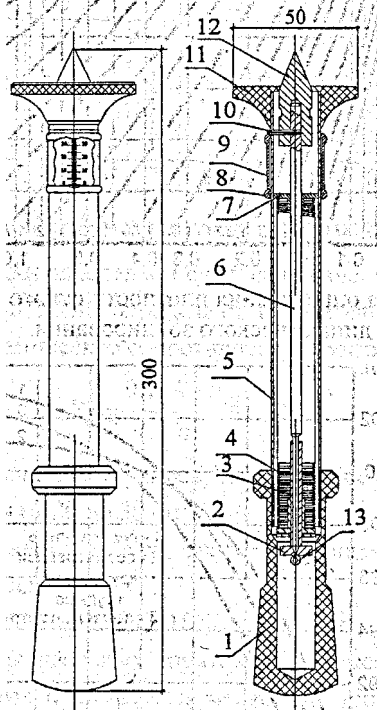


Рис. 19. Плотномер-пенетрометр

Пенетрометр (рис. 19) состоит из сменного конусного наконечника 12 с углом  $30^\circ$  при вершине, который соединен со штоком 6. Надетая на шток пружина 4 обеспечивает необходимое усилие пенетрации. Прибор собран в корпусе, состоящем из круглой опорной плиты 11, ручки 1 и дюралюминиевой трубки 5. Цилиндрический движок 9, состоящий из оргстекла, с круговой черной риской и кольцом 7, обеспечивает отсчет глубины погружения конуса в грунт по шкале, нанесенной на наружной поверхности корпуса. В начальном положении риска на движке совпадает с конечным делением шкалы. При погружении конуса в грунт шпилька 10 смещает движок 9 на соответствующее расстояние.

Сила натяжения пружины регулируется устройством, состоящим из нажимного винта 2, гайки 3 и втулки 8, которая установлена в проточке корпуса 5. Пружина 4 прикреплена к хвостовикам гайки 3 и втулки 8. Шток 6 в нажимной винт 2 упирается конической заточкой.

Такая конструкция прибора позволяет легко регулировать начальное натяжение пружины, что обеспечивает возможность использования микропенетromетра как для весьма рыхлых песков, так и для значительно переуплотненных глин. Перед проведением испытаний необходимо отобрать пробы грунта для определения гранулометрического состава грунта.

#### 14.2. Проведение испытаний

Испытания грунта пенетрометром производят следующим образом. Проверяют положение риски на движке, которая должна совпадать с конечным делением шкалы. Затем, надавливая на ручку пенетromетра, вдавливают конус в грунт (на выровненной поверхности) до установления равновесия между внешней нагрузкой и силами реактивного сопротивления грунта по боковой поверхности конуса. При погружении конуса в грунт шпилька смещает движок на соответствующее расстояние. С помощью круговой риски снимают отсчет погружения конуса по миллиметровой шкале. Количество определений на каждом уровне должно быть не менее четырех. Расстояние между точками – 10 см. За искомую глубину погружения конуса  $h_{cp}$  принимают среднее арифметическое из измеренных величин  $h_i$ :

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \text{ мм,}$$

где  $n$  – количество параллельных определений  $h_i$ .

#### 14.3. Обработка результатов опытов

По измеренной величине  $h_{cp}$  определяют численную характеристику сопротивления породы пенетрации – условное напряжение сдвига  $R_0$ :

$$R_0 = \alpha \frac{P_M - Kh_{cp}}{h_{cp}}, \text{ Кпа,}$$

где  $\alpha = 1,11$  – постоянная величина для конуса с углом при вершине  $30^\circ$ ;

$P_M$  – максимальная нагрузка на конус при наибольшем растяжении (принимается по результатам тарировки);

Постоянный параметр пружины  $K$  определяют по результатам тарировки по формуле:

$$K = \frac{q_2 - q_1}{H}$$

где  $q_1$  – вес разновесов в чашке до момента начала растяжения пружины;  
 $q_2$  – вес разновесов в чашке после смещения движка на величину  $H$ .  
 Зная величину  $R_0$ , определяют плотность песчаного грунта по графику (рис. 20).

По полученному значению условного напряжения сдвига и данных гранулометрического состава определяют по номограммам коэффициент уплотнения (рис. 21, 22).

Далее производят качественную оценку изменчивости состояния и свойств грунта путём сопоставления величин условного предельного напряжения сдвига (рис. 23).

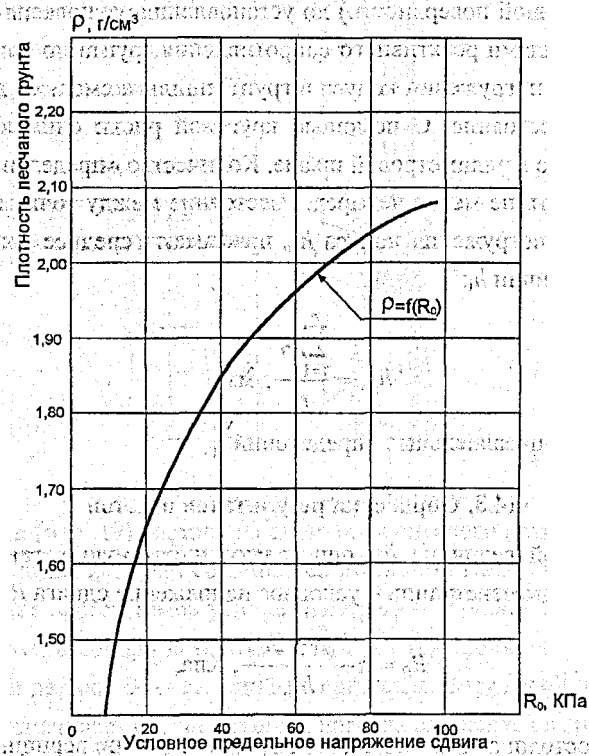
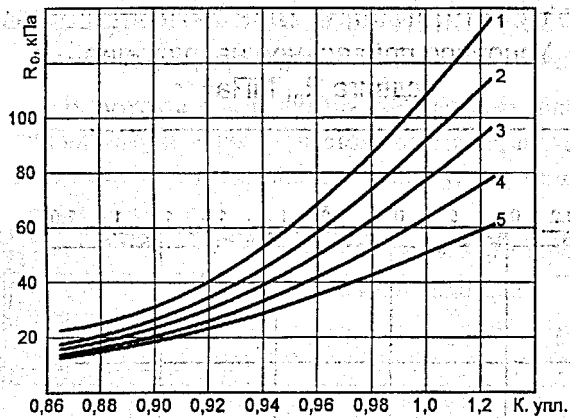


Рис. 20. Изменение плотности песчаных грунтов от условного напряжения сдвига  $R_0$





1-4 – пески средней крупности

с  $u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  соответственно равным 4,0; 3,5; 3,0; 2,5;

5 – пески крупные с  $u = 2$ ;

$d_{60}, d_{10}$  – диаметр частиц, соответствующих ординатам 60% и 10% (рис. 2).

Рис. 21. Номограмма для определения коэффициента уплотнения песчаных грунтов средней крупности и крупных по результатам пенетрационных испытаний

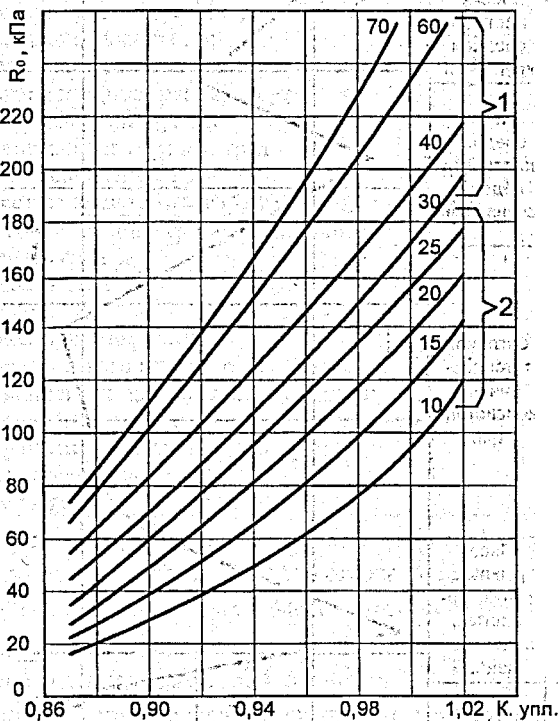


Рис. 22. Номограмма для определения коэффициента уплотнения пылеватых (1) и мелких (2) песков по результатам пенетрационных испытаний (цифры на кривых – процентное содержание частиц, прошедших через сито диаметром 0,1мм)

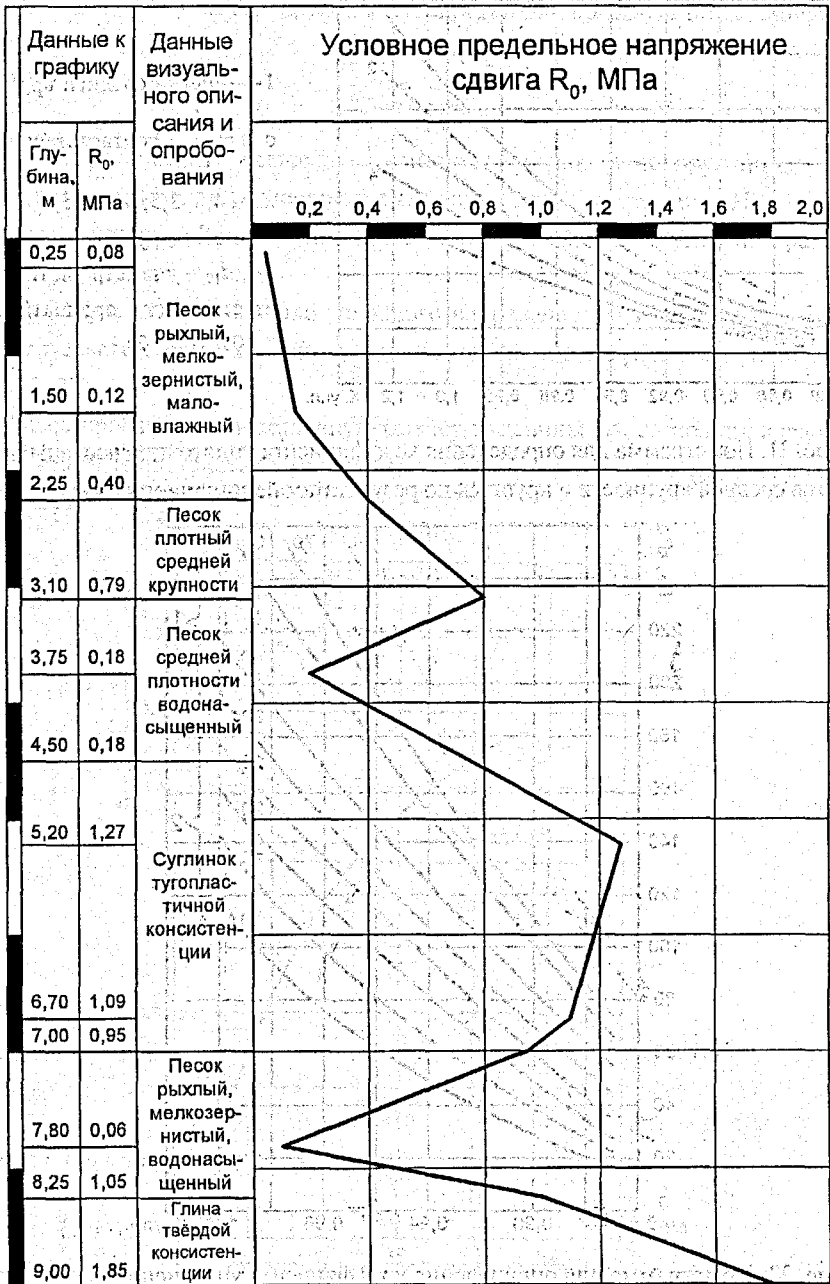


Рис. 23. Изменение условного напряжения сдвига с глубиной

## 15. СОСТАВЛЕНИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

### об инженерно-геологических условиях основания дороги

В результате выполнения комплексных инженерно-геологических изысканий на участке дороги (участок дороги, ограниченный пикетами) получены физико-механические характеристики грунтов, приведенные в таблице 15.

Таблица 15

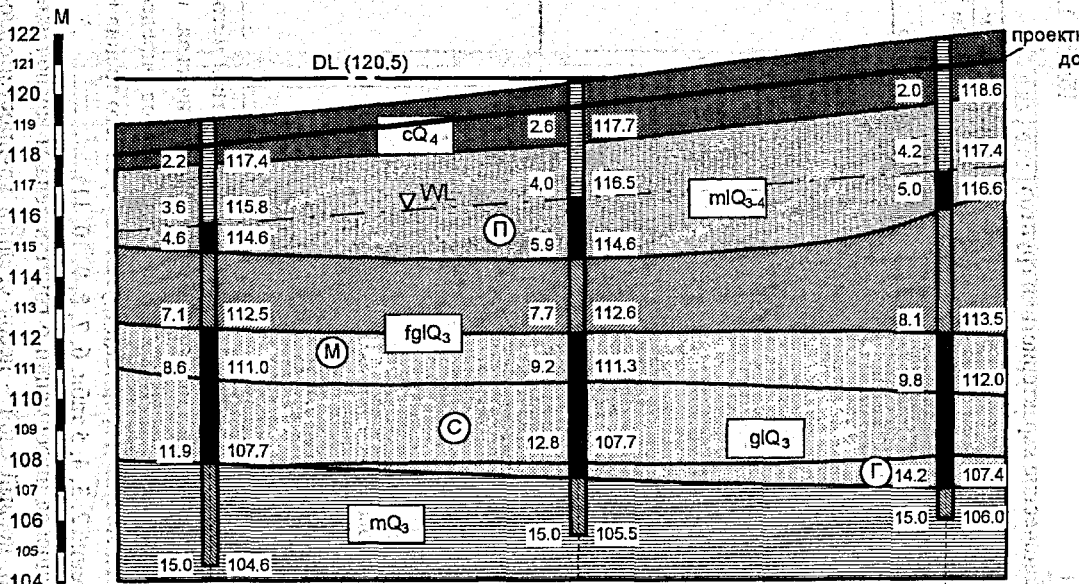
Физико-механические характеристики грунтов

| Виды испытаний | Наименование показателей  | Глубина отбора проб, м |      |      |
|----------------|---|------------------------|------|------|
|                |   | 0,2м                   | 0,7м | 1,2м |
| 1              | 2   | 3                      | 4    | 5    |
| лабораторные   | Наименование грунта, однородн.<br>мощность слоя, м<br>плотность, г/см <sup>3</sup><br>плотность частиц, г/см <sup>3</sup><br>влажность, %<br>плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup><br>коэффициент пористости<br>степень влажности<br>коэффициент фильтрации, м/сут<br>модуль деформации, МПа<br>угол внутреннего трения, град<br>удельное сцепление, КПа<br>угол естественного откоса, град. |                        |      |      |
| полевые        | Наименование грунта (визуально)<br>мощность слоя, м<br>плотность, г/см <sup>3</sup><br>влажность, %<br>плотность частиц, г/см <sup>3</sup><br>плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup><br>коэффициент уплотнения (статич. плотн)<br>коэффициент уплотнения (динамич. зондир)<br>коэффициент уплотнения (пенетрация)<br>модуль деформации, МПа<br>угол внутреннего трения, град.                 |                        |      |      |

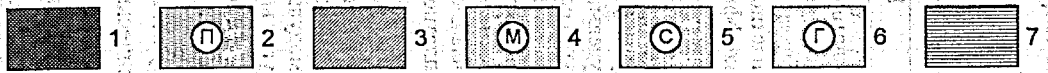
Если в таблице имеются показатели, которые определены различными методами, то их записывают через дробь. Глубина отбора проб ставится фактическая.

По полученным характеристикам физического состояния грунтов определяют механические параметры: модуль деформации, угол внутреннего трения и удельное сцепление (приложение 2, 3, 4, 5 табл. 6, 7, 8, 9, 10, 11).

На основании всей имеющейся информации о грунтах делают заключение по каждому слою (например, первый слой – песок средней крупности, однородный, средней плотности, маловлажный). Затем по имеющимся данным строят инженерно-геологический разрез (рис. 24). На инженерно-геологический разрез наносят проектную линию автодороги.



|                       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|
| № скважины            | 2     | 3     |
| Абс. отметка устья, м | 119.6 | 121.5 |
| Расстояние, м         | 40.0  | 40.0  |



1 - насыпной грунт, песок со строительным мусором, маловлажный; 2 - песок светложелтый, пылеватый, средней плотности, выше-влажный, ниже - насыщенный водой; 3 - суглинок серый, мягкопластичный; 4 - песок буровато-серый, мелкий, средней плотности, насыщенный водой; 5 - песок светло-серый, средней крупности, плотный, насыщенный водой; 6 - песок серый, гравелистый, плотный, насыщенный водой; 7 - глина коричневая, тугопластичная.

Рис. 24. Инженерно-геологический разрез

Таблица 1  
Классификация песчаных грунтов по гранулометрическому составу

| Грунт             | Размер частиц, мм | Масса частиц, % от массы воздушно-сухого грунта |
|-------------------|-------------------|---|
| Гравелистый       | >2                | >25   |
| Крупный           | >0,5              | >50   |
| Средней крупности | >0,25             | >50   |
| Мелкий            | >0,1              | ≥75   |
| Пылеватый         | >0,1              | <75   |

Примечание: наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке их расположения в таблице

Таблица 2  
Подразделение пылевато-глинистых грунтов по числу пластичности

| Грунт    | Число пластичности, % |
|----------|-----------------------|
| Супесь   | $1 \leq J_p \leq 7$   |
| Суглинок | $7 < J_p \leq 17$     |
| Глина    | $J_p > 17$            |

Таблица 3  
Подразделение песчаных грунтов по плотности сложения

| Песок                                    | Значение коэффициента пористости |                         |            |
|--|----------------------------------|-------------------------|------------|
|  | плотные                          | средней плотности       | рыхлые     |
| Гравелистый, крупный и средней крупности | $e < 0,55$                       | $0,55 \leq e \leq 0,7$  | $e > 0,70$ |
| Мелкий                                   | $e < 0,6$                        | $0,60 \leq e \leq 0,75$ | $e > 0,75$ |
| Пылеватый                                | $e < 0,6$                        | $0,60 \leq e \leq 0,8$  | $e > 0,8$  |

Таблица 4  
Подразделение песчаных грунтов по степени влажности

| Грунт            | Степень влажности    |
|------------------|----------------------|
| Маловлажный      | $0 < S_r \leq 0,5$   |
| Влажный          | $0,5 < S_r \leq 0,8$ |
| Насыщенный водой | $0,8 < S_r \leq 1,0$ |

Таблица 5

Подразделение пылевато-глинистых грунтов по показателю текучести

| Грунт             | Показатель текучести   |
|-------------------|------------------------|
| Супесь:           |                        |
| твердая           | $I_L < 0$              |
| пластичная        | $0 \leq I_L \leq 1,0$  |
| текучая           | $I_L > 1,0$            |
| Суглинок и глина: |                        |
| твердые           | $I_L < 0$              |
| полутвердые       | $0 \leq I_L \leq 0,25$ |
| тугопластичные    | $0,25 < I_L \leq 0,5$  |
| мягкопластичные   | $0,5 < I_L \leq 0,75$  |
| текучепластичные  | $0,75 < I_L \leq 1,0$  |
| текучие           | $I_L > 1,0$            |

Таблица 6

Нормативные значения модулей деформации песчаных грунтов

| Песок                                    | Значения $E$ , МПа при коэффициенте пористости $e$ |      |      |      |
|--|--|------|------|------|
|  | 0,45   | 0,55 | 0,65 | 0,75 |
| Гравелистый, крупный и средней крупности | 50   | 40   | 30   |      |
| Мелкий                                   | 48   | 38   | 28   | 18   |
| Пылеватый                                | 39   | 28   | 18   | 11   |

Таблица 7

Нормативные значения модулей деформации  $E$  пылевато-глинистых грунтов

| Возраст и происхождение грунтов  | Грунт             | Показатель текущей части | Значение $E$ , МПа при коэффициенте пористости $e$ |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |
|--|-------------------|--------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
|  |                   |                          | 0,35   | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1,05 | 1,2 | 1,4 | 1,6 |
| Четвертичные отложения:<br>аллювиальные,<br>делювиальные,<br>озёрно-аллювиальные | Супесь            | $0 \leq I_L \leq 0,75$   | -  | 32   | 24   | 16   | 10   | 7    | -    | -    | -   | -   | -   |
|  | Суглинок          | $0 \leq I_L \leq 0,25$   | -  | 34   | 27   | 22   | 17   | 14   | 11   | -    | -   | -   | -   |
|  |                   | $0,25 < I_L \leq 0,5$    | -  | 32   | 25   | 19   | 14   | 11   | 8    | -    | -   | -   | -   |
|  |                   | $0,5 < I_L \leq 0,75$    | -  | -    | -    | 17   | 12   | 8    | 6    | 5    | -   | -   | -   |
|  | Глина             | $0 \leq I_L \leq 0,25$   | -  | -    | 28   | 24   | 21   | 18   | 15   | 12   | -   | -   | -   |
|  |                   | $0,25 < I_L \leq 0,5$    | -  | -    | -    | 21   | 18   | 15   | 12   | 9    | -   | -   | -   |
| $0,5 < I_L \leq 0,75$  |                   | -                        | -  | -    | -    | 15   | 12   | 9    | 7    | -    | -   | -   |     |
| флювиогляциальные  | Супесь            | $0 \leq I_L \leq 0,75$   | -  | 33   | 24   | 17   | 11   | 7    | -    | -    | -   | -   |     |
|  | Суглинок          | $0 \leq I_L \leq 0,25$   | -  | 40   | 33   | 27   | 21   | -    | -    | -    | -   | -   |     |
|  |                   | $0,25 < I_L \leq 0,5$    | -  | 35   | 28   | 22   | 17   | 14   | -    | -    | -   | -   |     |
|  |                   | $0,5 < I_L \leq 0,75$    | -  | -    | -    | 17   | 13   | 10   | 7    | -    | -   | -   |     |
| моренные   | Супесь и суглинок | $I_L \leq 0,5$           | 75   | 55   | 45   | -    | -    | -    | -    | -    | -   | -   |     |
| Юрские отложения оксфордского яруса  | Глина             | $-0,625 \leq I_L \leq 0$ | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 27   | 25   | 22  | -   |     |
|  |                   | $0 < I_L \leq 0,25$      | -  | -    | -    | -    | -    | -    | 24   | 22   | 19  | 15  |     |
|  |                   | $0,25 < I_L \leq 0,5$    | -  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 16  | 12  | 10  |

Примечание: Значения  $E$  не распространяются на лессовые грунты.

Таблица 8

Нормативные значения удельных сцеплений  $c$ , КПа и углов внутреннего трения  $\varphi$ , град. песчаных грунтов.

| Песок                 | Характеристика | Значение $c$ и $\varphi$ при коэффициенте пористости $e$ |      |      |      |
|-----------------------|----------------|--|------|------|------|
|                       |                | 0,45   | 0,55 | 0,65 | 0,75 |
| Гравелистый и крупный | $c$            | 2  | 1    | 0    | -    |
|                       | $\varphi$      | 43   | 40   | 38   | -    |
| Средней крупности     | $c$            | 3  | 2    | 1    | -    |
|                       | $\varphi$      | 40   | 38   | 35   | -    |
| Мелкий                | $c$            | 6  | 4    | 2    | 0    |
|                       | $\varphi$      | 38   | 36   | 32   | 28   |
| Пылеватый             | $c$            | 8  | 6    | 4    | 2    |
|                       | $\varphi$      | 36   | 34   | 30   | 26   |

Таблица 9

Нормативные значения удельных сцеплений  $c$ , КПа и углов внутреннего трения  $\varphi$ , град. пылеватоглинистых грунтов четверичных отложений.

| Грунт    | Показатель текучести   | Характеристика | Значение $c$ и $\varphi$ при коэффициенте пористости $e$ |      |      |      |      |      |      |
|----------|------------------------|----------------|--|------|------|------|------|------|------|
|          |                        |                | 0,45   | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1,05 |
| Супесь   | $0 \leq I_L \leq 0,25$ | $c$            | 21   | 17   | 15   | 13   | -    | -    | -    |
|          |                        | $\varphi$      | 30   | 29   | 27   | 24   | -    | -    | -    |
|          | $0,25 < I_L \leq 0,75$ | $c$            | 19   | 15   | 13   | 11   | 9    | -    | -    |
|          |                        | $\varphi$      | 28   | 26   | 24   | 21   | 18   | -    | -    |
| Суглинок | $0 \leq I_L \leq 0,25$ | $c$            | 47   | 37   | 31   | 25   | 22   | 19   | -    |
|          |                        | $\varphi$      | 26   | 25   | 24   | 23   | 22   | 20   | -    |
|          | $0,25 < I_L \leq 0,5$  | $c$            | 39   | 34   | 28   | 23   | 18   | 15   | -    |
|          |                        | $\varphi$      | 24   | 23   | 22   | 21   | 19   | 17   | -    |
|          | $0,5 < I_L \leq 0,75$  | $c$            | -  | -    | 25   | 20   | 16   | 14   | 12   |
|          |                        | $\varphi$      | -  | -    | 19   | 18   | 16   | 14   | 12   |
| Глина    | $0 \leq I_L \leq 0,25$ | $c$            | -  | 81   | 68   | 54   | 47   | 41   | 36   |
|          |                        | $\varphi$      | -  | 21   | 20   | 19   | 18   | 16   | 14   |
|          | $0,25 < I_L \leq 0,5$  | $c$            | -  | -    | 57   | 50   | 43   | 37   | 32   |
|          |                        | $\varphi$      | -  | -    | 18   | 17   | 16   | 14   | 11   |
|          | $0,5 < I_L \leq 0,75$  | $c$            | -  | -    | 45   | 41   | 36   | 33   | 29   |
|          |                        | $\varphi$      | -  | -    | 15   | 14   | 12   | 10   | 7    |



Таблица 10

Значения модуля деформации песчаных грунтов при изменении  $P_0$

| Грунт                             | Значение $E$ при $P_0$ , МПа |       |       |       |       |
|-----------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                   | 2                            | 3,5   | 7     | 11    | 14    |
| Пески крупные и средней крупности | 20-16                        | 26-21 | 39-34 | 49-44 | 55-50 |
| Пески мелкие                      | 13                           | 19    | 29    | 35    | 40    |
| Пылеватые                         | 8                            | 13    | 22    | 28    | 32    |

Таблица 11

Значение  $\phi$  по данным  $P_0$

| Грунт                             | Значение $\phi$ при $P_0$ , МПа |     |    |    |    |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----|----|----|----|
|                                   | 2                               | 3,5 | 7  | 11 | 14 |
| Пески крупные и средней крупности | 30                              | 33  | 36 | 38 | 40 |
| Пески мелкие                      | 28                              | 30  | 33 | 35 | 37 |
| Пылеватые                         | 26                              | 28  | 30 | 32 | 34 |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт института. Оформление материалов курсовых и дипломных проектов (работ), отчетов по практике. Общие требования и правила оформления. СТ-БПИ-01-98. Брест, 1998 г. – 32с.
2. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М.: Недра, 1975. – 302с.
3. Стандарт Республики Беларусь. Грунты. Классификация. СТБ 943-94. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 1995 г.
4. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общ. ред. Е.А. Сорочана. – М.: Стройиздат, 1985. – 479с.
5. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1986. – 415с.

# УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составитель Демина Галина Петровна

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*по учебно-геологической практике для студентов специальности Т.19.03*

Ответственный за выпуск Демина Г.П.  
Редактор Строкач Т.В.

Подписано к печати 4.05.2001. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. п.л. 3,5 уч. изд. 3,75. Тираж 200 экз.  
Заказ № 303. Отпечатано на ризографе  
Брестского государственного технического  
университета. 224017, Брест, Московская, 267