

**Владимирский государственный университет**

**Г. В. ПРОВАТОРОВА**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ  
ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Учебное пособие**

**Владимир 2026**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Г. В. ПРОВАТОРОВА

# ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Учебное пособие

*Электронное издание*



Владимир 2026

ISBN 978-5-9984-2214-0

© ВлГУ, 2026

УДК 625.7/8

ББК 39.311

Рецензенты:

Начальник отдела лабораторного контроля и внедрения  
новых технологий филиала ГУП «ДСУ-3» «Владимирское ДСУ»

*К. М. Рябинина*

Кандидат технических наук, доцент  
зав. кафедрой строительных конструкций

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

*М. В. Попова*

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

### **Проваторова, Г. В.**

Лабораторные испытания грунтов для дорожного строительства [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. В. Проваторова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2026. – 92 с. – ISBN 978-5-9984-2214-0. – Электрон. дан. (1,69 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Содержит основные понятия об определении грунтов, используемых в строительстве, классификацию и характеристики грунтов, методику проведения лабораторных испытаний, приборы и оборудование, нормативные источники и справочные материалы.

Предназначено для студентов направления подготовки 08.03.01 – Строительство (профиль «Автомобильные дороги»), может быть полезно обучающимся колледжей направления подготовки 08.02.12 – Строительство и эксплуатация автомобильных дорог, аэродромов и городских путей сообщения, а также студентам других строительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 39. Ил. 17. Библиогр.: 14 назв.

ISBN 978-5-9984-2214-0

© ВлГУ, 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТАХ.....	7
1.1. Определение и классификация грунтов.....	7
1.2. Лабораторные испытания грунтов .....	11
Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА.....	15
2.1. Ситовой метод .....	16
2.2. Определение степени (коэффициента) неоднородности грунтов .....	17
2.3. Полевой метод .....	20
2.3.1. Определение содержания глинистой фракции (набухание).....	20
2.3.2. Определение содержания песчаной фракции (отмучивание) .....	21
2.4. Ареометрический метод .....	23
2.5. Определение вида и состояния глинистого грунта, границ текучести и раскатывания .....	27
2.5.1. Определение естественной влажности грунта весовым методом .....	29
2.5.2. Определение гигроскопической влажности .....	30
2.5.3. Определение границы текучести и влажности на границе текучести .....	31
2.5.4. Определение границы раскатывания и влажности на границе раскатывания .....	33
2.5.5. Расчет числа пластичности .....	34
2.5.6. Определение консистенции грунтов .....	35
Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ.....	37
3.1. Общие сведения .....	37
3.2. Определение плотности грунтов по ГОСТ 5180-2015 .....	37

3.2.1. Определение плотности твердых глин природной влажности ненарушенного сложения методом гидростатического взвешивания.....	38
3.2.2. Определение плотности грунта в естественном состоянии ( $\rho$ ).....	40
3.2.3. Определение плотности сухого грунта $\rho_a$ .....	41
3.2.4. Определение плотности твердых частиц $\rho_s$ .....	42
3.3. Определение пористости и коэффициента пористости грунта.....	44
3.4. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунта .....	45
3.5. Полевые методы определения плотности.....	48
3.6. Определение высоты капиллярного поднятия.....	52
3.7. Определение набухания грунтов .....	54
3.8. Определение усадки грунтов .....	56
3.8.1. Определение линейной усадки грунта .....	56
3.8.2. Определение объемной усадки грунта .....	57
3.9. Определение влагоемкости грунта.....	58
3.10. Определение скорости и характера размокания грунтов.....	59
3.11. Определение водопроницаемости грунтов.....	60
3.12. Определение коэффициента фильтрации песка.....	61
Глава 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ .....	64
4.1. Определение сжимаемости грунта без возможности бокового расширения (компрессии).....	65
4.2. Определение сопротивления грунтов сдвигу .....	69
4.3. Определение угла естественного откоса песчаных грунтов.....	73
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	81

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Механика грунтов» и входит в состав учебно-методического комплекса направления подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Автомобильные дороги»), может использоваться студентами специальности 08.02.05 «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей».

Издание содержит основные сведения по методам, приборам и оборудованию для испытания грунтов для дорожного строительства. Приведена дорожная классификация грунтов по основным показателям. Кроме того, даны примеры расчета и оформления лабораторных работ, представлены справочные приложения, необходимые для выполнения лабораторных работ, курсового и дипломного проектирования, перечень действующей нормативной литературы.

Знание материала пособия, а также рассмотренные примеры помогут студентам и магистрантам при выполнении лабораторных работ, заданий курсового и дипломного проектирования. Изучение вопросов, связанных с механикой грунтов в дорожном строительстве, базируется на дисциплинах общетехнического цикла и является необходимым требованием освоения специальных дисциплин государственного образовательного стандарта направления подготовки «Строительство».

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современные строительные объекты представляют собой крупномасштабные сооружения, и потому правильное использование законов механики грунтов особенно важно при проектировании и строительстве.

Любое сооружение возводится на грунтовом основании, устраивается из грунта как строительного материала или располагается в толще грунта. Таким образом, прочность, устойчивость и нормальная эксплуатация определяются не только конструктивными особенностями сооружения, но и свойствами грунта, условиями взаимодействия сооружения и грунтового основания.

В настоящее время наметилась тенденция роста требований к качеству строительства, сокращению его материалоемкости, стоимости и продолжительности работ. Это повышает значение правильной оценки несущей способности грунтов оснований, типов сооружений и проектирование их конструкций, обеспечивающих нормальную эксплуатацию сооружений.

Применение механики грунтов позволяет особенно полно использовать несущую способность грунтов, достаточно точно учесть деформацию грунтовых оснований под действием нагрузки от сооружений, что обуславливает принятие не только более безопасных, но и наиболее экономичных решений.

# Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТАХ

## 1.1. Определение и классификация грунтов

Грунтом называется любая горная порода, почва, а также твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, представляющие собой многокомпонентную систему, изменяющуюся во времени, и используемые как основание, среда или материал для возведения инженерных, в том числе и дорожных, сооружений.

В состав природных грунтов входят различные элементы, которые можно объединить в три группы:

- 1) твердые минеральные частицы;
- 2) вода в различных видах и состояниях;
- 3) газообразные включения.

Грунты подразделяются на классы, группы, подгруппы, типы, виды и разновидности в соответствии с общестроительной классификацией, дополненной дорожно-строительной классификацией [1; 5].

### *Классификация грунтов*

По своему *происхождению и условиям образования* грунты разделяются:

- 1) на континентальные отложения:
  - элювиальные, залегающие в месте первоначального их возникновения;
  - делювиальные, располагающиеся на склонах той же возвышенности, где они возникли, и перемещающиеся только под действием силы тяжести и смыва атмосферными водами;
  - аллювиальные, переносимые водными потоками на значительные расстояния и образующие мощные слоистые толщи;
  - ледниковые, образовавшиеся в результате действия ледников (валунные глины, суглинки – морены);
  - водно-ледниковые (пески, галечники);
  - озерно-ледниковые (ленточные глины, суглинки и супеси);

– эоловые, являющиеся продуктами выветривания горных пород пустынных областей, переносимые воздушными течениями (лёссовые и пески дюн, барханов);

2) на морские отложения:

– толщи дисперсных глин;

– органогенные грунты – ракушечники;

– органоминеральные образования (илы, заторфованные грунты);

– пески и галечники.

По *характеру структурных связей* выделяются два класса [5; 4; 1]:

**Скальные** – с жесткими структурными связями между минералами или зернами, составляющими горную породу, залегающие в виде сплошных или трещиноватых массивов; различаются по величине предела прочности при одноосном сжатии образцов в водонасыщенном состоянии  $R_c$  (табл. 1), а также по степени размягчаемости, засоленности, растворимости, температуре и содержанию льда.

Таблица 1

*Классификация скальных грунтов*

Разновидность скальных грунтов	Предел прочности $R_c$ , МПа
Очень прочные	$R_c > 120$
Прочные	$120 \geq R_c > 50$
Средней прочности	$50 \geq R_c > 15$
Малопрочные	$15 \geq R_c > 5$
Пониженной прочности	$5 > R_c \geq 3$
Низкой прочности	$3 > R_c \geq 1$
Весьма низкой прочности	$R_c < 1$

**Нескальные** – без жестких структурных связей между слагающими частицами; они подразделяются на крупнообломочные, песчаные, глинистые, а также на биогенные, искусственные и почвы. В зависимости от размеров частицы нескальных грунтов подразделяются на гранулометрические элементы (табл. 2).

Таблица 2

*Гранулометрические элементы нескальных грунтов*

Название	Размер частиц, мм	Разности	Размер частиц, мм
Валуны (окатанные) и глыбы	> 200	Крупные	> 800
		Средние	400 – 800
		Мелкие	400 – 200
Галька (окатанная) и щебень	40 – 200	Крупный щебень (галька)	100 – 200
		Щебень (галька)	60 – 100
		Мелкий щебень (галька)	40 – 60
Гравий (окатанный) и дресва	2 – 40	Крупные	20 – 40
		Средние	10 – 20
		Мелкие	4 – 10
		Очень мелкие	2 – 4
Песок	0,05 – 2	Грубый	1 – 2
		Крупный	0,5 – 1
		Средний	0,15 – 0,5
		Мелкий	0,1 – 0,25
		Тонкий	0,05 – 0,1
Пыль	0,05 – 0,005	Крупная (грубая)	0,01 – 0,05
		Мелкая (тонкая)	0,005 – 0,01
Глина	< 0,005	–	–

Крупнообломочные грунты (валунные, галечниковые – при окатанной форме частиц и щебенистые – при остроугольной форме), содержат более 50 % частиц крупнее 2 мм (табл. 2 и 3). Частицы мельче 2 мм, содержащиеся в грунте, называются заполнителем. При наличии песчаного заполнителя более 40 % или глинистого более 30 % от общей массы абсолютно сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта должно содержаться название заполнителя.

К песчаным относятся сыпучие в сухом состоянии грунты, содержащие менее 50 % частиц крупнее 2 мм и не обладающие пластичностью, т. е. не раскатываются в жгут и имеют число пластичности менее единицы.

По гранулометрическому составу крупнообломочные и песчаные грунты подразделяют на типы (табл. 3). Наименование грунта принимают исходя из результатов рассева пробы по первому удовлетворяющему показателю таблицы, последовательно суммируя процентное содержание частиц грунта в порядке убывания размера сит [1].

## Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов

Тип крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности, % от массы воздушно-сухого грунта
<p><b>Крупнообломочные</b></p> <p>Валунный грунт (при преобладании не окатанных частиц – глыбовый)</p> <p>Галечниковый грунт (при преобладании не окатанных частиц – щебенистый)</p> <p>Гравийный грунт (при преобладании не окатанных частиц – дресвяный)</p>	<p>Масса частиц крупнее 200 мм более 50 %</p> <p>Масса частиц крупнее 10 мм более 50 %</p> <p>Масса частиц крупнее 2 мм более 50 %</p>
<p><b>Песчаные</b></p> <p>Песок гравелистый</p> <p>– крупный</p> <p>– средней крупности</p> <p>– мелкий</p> <p>– пылеватый</p>	<p>Масса частиц крупнее 2 мм более 25 %</p> <p>Масса частиц крупнее 0,5 мм более 50 %</p> <p>Масса частиц крупнее 0,25 мм более 50 %</p> <p>Масса частиц крупнее 0,25 мм более 75 %</p> <p>Масса частиц крупнее 0,1 мм менее 75 %</p>

Глинистые грунты ввиду их большого разнообразия по величине, форме и минералогическому составу не разделяются на группы, их классифицируют на типы по числу пластичности и на разновидности по числу пластичности и содержанию песчаных фракций размером 2 – 0,05 мм (табл. 4).

По степени влажности  $S_r$  (степени заполнения пор водой) среди нескальных грунтов выделяются:

- 1) маловлажные  $S_r \leq 0,5$ ;
- 2) влажные  $0,5 < S_r \leq 0,8$ ;
- 3) водонасыщенные  $0,8 < S_r$ .

Разновидности грунтов по морозному пучению представлены в прил. 1; основные виды и разновидности слабых грунтов – в прил. 2.

Для изучения грунтовых условий проводят инженерно-геологические изыскания двумя путями:

- проходкой выработок с отбором образцов грунта для визуального осмотра (прил. 3) и последующих лабораторных испытаний;
- испытанием грунта в условиях природного залегания с определением его механических характеристик.

Таблица 4

*Классификация глинистых грунтов*

Тип глинистого грунта	Число пластичности	Разновидность по зерновому составу	Содержание песчаных частиц, % по массе
Супесь	1 – 4	Легкая крупная	> 50 частиц размером 2 – 0,25 мм
	1 – 4	Легкая	> 50
	4 – 7	Пылеватая	20 – 50
	4 – 7	Тяжелая пылеватая	> 20
Суглинок	7 – 12	Легкий	> 40
	7 – 12	Легкий пылеватый	< 40
	12 – 17	Тяжелый	> 40
	12 – 17	Тяжелый пылеватый	< 40
Глина	17 – 27	Песчанистая	> 40
	17 – 27	Пылеватая	< 40
	> 27	Жирная	Не нормируется

**1.2. Лабораторные испытания грунтов**

Лабораторные работы по испытанию грунтов для дорожного строительства выполняются в соответствии с действующими нормативными документами (табл. 5), которые периодически претерпевают изменения и дополняются. Все методы лабораторных испытаний грунтов основаны на учете многолетних определений и современном уровне развития грунтоведения и механики грунтов.

Таблица 5

*Перечень нормативных документов*

Индекс документа	Название документа	Примечание
ГОСТ 23278-2014	ГРУНТЫ. Методы полевых испытаний проницаемости	
ГОСТ 23161-2012	ГРУНТЫ. Метод лабораторного определения характеристик просадочности	
ГОСТ 12536-2014	Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава	
ГОСТ 23740-79	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения содержания органических веществ	

Продолжение табл. 5

Индекс документа	Название документа	Примечание
ГОСТ 24143-80	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки	Переиздание. Сентябрь 1987 г.
ГОСТ 24847-2017	ГРУНТЫ. Методы определения глубины сезонного промерзания	
ГОСТ 5180-2015	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения физических характеристик	
ГОСТ 26262-84	ГРУНТЫ. Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания	
ГОСТ 26263-84	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов	
ГОСТ 25584-2016	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации	Взамен ГОСТ 25584-90
ГОСТ 27217-87	ГРУНТЫ. Методы полевого определения удельных касательных сил морозного пучения	Переиздание. Январь 1988 г.
ГОСТ 28514-90 (СТ ЭВ 6016-87)	СТРОИТЕЛЬНАЯ ГЕОТЕХНИКА. Определение плотности грунтов методом замещения объема	Введен с 01.05.90 г.
ГОСТ 23061-90	ГРУНТЫ. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности	Взамен ГОСТ 24181-80.
ГОСТ 28622-2012	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения степени пучинистости	
ГОСТ 5686-2012	ГРУНТЫ. Методы полевых испытаний сваями	
ГОСТ 25100-2011	ГРУНТЫ. Классификация	
ГОСТ 12248-2010	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости	
ГОСТ 20522-96	ГРУНТЫ. Методы статистической обработки результатов	
ГОСТ 30416-2012	ГРУНТЫ. Лабораторные испытания	
ГОСТ 20276-2012	ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости	
ГОСТ 30672-99	ГРУНТЫ. Полевые испытания. Общие положения	Введен впервые с 1.07.2000 г.

Окончание табл. 5

Индекс документа	Название документа	Примечание
ГОСТ 12071-2014	ГРУНТЫ. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов	
ГОСТ 19912-2001	ГРУНТЫ. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием	Введен с 01.01.02 г.
ГОСТ 22733-2002	ГРУНТЫ. Метод лабораторного определения максимальной плотности	Введен с 01.07.03 г.
СП 22.13330.2016	Основания зданий и сооружений	

Для эксплуатации грунтов в строительных целях необходимо знать их физические и механические свойства. Физическое состояние грунта устанавливается по следующим характеристикам: плотность, гранулометрический состав, влажность.

Прочность грунтов при различных механических воздействиях оценивается по сопротивлению грунтов сжатию и сопротивлению грунтов сдвигу. Знание механических свойств грунтов позволяет рассчитать деформации и установить пределы их прочности.

Основные характеристики состояния грунта позволяют рассчитать показатели его состояния и классифицировать в соответствии со СП 22.13330.2016 с целью прогнозирования и рекомендаций при проектировании различных инженерных сооружений. К расчетным показателям относятся степень неоднородности гранулометрического состава, коэффициент пористости, степень влажности, число пластичности и показатель текучести.

Ориентировочные показатели основных характеристик грунтов приведены в прил. 4.

### ***Порядок взятия и подготовки грунтов для испытаний***

Испытания грунтов в лабораторных условиях проводятся на образцах, взятых в шурфах и скважинах с ненарушенным (в виде монолитов) и нарушенным сложением. Отбор, упаковка, хранение и транспортирование образцов производится в соответствии с ГОСТ 12071-2014. Монолиты берут в форме куба или параллелепипеда размерами не менее 100 и не более 250 мм. Стенку или дно выработки

зачищают и намечают контур монолита несколько бóльших размеров, вырезают грунтовый столбик, отделяя его от массива. Грани монолита выравнивают, доводя до необходимых размеров. Если грунт не может сохранять форму вырезаемых образцов, монолиты берут при помощи режущего кольца с внутренним диаметром не менее 90 мм, высотой не менее одного и не более двух диаметров кольца. Из скважин монолиты отбирают с уровня зачищенного забоя грунтоносами. На всех извлеченных монолитах указывают «верх». Для сохранения естественной влажности отобранные монолиты немедленно парафинируют специальной пастой [3; 6].

Образцы грунтов с нарушенным сложением из шурфов и расчисток отбирают при помощи ножа и лопаты. Из скважины пробы берут грунтоносом. Пробы с нарушенным сложением без сохранения естественной влажности помещают в любую тару, обеспечивающую сохранение мелких частиц грунта (мешочки из плотной ткани или водостойкой бумаги).

Образцы грунтов с нарушенным сложением, в которых требуется сохранить естественную влажность, укладывают в металлические или пластмассовые банки с герметически закрывающимися крышками. Горловину банки с крышкой парафинируют.

*Примечание.* Образцы и пробы грунта для лабораторных испытаний можно отбирать во время учебной грунтово-геологической практики. Все отобранные образцы снабжаются необходимыми ярлыками и этикетками.

## Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТА

Гранулометрическим составом грунта называется содержание по массе в грунте частиц различной крупности, отнесенное к общей массе абсолютно сухого грунта и выраженное в процентах. Этот показатель является одной из основных характеристик грунта и позволяет оценить его пригодность для дорожно-строительных целей. Зерна грунта, близкие по размерам и свойствам, объединяют в группы, называемые гранулометрическими фракциями. Различают четыре фракции:

- гравийная с размером частиц крупнее 2 мм;
- песчаная с размером частиц 2 – 0,05 мм;
- пылеватая с размером частиц 0,05 – 0,005 (0,002) мм;
- глинистая с размером частиц мельче 0,005 (0,002) мм.

Каждая гранулометрическая фракция состоит из отдельных частиц, называемых гранулометрическими элементами (1, 0,1, 0,005 мм и т. д.) [3].

Согласно ГОСТ 12536-2014 гранулометрический (зерновой) состав грунтов определяется с помощью методов, предусмотренных в табл. 6.

Таблица 6

### *Методы определения гранулометрического состава*

Грунты	Метод определения
Песчаные при выделении зерен песка крупностью: 10 – 0,5 мм 10 – 0,1 мм	Ситовой без промывки водой Ситовой с промывкой водой
Глинистые в зависимости от условий проведения анализа: Лабораторные	Ареометрический Пипеточный
Полевые	Метод Рутковского

## 2.1. Ситовой метод

Ситовой метод определения гранулометрического состава основан на разделении грунта по фракциям при просеивании через набор стандартных сит. Его используют для определения состава несвязных грунтов (крупнообломочных и песчаных). Для рыхлых и чистых грунтов применяют ситовой метод без промывки водой с выделением частиц от 10 до 0,5 мм. При наличии в грунте пылеватой и глинистой фракций используют ситовой анализ с промывкой водой и выделением частиц размером от 10 до 0,1 мм.

Проба грунта для анализа отбирается методом квартования. Для этого распределяют грунт тонким слоем по листу плотной бумаги или картона, проводят ножом в продольном и поперечном направлениях борозды, разделяя поверхность грунта на квадраты, и отбирают немного грунта из каждого квадрата. Масса средней пробы должна быть следующей:

- для грунтов, не содержащих частиц размером более 2 мм – 100 г;
- для грунтов, содержащих до 10 % частиц размером более 2 мм – не менее 500 г;
- для грунтов, содержащих от 10 до 30 % частиц размером более 2 мм – 1000 г;
- для грунтов, содержащих свыше 30 % частиц размером более 2 мм – 2000 г.

Содержание гравийных частиц размером более 2 мм определяем визуально (см. прил. 3).

**Оборудование:** набор сит (с поддоном) с размером отверстий 10, 5, 2, 1, 0,5 мм, весы с разновесами, ступка фарфоровая, пестик с резиновым наконечником, нож, сушильный шкаф.

### **Проведение испытаний:**

- смонтировать сита в колонку, размещая их от поддона в порядке увеличения размера отверстий;
- среднюю пробу отобрать методом квартования;
- взвешенную пробу грунта просеять сквозь набор сит;
- фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, взвесить на технических весах.

### **Обработка результатов:**

- содержание в грунте каждой фракции  $A$  в процентах вычисляют по формуле

$$A = (m_{\phi} / m_i)100 \%, \quad (1)$$

где  $m_{\phi}$  – масса данной фракции грунта, г;

$m_i$  – масса средней пробы, взятой для анализа, г;

– результаты определения заносят в журнал (табл. 7) [3];

– проводят контроль качества ситового анализа, для чего суммируют процентное содержание всех фракций и определяют процент потерь грунта при просеивании, который не должен превышать 1 %; недостающий вес частиц добавляют к весу мелких фракций.

### ***Пример оформления лабораторных испытаний***

Таблица 7

#### *Лабораторный журнал*

Размер фракций, мм	Частные остатки		Полные остатки, %	Полные проходы, %
	г	%		
> 10	0	0	0	100
10 – 5	10	2	2	98
5 – 2	35	7	9	91
2 – 1	105	21	30	70
1 – 0,5	85	17	47	53
0,5 – 0,25	90	18	65	35
0,25 – 0,1	125	25	90	10
< 0,1	50	10	–	–
Всего	500	100	–	–

Полученные данные сравнивают с данными табл. 3. Определение наименования грунта производится по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения фракций, т. е. сверху вниз.

*Вывод:* грунт – песок средней крупности, так как полный остаток на сите 0,25 мм более 50 %.

## **2.2. Определение степени (коэффициента) неоднородности грунтов**

Гранулометрический состав грунта может быть изображен суммарной кривой, или кривой неоднородности. Для этого строят график гранулометрического состава в полулогарифмической форме; по оси абсцисс откладывают десятичные логарифмы диаметров частиц, а по

оси ординат – процентное содержание частиц менее данного диаметра (рис. 1).

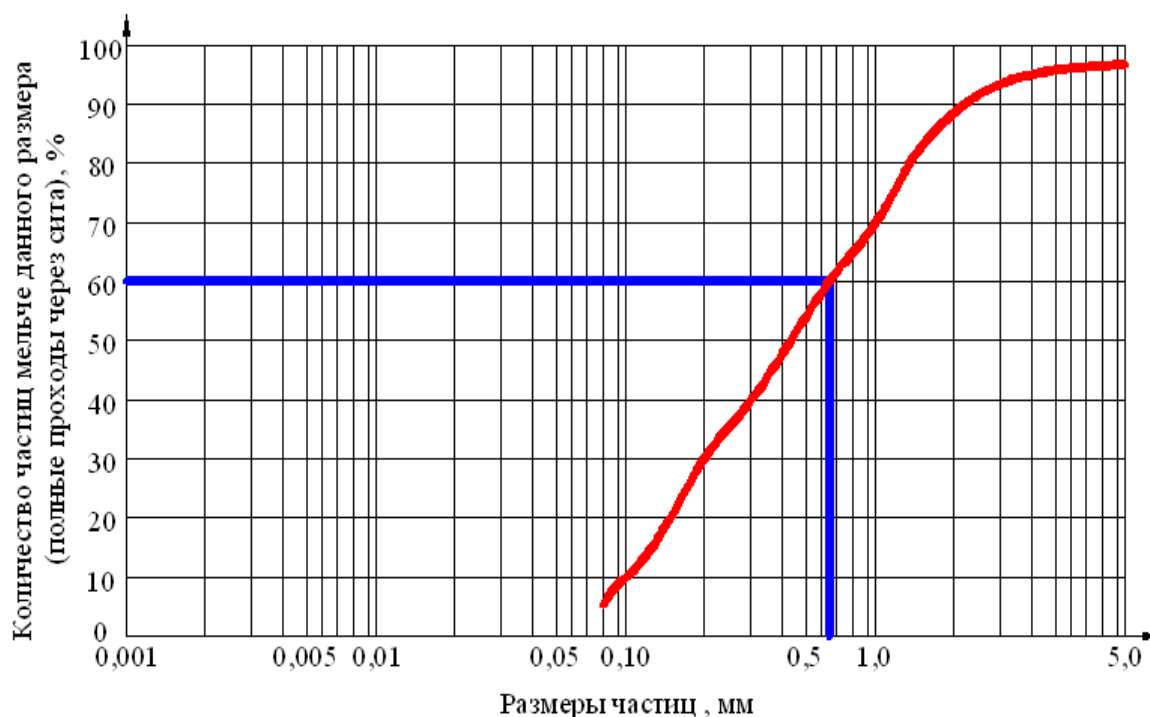


Рис. 1. Суммарная кривая гранулометрического состава грунта

По кривой неоднородности определяют степень (коэффициент) неоднородности, а также действующий (эффективный) диаметр. За действующий диаметр принимают размер частиц, соответствующий ординате 10 % ( $d_{10}$ ).

По степени неоднородности грунты подразделяются:

- на однородные  $C_u < 3$ ;
- неоднородные  $C_u \geq 3$ .

По размеру частиц:

- на глинистые  $< 0,005$  мм;
- пылеватые  $0,050 - 0,006$  мм;
- песчаные  $> 0,05$  мм.

**Оборудование:** миллиметровая бумага, линейка, цветные карандаши.

**Проведение испытаний:**

- построить суммарную кривую;
- нанести на нее данные определения гранулометрического состава.

### **Обработка результатов:**

- по суммарной кривой определить значения  $d_{60}$  и  $d_{10}$  (табл. 8) [3];
- по графику определить степень неоднородности гранулометрического состава  $C_u$  в соответствии с формулой

$$C_u = d_{60} / d_{10}, \quad (2)$$

где  $d_{60}$  и  $d_{10}$  – диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 60 и 10 % частиц, мм.

### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 8

*Лабораторный журнал (грунт: песок средней крупности)*

Показатель	Значение
Диаметр частиц, мельче которого в грунте содержится 60 % (по массе) $d_{60}$ , мм	0,69
Диаметр частиц, мельче которого в грунте содержится 10 % (по массе), мм	
Действующий (эффективный) диаметр $d_{10}$ , мм	0,10
Степень (коэффициент) неоднородности $C_u$	6,9

**Вывод:** песок средней крупности неоднородный, так как  $C_u > 3$ . Действующий (эффективный) диаметр  $d_{10} = 0,1$  мм.

### **Построение сетки кривой неоднородности**

В начале координат ставят число 0,001, принимают  $\lg 10$  в произвольном масштабе, откладывают этот отрезок в правую сторону четыре раза, делая отметки и ставя против них последовательно 0,01; 0,10; 1,00; 10,00. Расстояние между каждыми двумя метками делят на девять частей пропорционально логарифмам чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. В первом интервале выделенные отрезки будут отвечать диаметрам частиц от 0,002 до 0,009 мм, во втором – от 0,002 до 0,009 мм, в третьем – от 0,2 до 0,9 мм, в четвертом – от 2 до 10 мм.

Например, если принять, что  $\lg 10 = 1$  соответствует 3 см, то получим отрезки:  $\lg 2 = 0,301$ , умножая на принятый масштаб  $0,301 \cdot 3 = 0,9$  см и т. д.

Найденные отрезки откладывают по оси абсцисс от начала координат и от каждой метки, ограничивающей отрезок длиной 3 см. Данные гранулометрического состава по полным проходам в процентах наносят на сетку и получают суммарную кривую (кривую неоднородности) [3].

### 2.3. Полевой метод

Наиболее известным полевым методом считается метод Рутковского. Он является приближенным, однако простота делает его приемлемым в полевых условиях.

Физические основы метода при определении содержания заключаются:

– *глинистых частиц* – в способности этих частиц к набуханию в воде;

– *песчаных частиц* – в различной скорости осаждения в воде частиц различной крупности.

Таким образом, метод состоит из двух частей: *набухания и отмучивания*.

#### 2.3.1. Определение содержания глинистой фракции (набухание)

**Оборудование:** сито с отверстиями размером 1 мм, мерная емкость объемом 50 см<sup>3</sup>, стеклянная палочка, раствор CaCl<sub>2</sub>.

**Проведение испытаний:**

– высушенный и просеянный через сито с размером отверстий 1 мм грунт высыпать в мерную емкость до отметки 10 см<sup>3</sup>;

– налить в мерную емкость воду до отметки 45 см<sup>3</sup> и тщательно размешать содержимое стеклянной палочкой до прекращения мазков на стенках емкости;

– добавить 3 см<sup>3</sup> хлористого кальция CaCl<sub>2</sub> для ускорения коагуляции (оседания), перемешать и оставить на 24 часа;

– через сутки вычислить приращение объема на 1 см<sup>3</sup> сухого грунта.

**Обработка результатов**

Содержание глинистой фракции определяют по эмпирической формуле

$$\Gamma = 0,2267 \cdot \Delta V \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где  $\Gamma$  – процентное содержание глинистой фракции в грунте;  
 $\Delta V$  – приращение объема на 1 см<sup>3</sup> сухого грунта,  $\Delta V = V_{\Gamma} - V$ , см<sup>3</sup>;  
 $V_{\Gamma}$  – объем грунта после набухания, см<sup>3</sup>;  
 $V$  – первоначальный объем грунта (10 см<sup>3</sup>).

### 2.3.2. Определение содержания песчаной фракции (отмучивание)

**Оборудование:** мерная емкость объёмом 50 см<sup>3</sup>, сито с размером отверстий 1 мм, стеклянная палочка.

#### **Проведение испытаний:**

- в сухую мерную емкость насыпать грунт, просеянный через сито с размером отверстий 1 мм до отметки 10 см<sup>3</sup> с уплотнением;
- в емкость с грунтом налить воды до отметки 12 см<sup>3</sup>, отсчет вести от поверхности грунта;
- тщательно перемешать содержимое стеклянной палочкой и дать отстояться 60 с;
- по истечении указанного времени осторожно слить воду, оставляя песчаные частицы в мерной емкости;
- опыт повторять до тех пор, пока во взвесь не перестанут поступать пылеватые и глинистые частицы, т. е. вода не будет мутнеть;
- налить немного воды, дать отстояться и замерить оставшиеся песчаные частицы  $V_{\Pi}$ ;
- рассчитать объем песчаной фракции  $\Pi$ .

#### **Обработка результатов**

Содержание песчаной фракции в анализируемом грунте вычисляется по формуле

$$\Pi = (V_{\Pi} / V)100 \%, \quad (4)$$

где  $\Pi$  – процентное содержание песчаной фракции в грунте;  
 $V_{\Pi}$  – остаток после отмучивания, см<sup>3</sup>;  
 $V$  – первоначальный объем грунта (10 см<sup>3</sup>).

**Примечание:** таким образом, из опыта по набуханию мы знаем процентное содержание глинистой фракции, из опыта по отмучиванию – песчаной, содержание пылеватой фракции в процентах можно получить вычитанием из 100 % глинистой и песчаной составляющих.

На основании выполненного анализа можно сделать ориентировочный вывод о наименовании грунта с помощью классификации грунтов по В. В. Охотину (табл. 9).

Таблица 9

*Гранулометрическая классификация грунтов (по В. В. Охотину)*

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

***Пример оформления лабораторных испытаний***

Пример оформления приведен в табл. 10.

Таблица 10

*Лабораторный журнал*

Показатель	Значение
<b>Песчаная фракция</b>	
Первоначальный объем грунта в мерной емкости, см <sup>3</sup>	$V = 10 \text{ см}^3$
Объем осадка после отмучивания, см <sup>3</sup>	$V_{\text{п}}$
Содержание песчаных частиц, %	$\Pi$
<b>Глинистая фракция</b>	
Первоначальный объем грунта в мерной емкости, см <sup>3</sup>	$V = 10 \text{ см}^3$
Объем грунта после набухания, см <sup>3</sup>	$V_{\text{г}}$
Приращение объема на 1 см <sup>3</sup> сухого грунта	$\Delta V$
Содержание глинистых фракций, %	$\Gamma$

Общее заключение делается по результатам сравнения полевого анализа с данными табл. 9 и оформляется в табличной форме (табл. 11).

Таблица 11

*Заключение полевому методу*

Фракция	Содержание, %	
	Результаты полевого анализа	Данные по В. В. Охотину
Глинистая		
Пылеватая		
Песчаная		

*Вывод:* указать наименование грунта.

## 2.4. Ареометрический метод

Гранулометрический состав глинистых грунтов с выделением в них мелких фракций определяется ареометрическим методом при помощи прибора ареометра. Метод основан на измерении концентрации суспензии, изменяющейся по мере выпадения из нее более крупных частиц грунта. Этим методом определяют содержание в грунте частиц мельче 0,1 мм. Более крупные фракции определяют ситовым методом.

Для определения гранулометрического состава ареометрическим методом используют ареометры со шкалой 0,995 – 1,030 и ценой деления 0,001 согласно ГОСТ 12536-2014.

*Примечание.* Основные определения к данному методу можно сформулировать следующим образом:

- суспензия – смесь взвешенных твердых частиц в жидкости (грунт в воде);
- коагуляция – способность коллоидных частиц свертываться в воде и выпадать в осадок в виде хлопьев;
- коагулянт – вещество для ускорения коагуляции;
- ареометр – прибор в виде стеклянного поплавка со шкалой;
- тарирование – проверка показаний данного прибора с показаниями контрольных приборов.

Ареометр (рис. 2) представляет собой запаянную стеклянную трубку с расширенным нижним концом, в котором помещается груз (дробь, залитая мастикой) для сохранения вертикального положения при погру-

жении в воду. В стержень ареометра вставлена шкала с нанесенными делениями.

### Отсчеты по ареометру

Для удобства работы с ареометром по шкале берут упрощенный отсчет  $R_0$ , отбрасывают единицу и переносят запятую на три знака вправо, записывая:

ареометр погружен до деления 1,000;  $R_0 = 0$ ;

ареометр погружен до деления 1,001;  $R_0 = 1$ ;

ареометр погружен до деления 1,002;  $R_0 = 2$ ;

ареометр погружен до деления 1,015;  $R_0 = 15$ .

Для расчета гранулометрического состава грунта на упрощенный отсчет  $R_0$  вводят поправки на высоту мениска и на температуру суспензии при испытаниях [3].

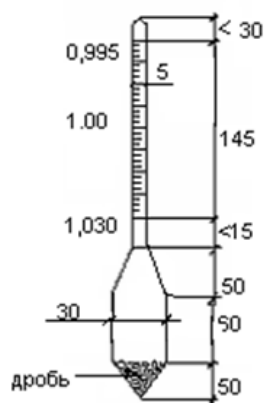


Рис. 2. Ареометр

Поправку на высоту мениска вводят для ареометров, изготовленных в лабораторных условиях, градуировку производят по нижнему краю мениска, тогда отсчеты в непрозрачной воде не видны и их берут по верхнему краю мениска, вводя поправку  $C$  на высоту мениска.

Поправка определяется один раз по разности отсчетов в дистиллированной воде при температуре 20 °С (рис. 3). Для удобства расчетов ее умножают на 1000 и прибавляют к каждому отсчету ареометра.

### Пример расчета на высоту мениска

Отсчет по нижнему краю мениска 0,9997, отсчет по верхнему краю – 0,9994. Высота мениска  $0,9997 - 0,9994 = 0,0003$ . Поправка на высоту мениска  $C = 0,0003 \cdot 1000 = 0,3$ .

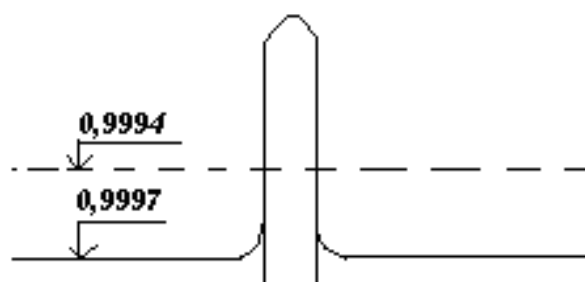


Рис. 3. Поправка на мениск

*Поправка на температуру.* Если температура суспензии отклоняется от 20 °С, при которой необходимо проводить тарирование, то поправку на температуру вводят с соответствующим знаком ± по прил. 5.

### ***Определение гранулометрического состава грунтов ареометрическим методом***

***Оборудование:*** технические весы, ареометр, набор сит с отверстиями размером от 10 до 0,1 мм, фарфоровая ступка и пестик с резиновым наконечником, сушильный шкаф, эксикатор, коническая колба вместимостью 750 – 1000 мл, обратный холодильник, мерный цилиндр вместимостью 1 л.

***Подготовка пробы:*** берут навеску воздушно-сухого грунта массой 100 г, растирают в ступке, просеивают через набор сит 10; 5; 1; 0,5 мм и определяют содержание каждой фракции. Данные заносят в таблицу (оформление – см. табл. 7).

Расчет содержания частиц мельче 0,5 мм (мелкозема) выполняют по разности

$$A = 100 - K, \quad (5)$$

где  $K$  – процентное содержание частиц мелкозема.

Частицы мелкозема перемешивают в поддоне и методом квартования берут пробу массой:

- для супесчаных грунтов – 40 г;
- для суглинистых грунтов – 30 г;
- для глин – 20 г.

Взятую навеску помещают в колбу, доливают 10-кратным количеством воды, разбалтывают и выдерживают сутки. После чего в колбу добавляют 1 см<sup>3</sup> 25%-ного раствора аммиака, закрывают пробкой и кипятят один час. Суспензию охлаждают и сливают через сито 0,1 мм в мерный цилиндр. Частицы, задержавшиеся на сите, смывают водой в фарфоровую чашку и растирают пестиком. Образовавшуюся взвесь снова сливают в цилиндр; операцию повторяют до тех пор, пока вода в чашке не останется светлой. Оставшиеся на сите частицы соединяют с остатком в чашке, помещают в заранее взвешенный бюкс, выпаривают воду, высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы. Затем просеивают через сита с отверстиями размером 0,25 и 0,1 мм. Остатки на ситах взвешивают и определяют в процентах от количества мелкозема.

### ***Проведение испытаний:***

– цилиндр с суспензией доливают дистиллированной водой с аммиаком и интенсивно взбалтывают до полного перемешивания суспензии в течение 1 мин;

– для определения частиц размером менее 0,05 мм отсчет по ареометру берут через 1 мин, для этого за 10 с до назначенного времени ареометр опускают в цилиндр так, чтобы он не касался его стенок;

– для выделения частиц мельче 0,01 мм – время отстаивания 30 мин, для частиц мельче 0,005 мм – время отстаивания 2 ч;

– по верхнему мениску ареометра берут упрощенный отсчет  $R_0$ , после чего прибор вынимают из суспензии и хранят в дистиллированной воде;

– измеряют температуру суспензии.

### ***Обработка результатов:***

– полученные результаты заносят в журнал (табл. 12);

– выполняется расчет фракций мелкозема < 0,05; 0,05 – 0,01; 0,1 – 0,005; < 0,005 мм.

### ***Расчет фракций мелкозема***

Выполняется по следующей формуле:

– расчет частиц фракции мельче < 0,05 мм:

$$x = \rho / (\rho - 1) (100 - K) / m R, \quad (6)$$

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

$K$  – содержание частиц крупнее 0,5 мм;

$R$  – отсчет с поправкой на температуру.

Для фракций 0,05 – 0,01; 0,1 – 0,005; < 0,005 мм расчет ведется аналогично.

*Вывод:* указать в исследуемом грунте процентное содержание различных фракций.

*Примечание:* величину  $K$  принимаем по пункту 2.3.2.

## Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 11

*Лабораторный журнал (результаты ареометрического анализа)*

Дата и время замера	Время отставания от начала опыта	Упрощенный отсчет по ареометру	Температура суспензии, °С	Отсчет с поправкой на мениск $R_0 + C$	Поправка на температуру	Отсчет с поправкой на температуру $R_1 + m_t$	Диаметр частиц, мм	Содержание частиц мельче данного размера, %	Фракции	Содержание фракций
$T_1$	$T$	$R_0$	$t$	$R_1$	$m_t$	$R$	$d$	$x$	мм	%
9,00	1 МИН	4,8	20,5	5,1	+0,1	5,2	< 0,05	по рас- чету	< 0,05	по рас- чету

### 2.5. Определение вида и состояния глинистого грунта, границ текучести и раскатывания

Влажностью грунта называется отношение массы содержащейся в нем воды к массе сухого грунта, выраженное в процентах или долях единицы и определяемое по ГОСТ 5180-2015:

$$W = (m_v / m_t) 100 \%. \quad (7)$$

Относительная влажность (степень влажности) показывает степень заполнения пор грунта водой и может быть определена по следующей зависимости:

$$W_{от} = (W \cdot \rho) / (\varepsilon \cdot \rho_v), \quad (8)$$

где  $W$  – природная влажность;

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

$\rho_v$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – коэффициент пористости грунта.

Классификация грунтов по степени влажности приведена в табл. 13.

Таблица 13

*Классификация грунтов по степени влажности*

Вид грунта	Показатель относительной влажности $W_{от}$
Маловлажный	$W_{от} \leq 0,5$
Влажный	$0,5 < W_{от} \leq 0,8$
Водонасыщенный	$0,8 < W_{от}$

Для оценки состояния грунтов при увлажнении определяют влажности:

- на границе текучести  $W_L$ ;
- на границе раскатывания  $W_p$ ;
- естественную  $W$ ;
- относительную  $W_{от}$ ;
- оптимальную  $W_o$ ;
- гигроскопическую  $W_g$ .

При изменении влажности глинистого грунта изменяются его свойства, так как меняется степень подвижности грунтовых частиц, т. е. меняется консистенция. В связи с этим различают три основные формы состояния грунта: твердая, пластичная, текучая (рис. 4).

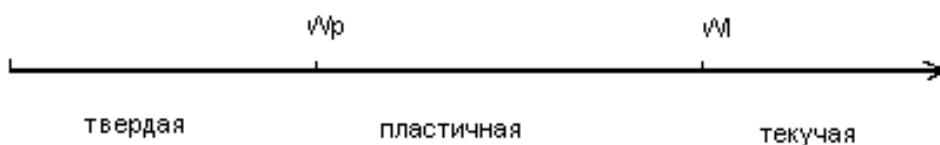


Рис. 4. Формы состояния глинистого грунта

Переход грунта из одного состояния в другое характеризуется преодолением граничных влажностей: влажности на границе раскатывания ( $W_p$ ); влажности на границе текучести ( $W_L$ ).

Влажность, при которой грунт переходит из твердого состояния в пластичное, называется пределом раскатывания, или нижним пределом пластичности (граница раскатывания).

Влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называется пределом текучести, или верхним пределом пластичности (границей текучести).

Интервал влажности между обоими пределами называют числом пластичности. Оно показывает диапазон колебаний влажности, при котором грунт обладает пластическими свойствами, т. е. способностью под воздействием приложенных сил деформироваться без разрыва сплошности и сохранять приданную ему форму после прекращения действия сил. Этот показатель является важнейшим при классификации глинистых грунтов (типы и разновидности).

### 2.5.1. Определение естественной влажности грунта весовым методом

**Оборудование:** бюкса с крышкой; весы с разновесами; сушильный шкаф, эксикатор, щипцы.

**Проведение испытаний:**

- взвесить бюксу с крышкой на технических весах с точностью до 0,01 г;
- грунт (15 г) поместить в бюксу, взвесить;
- открыть бюкс и, превратив крышку в поддон, поставить его в сушильный шкаф, где высушить при температуре 105 – 107 °С до постоянного веса;
- поместить бюксу с грунтом для охлаждения в эксикатор;
- бюксу с высушенным грунтом взвесить;
- испытания повторить дважды;
- данные занести в журнал.

**Обработка результатов:** влажность грунта  $W$  в процентах определяют по формуле

$$W = (m_2 - m_3) / (m_3 - m_1) 100 \%, \quad (9)$$

где  $m_1$  – масса пустой бюксы с крышкой, г;

$m_2$  – масса бюксы с влажным грунтом, г;

$m_3$  – масса бюксы с высушенным грунтом, г.

Расхождение двух результатов параллельных определений не должно превышать 2 %.

Результаты расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 14.

## Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 14

### Лабораторный журнал определения естественной влажности

Показатель	Результаты	
	1-я серия	2-я серия
Масса пустой бюксы с крышкой $m_1$ , г		
Масса бюксы с крышкой и влажным грунтом $m_2$ , г		
Масса бюксы с крышкой и высушенным грунтом $m_3$ , г		
Влажность грунта $W$ , %		

*Вывод:* указать полученное значение влажности.

### 2.5.2. Определение гигроскопической влажности

Содержание воды в воздушно-сухом грунте, которая удаляется высушиванием при температуре 105 – 107 °С, называется гигроскопической влажностью.

**Оборудование:** ступка с пестиком, бюксы с крышками, сито с отверстиями размерами 1 мм, весы с разновесами, сушильный шкаф.

#### **Проведение испытаний:**

- берут пробу воздушно-сухого грунта (около 15 г) и растирают в ступке пестиком с резиновым наконечником;
- просеивают через сито с отверстиями размером 1 мм;
- взвешивают бюксу с крышкой на технических весах с точностью до 0,01 г;
- помещают туда подготовленную пробу и снова взвешивают;
- ставят в сушильный шкаф и высушивают при температуре 105 – 107 °С;
- определяют массу бюксы с высушенным грунтом;
- испытания повторяют дважды;
- результаты испытаний заносят в журнал (табл. 14).

**Обработка результатов:** гигроскопическую влажность определяют по следующей формуле:

$$W_{\Gamma} = (m_2 - m_0) / (m_0 - m)100 \%, \quad (10)$$

где  $m$  – масса пустой бюксы с крышкой, г;

$m_0$  – масса бюксы с крышкой и высушенным грунтом, г;

$m_2$  – масса бюксы с крышкой и воздушно-сухим грунтом, г.

Расхождение результатов двух параллельных определений не должно превышать 0,1 %.

Результаты расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого, представлен в табл. 14.

### 2.5.3. Определение границы текучести и влажности на границе текучести

Граница текучести определяется стандартным балансирным конусом Васильева и считается достигнутой, если конус под действием собственного веса за 5 с погружается на глубину 10 мм в тесто, приготовленное из исследуемого грунта.

Конус Васильева выполняется из нержавеющей стали с полированной поверхностью (рис. 5).

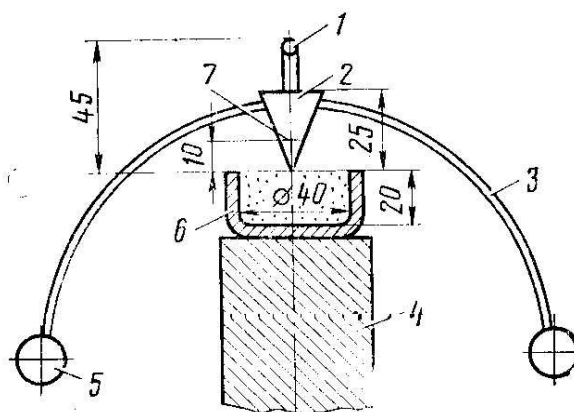


Рис. 5. Балансирный конус Васильева

Прибор имеет следующие параметры: высота конуса – 24 мм; угол при вершине – 30°; круговая отметка располагается на расстоянии 10 мм от вершины; балансир имеет два металлических шара, общий вес конуса с балансиром – 76 г.

**Оборудование:** фарфоровая ступка, сито с размером отверстий 0,5 мм, фарфоровая чашка со шпателем, бюкса, конус Васильева, бюкса с крышкой, весы с разновесами, секундомер.

#### **Проведение испытаний:**

- образец грунта растереть в ступке и просеять через сито;
- пробу грунта поместить в фарфоровую чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста и выдержать его в эксикаторе 2 часа;

- подготовленное грунтовое тесто шпателем перенести в бюксу и срезать поверхность грунта вровень с краями;
- острие конуса привести в соприкосновение с поверхностью грунта и отпустить;
- если время опускания конуса до риски не соответствует 5 с, то опыт повторить, подсушив или увлажнив грунт;
- определить влажность  $W_L$  так же, как и естественную (см. п. 2.5.1.);
- испытания повторить дважды;
- результаты занести в журнал, пример оформления которого представлен в табл. 15.

**Обработка результатов:** влажность на границе текучести определяется по формуле

$$W = (m_2 - m_3) / (m_3 - m_1)100 \%, \quad (11)$$

где  $m_1$  – масса пустой бюксы с крышкой, г.;

$m_2$  – масса бюксы с влажным грунтом на границе текучести, г;

$m_3$  – масса бюксы с высушенным грунтом, г.

Расхождение двух результатов параллельных определений не должно превышать 2 %.

Результаты расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 15.

### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 15

*Лабораторный журнал определения влажности на границе текучести*

Показатель	Результаты	
	1-я серия	2-я серия
Масса пустой бюксы с крышкой $m_1$ , г		
Масса бюксы с крышкой и влажным грунтом на границе текучести $m_2$ , г		
Масса бюксы с крышкой и высушенным грунтом $m_3$ , г		
Влажность грунта на границе текучести $W_L$ , %		

*Вывод:* указать полученную влажность на границе текучести.

#### 2.5.4. Определение границы раскатывания и влажности на границе раскатывания

Граница раскатывания определяется раскатыванием руками теста из грунта в проволоку. Считается, что граница раскатывания достигнута, когда жгутик грунта при диаметре 3 мм начинает распадаться на кусочки длиной 3 – 10 мм.

**Оборудование:** фарфоровая чашка со шпателем, сито с размером отверстий 0,5 мм, бюкса с крышкой, весы с разновесами, стекло.

**Проведение испытаний:**

– навеску грунта (около 50 г), просеянную через сито с размером отверстий 0,5 мм, поместить в фарфоровую чашку и замесить рабочее тесто, которое не должно рассыпаться, пачкать руки или растекаться;

– взять небольшое количество грунтового теста и раскатывать его на стекле до тех пор, пока на жгуте диаметром 3 мм не появятся тонкие трещинки и он не начнет распадаться на отдельные кусочки;

– кусочки собрать в бюксу и определить влажность на границе раскатывания  $W_p$  по методике естественной влажности (см. п. 2.5.1);

– результаты занести в таблицу лабораторной тетради, пример оформления которой, показан в табл. 16.

**Обработка результатов:** влажность на границе раскатывания определяется по формуле

$$W = (m_2 - m_3) / (m_3 - m_1) 100 \%, \quad (12)$$

где  $m_1$  – масса пустой бюксы с крышкой, г;

$m_2$  – масса бюксы с влажным грунтом на границе раскатывания, г;

$m_3$  – масса бюксы с высушенным грунтом, г.

Расхождение двух результатов параллельных определений не должно превышать 2 %.

Результаты расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 16.

## *Пример оформления лабораторных испытаний*

Таблица 16

### *Лабораторный журнал определения влажности на границе раскатывания*

Показатель	Результаты	
	1-я серия	2-я серия
Масса пустой бюксы с крышкой $m_1$ , г		
Масса бюксы с крышкой и влажным грунтом на границе раскатывания $m_2$ , г		
Масса бюксы с крышкой и высушенным грунтом $m_3$ , г		
Влажность грунта на границе раскатывания $W_p$ , %		

*Вывод:* указать полученную влажность на границе раскатывания.

### **2.5.5. Расчет числа пластичности**

Свойство пластичности положено в основу классификации глинистых грунтов (табл. 17).

Таблица 17

#### *Классификация глинистых грунтов по числу пластичности*

Вид грунта	Число пластичности $I_p$	Содержание песчаных частиц размером от 2 до 0,05 мм, % по массе	Разновидность грунтов
Супесь	1 – 4	$> 50$ частиц размером 2 – 0,25 мм	Легкая крупная
	1 – 4	$> 50$	Легкая
	4 – 7	20 – 50	Пылеватая
	4 – 7	$< 20$	Тяжелая пылеватая
Суглинок	7 – 12	$> 40$	Легкий
	7 – 12	$< 40$	Легкий пылеватый
	12 – 17	$> 40$	Тяжелый
	12 – 17	$< 40$	Тяжелый пылеватый
Глина	17 – 27	$> 40$	Песчанистая
	17 – 27	$< 40$	Пылеватая (полужирная)
	$> 27$	Не нормируется	Жирная

Для определения наименования грунта необходимо рассчитать число пластичности  $I_p$ . Расчет выполняется по формуле

$$I_p = W_L - W_p, \quad (13)$$

где  $W_L$  – влажность на границе текучести;

$W_p$  – влажность на границе раскатывания.

Пример оформления работы приведен в табл. 18.

Таблица 18

*Лабораторный журнал определения числа пластичности*

Показатель	Значение
Влажность грунта на границе раскатывания $W_p$ , %	
Влажность грунта на границе текучести $W_L$ , %	
Число пластичности $I_p$ в целых числах	

*Вывод:* сделать заключение о виде грунта.

### 2.5.6. Определение консистенции грунтов

Уплотненность глинистых грунтов определяется их консистенцией, под которой понимают густоту и в известной мере вязкость грунтов, обуславливающие их способность сопротивляться пластическому изменению формы. Густота и вязкость зависят от количественного соотношения твердых частиц и воды в единице объема грунта, а также от сил взаимодействия между частицами грунта [2].

Показатель консистенции, или индекс текучести  $I_L$ , определяется по формуле

$$I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p). \quad (14)$$

Для расчета показателя консистенции определяют естественную влажность и число пластичности. Результаты расчетов заносятся в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 19.

Показатель пластичности рассчитывается для определения состояния грунта. Полученные расчетные значения сопоставляются с данными ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация» по числу пластичности и определяется наименование грунта (табл. 20).

## *Пример оформления лабораторных испытаний*

Таблица 19

### *Лабораторный журнал*

Показатель	Значение
Естественная влажность $W$ , %	
Влажность на границе раскатывания $W_p$ , %	
Влажность на границе текучести $W_L$ , %	
Показатель текучести $I_L$	

*Вывод:* указать название и состояние грунта.

Таблица 20

### *Классификация глинистых грунтов по показателю текучести*

Вид грунта	Состояние грунта	Значение $I_L$
Глины и суглинки	Твердая	$I_L < 0$ , т. е. когда $W < W_p$
	Полутвердая	$I_L = 0 - 0,25$
	Тугопластичная	$I_L = 0,25 - 0,50$
	Мягкопластичная	$I_L = 0,50 - 0,75$
	Текучепластичная	$I_L = 0,75 - 1$
	Текучая	$I_L > 1$
Супеси	Твердая	$I_L < 1$
	Пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
	Текучая	$I_L > 1$

## Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

### 3.1. Общие сведения

Физические свойства характеризуют физическое состояние грунта или определяют его отношение к физическим процессам окружающей среды.

Сложность строения природных грунтов и влияние на их физико-геологические процессы вызывают необходимость при оценке грунтов определять их свойства в условиях естественного залегания или по образцам естественной ненарушенной структуры.

Основными отличиями природных грунтов от скальных массивно-кристаллических пород являются отсутствие спайности и значительная пористость, обусловленная их раздробленностью.

Для определения физических свойств грунтов необходимо знать три простейших показателя:  $\rho$  – плотность грунта в естественном состоянии (ненарушенной структуры),  $\rho_s$  – плотность частиц грунта,  $\rho_a$  – плотность сухого грунта [2].

К физическим свойствам грунтов относятся плотность, плотность скелета и плотность минеральной части; пористость и коэффициент пористости, а также водно-физические свойства: влажность, пластичность, липкость, набухание, усадка, консистенция. Все эти свойства позволяют определить устойчивость грунтов, область применения, а также их пригодность применения для дорожного строительства.

### 3.2. Определение плотности грунтов по ГОСТ 5180-2015

Плотность грунта  $\rho$  в естественном состоянии – это масса единицы объема грунта вместе с порами, заполненными водой или воздухом, г/см<sup>3</sup>. Для различных грунтов плотность может колебаться от 1,0 до 2,3 г/см<sup>3</sup> и зависит от минералогического состава, содержания органических примесей и влажности.

Плотность грунта в естественном состоянии определяется по формуле

$$\rho = m_{\Gamma} / V_{\Gamma}, \quad (15)$$

где  $m_{\Gamma}$  – масса грунта в естественном состоянии, г;  
 $V_{\Gamma}$  – объем образца грунта, см<sup>3</sup>.

Плотность сухого грунта  $\rho_a$  (скелета грунта) численно равна отношению массы образца грунта, высушенного при температуре  $105 \pm 2$  °С, к его первоначальному объему

$$\rho_a = m_{сг} / V_{г}, \quad (16)$$

где  $m_{сг}$  – масса грунта, высушенного при температуре  $105 \pm 2$  °С.

Плотность частиц грунта  $\rho_s$  численно равна отношению массы частиц грунта к занимаемому им объему

$$\rho_s = m_s / V_s, \quad (17)$$

где  $m_s$  – масса твердых частиц грунта, г;

$V_s$  – объем, занимаемый частицами грунта,  $\text{см}^3$ .

Плотность грунта определяется методами, указанными в табл. 21.

Таблица 21

*Методы определения плотности грунтов*

Грунты	Определяемая плотность	Метод определения
Песчаные Глинистые	$\rho_s$	Пикнометрический
Песчаные Глинистые	$\rho$	Режущего кольца (цилиндра)
Песчаные, содержащие гравий		Метод лунки (в полевых условиях)
Твердые глинистые		Метод гидростатического взвешивания (парафинирования)
Песчаные Глинистые	$\rho_a$	Метод расчета по известной влажности

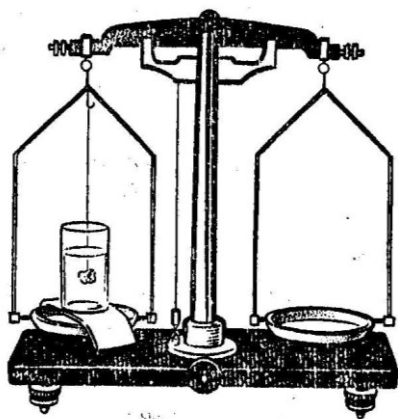


Рис. 6. Весы с подставкой для гидростатического взвешивания

**3.2.1. Определение плотности твердых глин природной влажности ненарушенного сложения методом гидростатического взвешивания**

**Оборудование:** технические весы с разновесами, стеклянный стакан, нож, парафин, подставка для стакана с водой (рис. 6) [10].

### **Проведение испытаний:**

– подготавливают пробу грунта ненарушенного сложения и природной влажности объемом около 30 см<sup>3</sup>, ножом придают овальную форму, удаляя углы;

– образец, перевязанный нитью, взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г;

– подготовленный образец погружают в расплавленный парафин на 1 – 2 с (запарафинированный образец должен иметь гладкую поверхность без пузырьков воздуха; их удаляют, прокалывая разогретой иглой и разглаживая место прокола);

– запарафинированный образец взвешивают сначала на воздухе, потом в воде;

– все измерения проводят на двух образцах с расхождением плотности не более чем на 0,03 г/см<sup>3</sup>;

– плотность рассчитывается по формуле

$$\rho = m \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}} / \rho_{\text{п}} (m_1 - m_2) - \rho_{\text{в}} (m_1 - m), \quad (18)$$

где  $m$  – масса образца грунта без парафина, г;

$m_1$  – масса образца с парафином, взвешенного на воздухе, г;

$m_2$  – масса образца с парафином, взвешенного в воде, г;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, 1 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность парафина, 0,9 г/см<sup>3</sup>.

Данные заносят в лабораторный журнал (табл. 22).

### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 22

*Лабораторный журнал расчета плотности связных грунтов с природной влажностью*

Показатель	Значение
Масса образца грунта без парафина $m$ , г	
Масса образца грунта с парафином, взвешенного в воздухе $m_1$ , г	
То же, взвешенного в воде $m_2$ , г	
Плотность воды $\rho_{\text{в}}$ , г/см <sup>3</sup>	
Плотность парафина $\rho_{\text{п}}$ , г/см <sup>3</sup>	
Плотность влажного грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	

**Вывод:** указать полученную плотность грунта.

### 3.2.2. Определение плотности грунта в естественном состоянии ( $\rho$ )

**Оборудование:** режущее кольцо, нож-правильо, весы с разновесами [10].

**Проведение испытаний:**

– определить массу кольца на технических весах с точностью до 0,01 г и его объем по формуле

$$V_k = (\pi D^2/4)h, \quad (19)$$

где  $D$  – внутренний диаметр кольца, см (для глинистого грунта  $D \geq 5$  см; для песчаного  $D \geq 7$  см);

$h$  – высота кольца, см.

– поставить кольцо острым краем на монолит грунта и вырезать образец диаметром, превышающим диаметр кольца;

– тщательно зачистить грунт вровень с краями кольца, обтереть кольцо и взвесить;

– данные занести в лабораторный журнал (табл. 23).

**Обработка результатов:** плотность рассчитать по формуле

$$\rho = (m_{кг} - m_k)/V_k, \quad (20)$$

где  $m_{кг}$  – масса кольца с грунтом, г;

$m_k$  – масса кольца, г;

$V_k$  – объем кольца, см<sup>3</sup>.

#### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 23

*Лабораторный журнал расчета плотности грунта*

Показатель	Значение
Диаметр кольца $D$ , см	
Высота кольца $h$ , см	
Масса пустого кольца $m_k$ , г	
Масса кольца с грунтом $m_{кг}$ , г	
Объем кольца, $V_{см^3}$	
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	

**Вывод:** указать полученную плотность грунта.

### 3.2.3. Определение плотности сухого грунта $\rho_a$

*Примечание.* Испытания являются дополнением к предыдущей работе и определяются одновременно.

*Дополнительное оборудование:* сушильный шкаф, бюкса с крышкой, эксикатор, щипцы.

***Проведение испытаний:***

- взять пробу массой  $\sim 10$  г из режущего кольца после определения  $\rho$ ;
- определить влажность грунта по методике, описанной в пункте 2.5;
- результаты занести в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 24.

***Обработка результатов:*** рассчитать  $\rho_a$  по формуле

$$\rho_a = \rho / (\rho_v + 0,01W), \quad (21)$$

где  $\rho_v$  – плотность воды,  $\text{г/см}^3$ .

#### ***Пример оформления лабораторных испытаний***

Таблица 24

##### ***Лабораторный журнал расчета плотности сухого грунта***

Показатель	Значение
Влажность грунта $W$ , %	
Плотность влажного грунта $\rho$ , $\text{г/см}^3$	
Плотность сухого грунта $\rho_a$ , $\text{г/см}^3$	

***Вывод:*** указать полученную плотность грунта.

*Примечание:* в грунтах, залегающих ниже уровня подземных вод (УПВ), частицы сухого грунта испытывают взвешивающее действие воды. Плотность сухого грунта с учетом взвешивающего действия воды определяют по формуле

$$\rho_a^B = (\rho_s - \rho_v) / (1 + e).$$

### 3.2.4. Определение плотности твердых частиц $\rho_s$

Плотность твердых частиц грунта зависит от плотности входящих в его состав минералов и их количества и колеблется от 2,2 до 2,8 г/см<sup>3</sup>. Наличие гумуса понижает, а содержание тяжелых минералов повышает значение плотности. Плотность твердых частиц грунта определяется пикнометрическим методом.

**Оборудование:** фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 1 мм, сушильный шкаф, весы с разновесами, пикнометр, песчаная баня.

#### **Проведение испытаний:**

- растереть пробу воздушно-сухого грунта в фарфоровой ступке пестиком и пропустить через сито с размером отверстий 1 мм;
- из прошедшего через сито грунта отобрать навеску массой ~ 15 г и высушить ее до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре  $105 \pm 2$  °С;
- перенести высушенную пробу при помощи воронки в предварительно взвешенный пикнометр;
- взвесить пикнометр с грунтом и определить массу сухой пробы грунта  $m_0$ , г;
- заполнить пикнометр дистиллированной водой до половины объема;
- суспензию в пикнометре прокипятить для удаления пузырьков воздуха на песчаной бане (рис. 7) в течение 30 мин (пески и супеси) или одного часа (суглинки и глины);

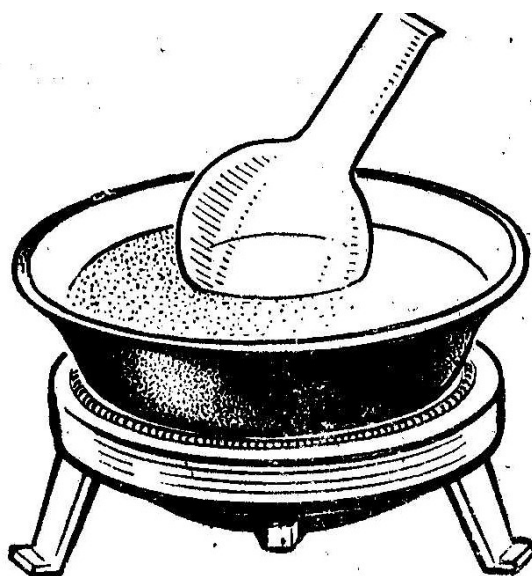


Рис. 7. Пикнометр на песчаной бане

– долить до метки на пикнометре кипяченую дистиллированную воду и охладить содержимое до комнатной температуры; установить мениск воды в пикнометре точно по метке путем добавления воды пипеткой;

– взвесить пикнометр с водой и грунтом и определить массу  $m_1$ , г;

– вылить суспензию из пикнометра, наполнить его дистиллированной водой до мерной черты и взвесить, определив массу  $m_2$ , г;

– данные определений занести в лабораторный журнал (табл. 25).

**Обработка результатов:**

– плотность твердых частиц рассчитать по формуле

$$\rho_s = [m_0 / \{(m_0 + m_2) - m_1\}] \rho_v, \quad (22)$$

где  $\rho_v$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

– если грунт содержит водорастворимые соли, то дистиллированная вода заменяется керосином, а удаление воздуха из пикнометра производится вакуумированием.

**Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 25

*Лабораторный журнал расчета плотности твердых частиц*

Показатель	Значение
Масса высушенного грунта $m_0$ , г	
Масса пикнометра с грунтом и водой $m_1$ , г	
Масса пикнометра с дистиллированной водой $m_2$ , г	
Плотность воды $\rho_v = 1$ г/см <sup>3</sup>	
Плотность твердых частиц $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	

**Вывод:** указать полученную плотность твердых частиц.

**Примечание:** величины плотности грунта используют для определения его расчетных характеристик: пористости и коэффициента пористости, степени влажности.

### 3.3. Определение пористости и коэффициента пористости грунта

Пористость – степень заполнения объема грунта порами, она выражается в долях от объема грунта, принимаемого за единицу, или в процентах от его объема. Показатель пористости величина непостоянная и может изменяться в зависимости от степени обжатия грунта и его текстуры; зависит от генезиса, дисперсности, химико-минералогического состава и других факторов.

Пористость можно рассчитать по формуле

$$n = (1 - \rho_{\alpha}/\rho_s)100 \%, \quad (23)$$

где  $\rho_{\alpha}$  – плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>;

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

Коэффициент пористости  $e$  (относительная пористость) – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта, выраженное в долях единицы; определяется по формуле

$$e = (\rho_s - \rho_{\alpha}) / \rho_{\alpha},$$

или, выражая через пористость,  $e = n / (100 - n)$  (табл. 26).

#### *Пример оформления лабораторных испытаний*

Таблица 26

#### *Лабораторный журнал расчета пористости и коэффициента пористости*

Показатель	Значение
Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	
Плотность сухого грунта $\rho_{\alpha}$ , г/см <sup>3</sup>	
Пористость $n$ , %	
Коэффициент пористости $e$	

*Вывод:* указать полученные значения пористости и коэффициента пористости.

### 3.4. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунта

Максимальная плотность грунта определяется в лабораторных условиях методом стандартного уплотнения. Испытание заключается в установлении зависимости плотности скелета грунта от влажности по ГОСТ 22733-2002 при трамбовании образцов в стандартных условиях с определением максимальной достигаемой плотности и соответствующей ей влажности, называемой оптимальной.

Максимальная плотность является основной исходной характеристикой при назначении коэффициента уплотнения грунта в теле насыпи и контроле качества уплотнения (прил. 5). Оптимальная влажность служит одним из критериев для оценки возможности и методов использования грунта для отсыпки насыпи (прил. 6) [1].

**Оборудование:** прибор СоюздорНИИ для стандартного уплотнения грунтов, весы циферблатные, весы технические с разновесами, ступка № 7 диаметром 240 мм с пестиком, сушильный шкаф, сито с отверстиями размером 10 мм, эксикатор, чашки металлические емкостью 5 л, цилиндры мерные емкостью до 500 мл, лопаточка-мастерок.

#### **Проведение испытаний:**

– образец грунта массой 2,5 кг ( $m_1$ ) в воздушно-сухом состоянии измельчить и просеять через сито с отверстиями размером 10 мм;

– отобрать пробу из образцов грунта не менее 30 г и определить влажность  $W_1$ ;

– доувлажнить пробу грунта до исходной влажности  $W_2$ , принимаемой равной 4 % для песчаных грунтов и 8 % – для глинистых. Необходимое для доувлажнения количество воды  $Q$  определить по формуле

$$Q = [m_1 / (1 + 0,001W_1)]0,01(W_1 - W_2); \quad (24)$$

– поместить подготовленный грунт в эксикатор не менее чем на два часа;

– подготовить прибор к работе;

– установить цилиндр в поддон, не зажимая его винтами;

- установить кольцо на бортик цилиндра;
- зажать цилиндр попеременно винтами поддона и кольца;
- определить массу  $m_2$  собранного контейнера;
- установить собранный контейнер прибора на жесткое неподвижное основание массой не менее 50 кг;
- уложить грунт в стакан с подстаканником прибора СоюздорНИИ (рис. 8) примерно на 0,4 высоты и уплотнить ударами груза массой 2,5 кг, падающего с высоты 300 мм по направляющей стойке на наковальню. Количество ударов определяется видом грунта: для песков и супесей – 25; для пылеватых супесей, суглинков и глин – 40;
- добавить грунт до 0,75 высоты стакана и произвести уплотнение, аналогичное первому;
- добавить грунт до верха стакана и уплотнить аналогично двум предыдущим слоям;
- определить мерной металлической линейкой с точностью до 1 мм высоту уплотненного слоя грунта;
- стакан вместе с подстаканником взвесить с точностью до 1 г ( $m_3$ ) и определить плотность грунта по формуле
 
$$\rho = (m_3 - m_2) / V, \quad (25)$$
 где  $V$  – объем грунта в стакане,  $\text{см}^3$ ;
- разобрать прибор, извлечь грунт, растереть его с оставшимся в чашке грунтом и увеличить его влажность на 2 %;
- повторить испытания;
- испытания по определению максимальной плотности скелета грунта следует считать законченными тогда, когда с повышением влажности пробы при последующих испытаниях происходит последовательное уменьшение плотности или когда грунт перестает уплотняться и при ударах выжимается из прибора.

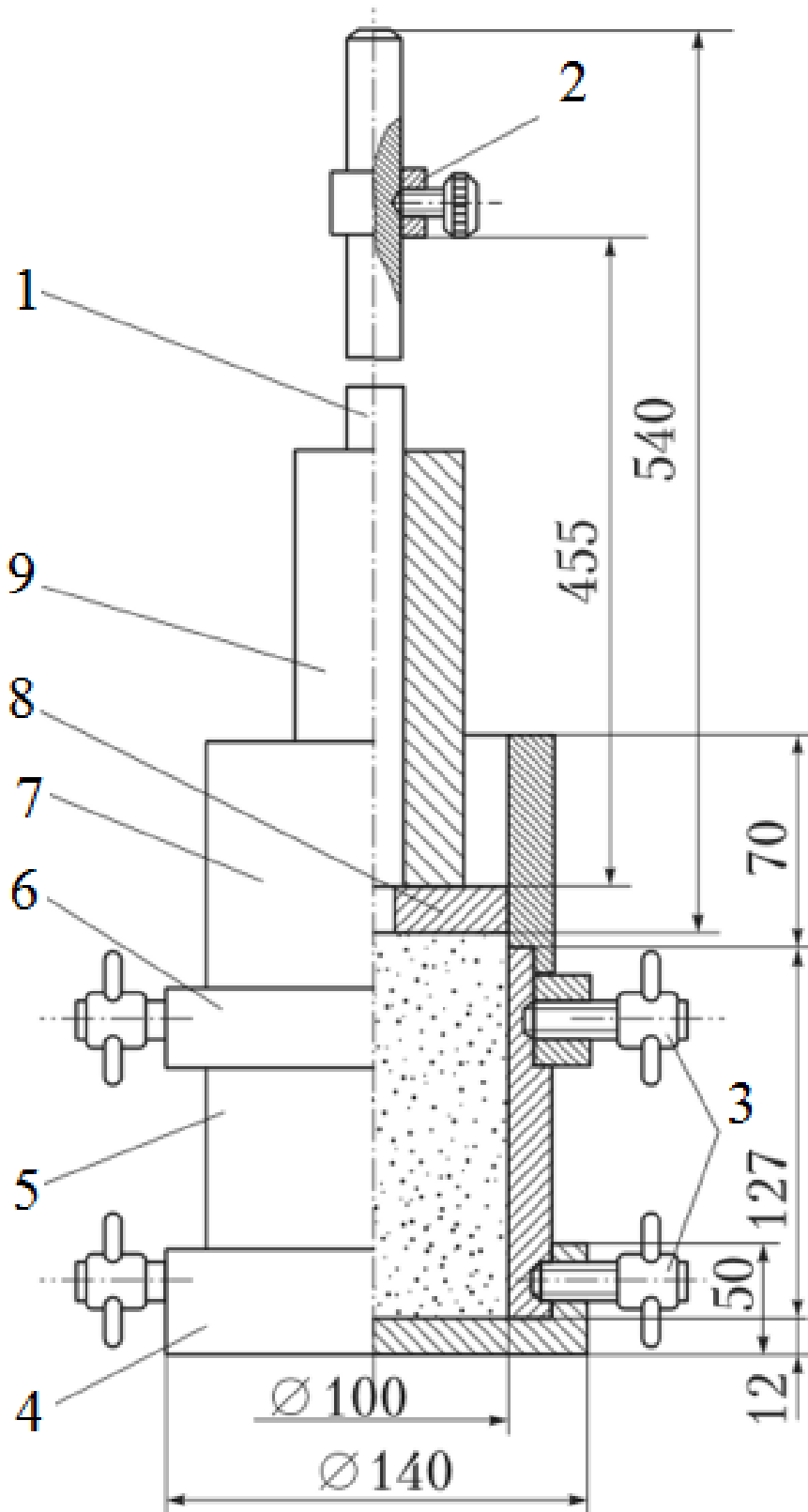


Рис. 8. Прибор стандартного уплотнения СоюздорНИИ:  
 1 – направляющий стержень; 2 – ограничитель;  
 3 – зажимный винт; 4 – поддон; 5 – разъемный цилиндр;  
 6 – кольцо; 7 – насадка; 8 – наковальня; 9 – груз массой 2,5 кг

### Обработка результатов:

– по полученным в результате испытаний значениям плотности и влажности уплотненных образцов определить плотность скелета грунта ( $\rho_a$ ) с погрешностью до  $0,01 \text{ г/см}^3$  по формуле

$$\rho_a^{\max} = \rho / (1 + 0,01W); \quad (26)$$

– построить график зависимости плотности скелета от влажности грунта (рис. 9), откладывая по оси абсцисс влажность уплотненных образцов в масштабе  $1 \text{ см} - 2 \%$ , а по оси ординат – плотность скелета грунта в масштабе  $1 \text{ см} - 0,05 \text{ г/см}^3$ ;

– найти максимум полученной зависимости и соответствующие ему величины  $\rho_a^{\max}$  и  $W_{\text{опт}}$  с точностью  $0,01 \text{ г/см}^3$  и  $0,1 \%$  соответственно.



Рис. 9. Кривая стандартного уплотнения

### 3.5. Полевые методы определения плотности

Для изучения грунтовых условий района строительства проводят инженерно-геологические изыскания, применяя два метода:

- 1 – проходку выработок с отбором образцов грунта для визуального осмотра и последующих лабораторных испытаний;
- 2 – испытания грунта в условиях природного залегания с определением механических характеристик.

Полевые методы позволяют избежать нарушение структуры и искажения свойств грунта, которыми сопровождается отбор, хранение и транспортирование проб.

Методами полевых испытаний, используемыми в дорожном строительстве, следует считать статическое и динамическое зондирование, вращательный срез, прессиометрию, электроразведку.

Основным показателем качества возведения земляного полотна, стабильности насыпи во времени является плотность грунта, или коэффициент уплотнения, который должен соответствовать требованиям норм (см. прил. 6). Контроль плотности можно вести с использованием полевых экспресс-методов и приборов, притом не менее 10 % измерений должны выполняться стандартным объемно-весовым методом. Разница значений коэффициента уплотнения по поперечному сечению в верхнем слое земляного полотна не должна превышать  $\pm 0,02$ .

Для оценки плотности и влажности грунта применяют плотномер-влажномер Ковалева. Экспрессная оценка плотности грунтов выполняется с помощью ручных приборов для статической и динамической пенетрации (табл. 27) [1].

Таблица 27

*Техническая характеристика плотномеров*

Характеристика	Тип плотномера		
	Статический		Динамический
	СП	Белдорнии	
Рабочий наконечник			
– форма	Цилиндр	конус 30°	конус 60°
– диаметр наконечника, мм	8/11,3	43,4	16
– высота, мм	80	81	-
– площадь лобового сечения, см <sup>2</sup>	0,5/1	15	2
– глубина пенетрации, см	10	10	30
– длительность одного замера, мин	2	5	3
– длина прибора, мм	810	500	860
– масса прибора, кг	2,5	2	3,5

Плотномеры статического действия применяют для определения плотности песчаных, в том числе содержащих до 15 % включений крупнее 2 мм, и глинистых грунтов. Динамический зонд служит для работы в песчаных грунтах. В крупнообломочных грунтах плотность определяют методом замещения объема (метод лунки) или используют баллонные плотномеры.

## **Определение плотности и влажности грунта прибором Н. П. Ковалева**

Плотномер-влажномер Ковалева предназначен для определения плотности грунта и его влажности, в том числе оптимальной. Дополнительное оборудование позволяет определить и предел текучести.

**Принцип пользования прибором** заключается в следующем. Грунт в воде тщательно размешивают. При этом воздух, находящийся в порах, удаляется, а влага соединяется с окружающей водной средой. По оставшейся твердой фазе грунта, замеряемой прибором Ковалева, определяют различные показатели грунта без учета его влажности. Если же заранее взвесить влажный грунт в воздушной среде, то можно определить и естественную влажность, а при полном комплекте прибора (рис. 10) – нижнюю границу текучести.

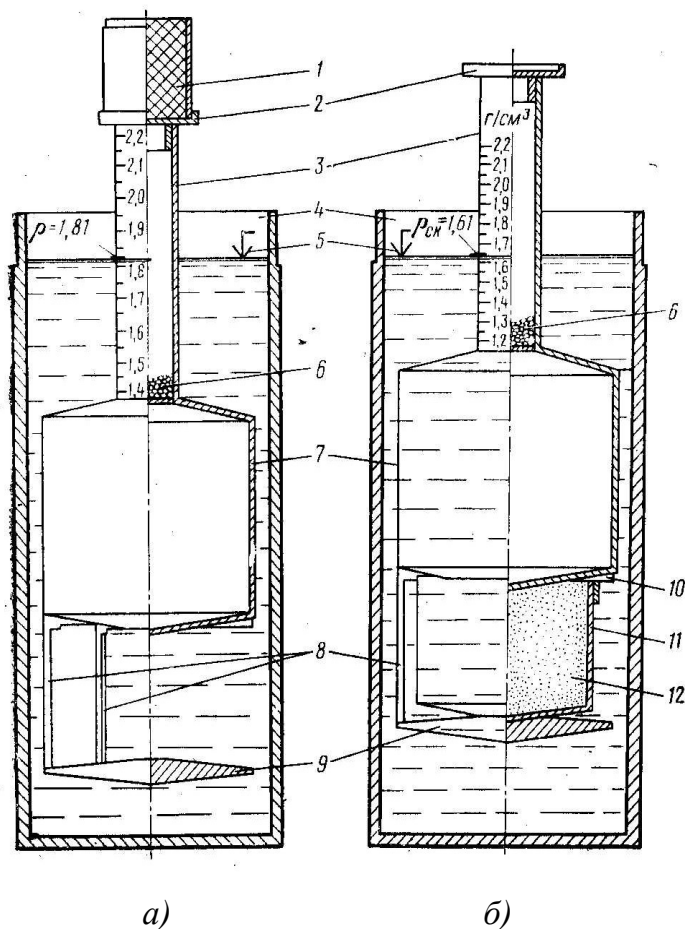


Рис. 10. Прибор для определения плотности грунта:  
 а – влажного, б – сухого: 1 – режущий цилиндр;  
 2 – крышка-подставка; 3 – трубка с нанесенными шкалами;  
 4 – футляр-резервуар; 5 – уровень; 6 – тарировочный груз;  
 7 – корпус; 8 – стойки; 9 – поддон; 10 – уголки; 11 – сосуд; 12 – грунт

Плотность частиц грунта за редким исключением колеблется в сравнительно небольших пределах. В связи с этим Н.П. Ковалев предложил различать три группы по плотности сухого грунта [12]:

- глинистые –  $\rho_\alpha = 2,70 \text{ г/см}^3$ ;
- песчаные –  $\rho_\alpha = 2,65 \text{ г/см}^3$ ;
- с содержанием гумуса –  $\rho_\alpha = 2,60 \text{ г/см}^3$ .

Влагомер-плотномер состоит из трех приспособлений (рис. 10, а, б): для определения плотности и влажности грунтов, отбора и подготовки проб, определения верхней границы пластичности. Приспособления изготовлены из нержавеющей стали, уложены в цилиндрический футляр диаметром 200 мм и высотой 410 мм. Масса прибора около 5 кг.

**Оборудование:** Прибор Н. П. Ковалева с полным комплектом оборудования, нож для срезания отобранной пробы грунта.

**Подготовка пробы:** пробу грунта берут режущим кольцом – грунтоносом. Для этого выравнивают площадку в месте испытания и при помощи насадки погружают режущее кольцо до полного заполнения кольца объемом  $200 \text{ см}^3$ . По мере погружения режущего кольца ножом удаляют грунт. Когда кольцо будет заполнено грунтом с избытком на 3 – 4 мм, его извлекают и зачищают поверхность.

**Проведение испытаний:**

– определяют плотность влажного грунта по шкале «Вл», для чего режущее кольцо с грунтом устанавливают на нижнюю крышку поплавка, закрепляя замками. Поплавок погружают в футляр-резервуар с водой. По шкале «Вл» на уровне воды в футляре берут отсчет, соответствующий плотности влажного грунта ( $\rho$ ). Данные заносят в лабораторный журнал (табл. 28);

– определяют плотность скелета грунта ( $\rho_\alpha$ ) по одной из трех шкал «Г», «П», «Ч» в зависимости от вида грунта, для чего пробу из кольца полностью переносят в сосуд, заливают водой на  $\frac{3}{4}$  вместимости сосуда. Грунт тщательно растирают в воде деревянной ручкой ножа до получения однородной суспензии. Сосуд соединяют с поплавком и погружают в футляр-резервуар с водой. Вода через зазор между поплавком и сосудом наполнит остальное пространство сосуда, и весь поплавок с сосудом погрузится в воду до определенного уровня. Отсчеты берут в зависимости от вида грунта по одной из шкал. Взятый отсчет принимают за плотность скелета ( $\rho_\alpha$ ). Данные заносят в лабораторный журнал.

### **Обработка испытаний:**

– расчет природной (естественной) влажности производят по результатам испытаний по формуле

$$W = \{(\rho - \rho_{\alpha}) / \rho_{\alpha}\} 100, \quad (27)$$

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

$\rho_{\alpha}$  – плотность скелета грунта по одной из шкал, г/см<sup>3</sup>.

Данные расчетов заносят в лабораторный журнал (табл. 28).

### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 28

#### *Лабораторный журнал испытаний грунта прибором Ковалева*

Показатель	Значение
Плотность влажного грунта по шкале «Вл» $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	
Плотность скелета грунта $\rho_{\alpha}$ , г/см <sup>3</sup>	
Естественная влажность $W$ , %	

*Вывод:* указать полученные при испытании данные.

### **3.6. Определение высоты капиллярного поднятия**

Капиллярное поднятие воды по порам обусловлено действием сил поверхностного натяжения и наличием в грунте сложной системы капиллярных пор различной формы и размеров.

Высота капиллярного поднятия зависит от гранулометрического и минералогического состава, структуры, сложения и первоначального увлажнения грунта и определяется наблюдением за поднятием уровня воды в стеклянной трубке с грунтом.

В среднем значения капиллярного поднятия грунтов представлены в табл. 29[3].

Таблица 29

#### *Значение капиллярного поднятия*

Грунт	Значение, см
Пески крупнозернистые	10 – 15
Пески среднезернистые	15 – 25
Пески мелкозернистые	25 – 40
Суглинки, лёссовые и пылеватые грунты	200 – 400
Глинистые грунты	100 – 150

**Оборудование:** стеклянная трубка диаметром 30 мм и высотой 760 мм, воронка, сосуд фарфоровый или стеклянный емкостью 300 см<sup>3</sup>.

**Проведение испытаний:**

– нижний конец градуированной стеклянной трубки обвязать марлей и через воронку засыпать грунт, уплотняя его мелким постукиванием о стенки;

– трубку с грунтом укрепить в штативе, погрузив ее конец на 0,5 – 1 см в сосуд с водой (рис. 11);

– наблюдать за высотой капиллярного поднятия по потемнению грунта, производя замеры уровней через 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 мин и один час;

– данные наблюдений занести в журнал (табл. 30) и построить зависимость высоты капиллярного поднятия от времени  $H_k = f(t)$ .

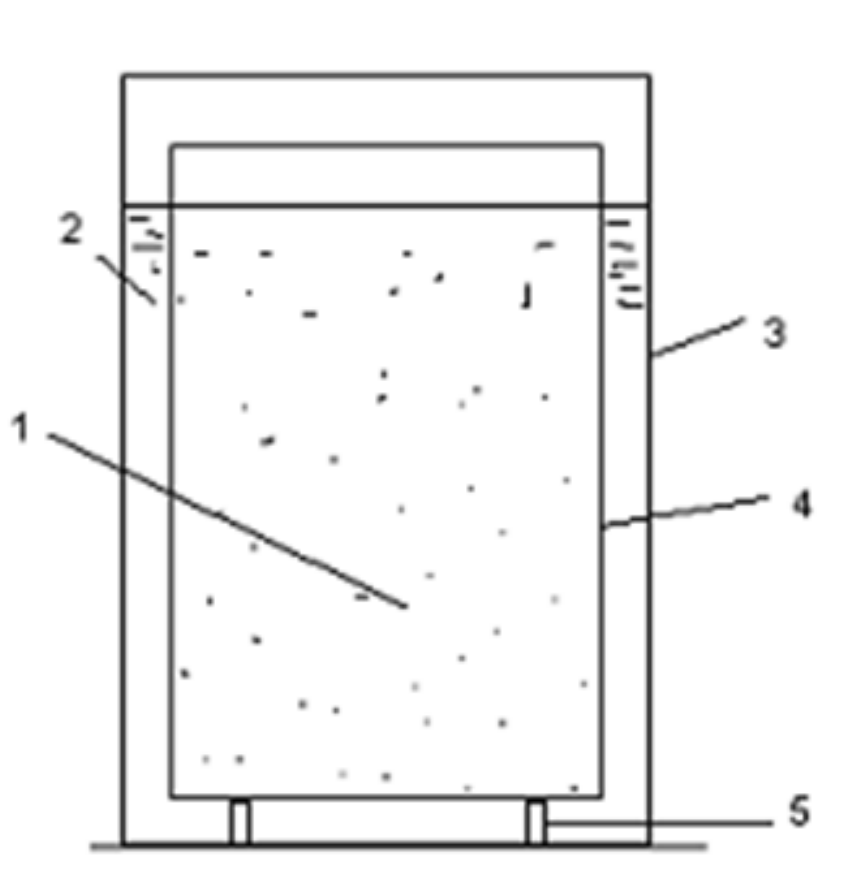


Рис. 11. Прибор для определения полной влагоемкости грунтов:  
1 – грунт; 2 – вода; 3 – стеклянный сосуд; 4 – латунный цилиндр;  
5 – подставка

## Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 30

### Лабораторный журнал определения капиллярного поднятия

Показатель	Значение
Высота слоя грунта, см	
Высота капиллярного поднятия за время:	
от начала опыта – 5 мин	
– 10 мин	
– 20 мин	
– 30 мин	
– 1 час	
Скорость капиллярного поднятия, см/с	

*Вывод:* указать полученную величину капиллярного поднятия.

### 3.7. Определение набухания грунтов

Набуханием грунта называется увеличение его объема при взаимодействии с водой. Набухающим считается грунт, который при замачивании водой или другой жидкостью увеличивается в объеме и при этом относительное набухание происходит в условиях свободного набухания (без нагрузки)  $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$ .

Величина набухания определяется в приборе Знаменского (ПНЗ-1). Испытаниям подвергаются образцы ненарушенной структуры.

**Оборудование:** прибор ПНЗ-1, весы с разновесами, фильтры бумажные, индикатор часового типа.

#### **Проведение испытаний:**

- режущим кольцом взять пробу грунта и взвесить кольцо с грунтом на технических весах с точностью до 0,01 г;
- уложить на перфорированный поддон, смоченный водой бумажный фильтр, поместить кольцо с грунтом в поддон режущим краем вверх и накрыть влажным фильтром;
- установить на образец грунта штамп;
- закрепить обойму в поддоне, установить индикатор часового типа винтом так, чтобы ножка индикатора была в растянутом состоянии и стрелка совпадала с нулевой отметкой шкалы;

- собранный прибор установить в ванночке и налить в нее воды до риски на внутренней поверхности;
- отметить время заливки водой и брать отсчеты по индикатору через 10, 20, 30 минут и один час;
- опыт считать законченным, если приращение показаний индикатора не превышает 0,02 мм/сут.;
- определить влажность набухания  $W_n$  путем взвешивания и сушки.

**Обработка результатов:**

- по индикатору определяется полное приращение высоты образца в результате набухания  $\Delta h$  в миллиметрах;
- величина относительного набухания определяется по формуле

$$\varepsilon_{sw} = (h_{sw} - h) / h, \quad (28)$$

где  $h_{sw}$  – высота образца после его свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения в результате замачивания до полного водонасыщения;

$h$  – начальная высота образца природной влажности;

- вывод о набухании грунта делается в соответствии с ГОСТ 25100-95, данные которого представлены в табл. 31.

Таблица 31

*Набухание грунта*

Вид грунта	Значение $\varepsilon_{sw}$
Ненабухающий	$\varepsilon_{sw} < 0,04$
Слабонабухающий	$0,04 \leq \varepsilon_{sw} \leq 0,08$
Средненабухающий	$0,08 < \varepsilon_{sw} \leq 0,12$
Сильнонабухающий	$\varepsilon_{sw} > 0,12$

- влажность набухания определяется по формуле

$$W = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_0), \quad (29)$$

где,  $m$  – масса кольца, г;

$m_1$  – масса кольца с набухшим грунтом, г;

$m_2$  – масса грунта с кольцом после сушки, г;

- показания отсчетов по индикатору и результаты вычислений заносят в лабораторный журнал (табл. 32).

## Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 32

### Лабораторный журнал определения набухания грунтов

Показатель	Значение
Полное приращение высоты по индикатору $\Delta h$ , мм; Величина относительного набухания $\varepsilon_{sw}$ Влажность набухания $W$ , %	

*Вывод:* указать полученную величину набухания грунтов.

### 3.8. Определение усадки грунтов

Усадкой называется способность влажных грунтов уменьшать свой объем при высыхании. Величина усадки зависит от минералогического и химического составов грунта, наличия глинисто-коллоидных и песчаных фракций; глинистые грунты дают бóльшую усадку, супесчаные – незначительную. Принято определять линейную и объемную усадку [3].

#### 3.8.1. Определение линейной усадки грунта

**Оборудование:** фарфоровая чашка, сито с отверстиями размером 0,5 мм, шпатель, измеритель, две металлические пластины, сушильный шкаф, эксикатор.

**Подготовка пробы:** берут 50 г воздушно-сухого грунта и просеивают через сито с отверстиями размером 0,5 мм, замешивают с водой до состояния рабочего (пластичного) теста и выдерживают в эксикаторе  $24 \pm 2$  ч. Из готового теста делают лепешку толщиной более 1 см [3].

**Проведение испытаний:**

– подготовленный образец помещают между пластинами, предварительно смазанными маслом, и прижимают так, чтобы зазор между ними был 1 см;

– верхнюю пластину снимают и вырезают образец – параллелепипед размерами  $1 \times 2 \times 6$  м;

- на образце делают метки (раствором через 5 мм) по каждой диагонали  $a_1$  и  $a_2$ ;
- подготовленный образец на металлической пластине помещают в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы;
- на высушенном образце измеряют расстояние по диагоналям между прежними метками  $a_3$  и  $a_4$ .

**Обработка результатов:**

- линейную усадку подсчитывают по формуле, %,

$$Y = \frac{a_1 - a_3}{a_1} + \frac{a_2 - a_4}{a_2} - 100; \quad (30)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – расстояния между метками до высушивания, мм;

$a_3$  и  $a_4$  – расстояния после высушивания, мм;

- данные заносят в журнал лабораторных испытаний (табл. 32).

### 3.8.2. Определение объемной усадки грунта

**Оборудование:** эксикатор, сито с размером отверстий 0,5 мм, металлическая форма диаметром 4 – 5 и высотой 2 – 3 см, сушильный шкаф.

**Проведение испытаний:**

- подготовленную пробу грунта (см. п. 3.8.1) закладывают в предварительно смазанную вазелином форму;
- форму с тестом подсушивают предварительно на воздухе, затем при  $t = 40$  °С, после чего помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре 105 °С до постоянной массы.

**Обработка результатов:**

- определяют размеры образца грунта и его объем;
- рассчитывают объемную усадку грунта по формуле

$$Y_0 = (V - V_0) / V, \quad (31)$$

где  $V$  – объем грунтового теста до высушивания, см<sup>3</sup>;

$V_0$  – объем высушенного образца, см<sup>3</sup>.

Результаты заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 33.

## Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 33

### Определение усадки грунтов

Показатель	Значение
Продолжительность выдерживания теста в эксикаторе, ч; Размеры образца (формы)*, см; Расстояние до высушивания $a_1$ и $a_2$ (диаметр и высота), см; Расстояния после высушивания $a_3$ и $a_4$ (диаметр и высота), см; Линейная ( $U$ , %) и объемная ( $U_0$ , %) усадка грунта.	

\*Примечание: в скобках указаны показатели для пункта. 3.8.2.

*Вывод:* указать полученную величину усадки грунтов.

### 3.9. Определение влагоемкости грунта

Способность грунтов удерживать в своих порах воду называется влагоемкостью. Влагоемкость может быть гигроскопической, максимальной молекулярной, капиллярной (относительной) и полной. Гигроскопической влагоемкостью называется способность частиц грунта притягивать из воздуха парообразную влагу. Максимальной молекулярной влагоемкостью называется способность грунта удерживать в себе влагу силами молекулярного сцепления между частицами грунта и водой. Капиллярной (относительной) называется влагоемкость, при которой вода заполняет в грунте только капилляры. Влагоемкость, при которой все поры грунта заполнены водой, а коллоидная часть набухла, называется полной, или максимальной [3].

#### Определение полной влагоемкости грунта

**Оборудование:** латунный цилиндр с сетчатым дном, стеклянный сосуд, фильтровальная бумага, весы с разновесами (см. рис. 11).

**Проведение испытаний:**

- берут среднюю пробу воздушно-сухого грунта;
- на дно латунного цилиндра (см. рис. 11) укладывают фильтровальную бумагу и взвешивают цилиндр на весах с точностью до 1 г;
- засыпают цилиндр грунтом, не досыпая до края 0,5 см, и вновь взвешивают;

– цилиндр с грунтом помещают в сосуд с водой так, чтобы уровень воды в сосуде совпадал с уровнем грунта в цилиндре, и выдерживают до полного насыщения (поверхность грунта темнеет);

– цилиндр вынимают из сосуда и оставляют на 10 мин для стекания избытка воды, затем обтирают и взвешивают с влажным грунтом.

**Обработка результатов:**

– полную влагоемкость рассчитывают по формуле

$$W = (m_1 - m_0) / (m_0 - m), \quad (32)$$

где  $m$  – масса пустого цилиндра, г;

$m_1$  – масса цилиндра с влажным грунтом, г;

$m_0$  – масса цилиндра с высушенным грунтом, г;

Результаты измерений и расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 34.

**Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 34

*Лабораторный журнал определения полной влагоемкости*

Показатель	Значение
Масса пустого цилиндра $m$ , г	
Масса цилиндра с влажным грунтом $m_1$ , г	
Масса цилиндра с сухим грунтом $m_0$ , г	
Полная влагоемкость $W$ , %	

*Вывод:* указать полученное значение влагоемкости.

**3.10. Определение скорости и характера размокания грунтов**

Размокаемостью называется способность глинистых грунтов при впитывании воды терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной потерей несущей способности.

Размокаемость зависит от минералогического и гранулометрического состава, влажности, степени связности грунта.

Величина размокаемости необходима при оценке устойчивости откосов выемок, насыпей и других земляных сооружений. Оценивается временем, в течение которого образец грунта в воде теряет связность и распадается. Для определения размокаемости используется прибор ПРГ-1.

**Оборудование:** прибор ПРГ-1, нож-правило, секундомер.

**Проведение испытаний:**

- прибор залить водой на высоту 80 мм от дна и установить стрелку на нулевое деление;
- установить образец на сетку прибора;
- погрузить сетку с образцом в воду и записать отметку по шкале  $H$ ;
- записать в журнал (табл. 35) показания прибора  $H_i$  через 1, 5, 10, 25, 30 и т. д. мин;
- опыт считать законченным, когда грунт полностью пройдет через сетку на дно прибора.

**Обработка результатов:**

- вычислить долю распада грунта в каждый промежуток времени по формуле

$$Spi = (H - H_i) / H. \quad (33)$$

По результатам расчета построить кривую зависимости доли распада грунта от времени.

### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 35

#### **Журнал показаний прибора**

Показания прибора	Значения									
	$H_1$	%	$H_5$	%	$H_{10}$	%	$H_{25}$	%	$H_{30}$	%
Отметка по шкале										

### **3.11. Определение водопроницаемости грунтов**

Водопроницаемостью называется способность грунтов пропускать через себя воду под действием силы тяжести или гидростатического напора. Движение воды под действием напора называется фильтрацией. Мерой водопроницаемости грунта служит коэффициент фильтрации, равный скорости фильтрации при градиенте напора, равном единице. Градиент напора – отношение разницы напоров к длине пути фильтрации. Грунты принято подразделять на дренирующие и недренирующие с коэффициентом фильтрации соответственно более или менее 0,5 м/сут. Коэффициенты фильтрации различных грунтов приведены в прил. 7.

Значение коэффициента фильтрации требуется при расчете дорожных одежд, дренажных устройств, определения скорости уплотнения, осушения грунтовых массивов т. д. Для лабораторного определения коэффициента фильтрации используют прибор В. М. Безрука, прибор КФ-00М и прибор ПКФ-СоюздорНИИ.

### 3.12. Определение коэффициента фильтрации песка

**Оборудование:** прибор ПКФ-СоюздорНИИ (рис. 12), нож, эксикатор, сито с отверстиями размером 5 мм, кристаллизатор, весы с разновесами, аппаратура для определения влажности, отстоявшаяся питьевая вода без механических примесей.

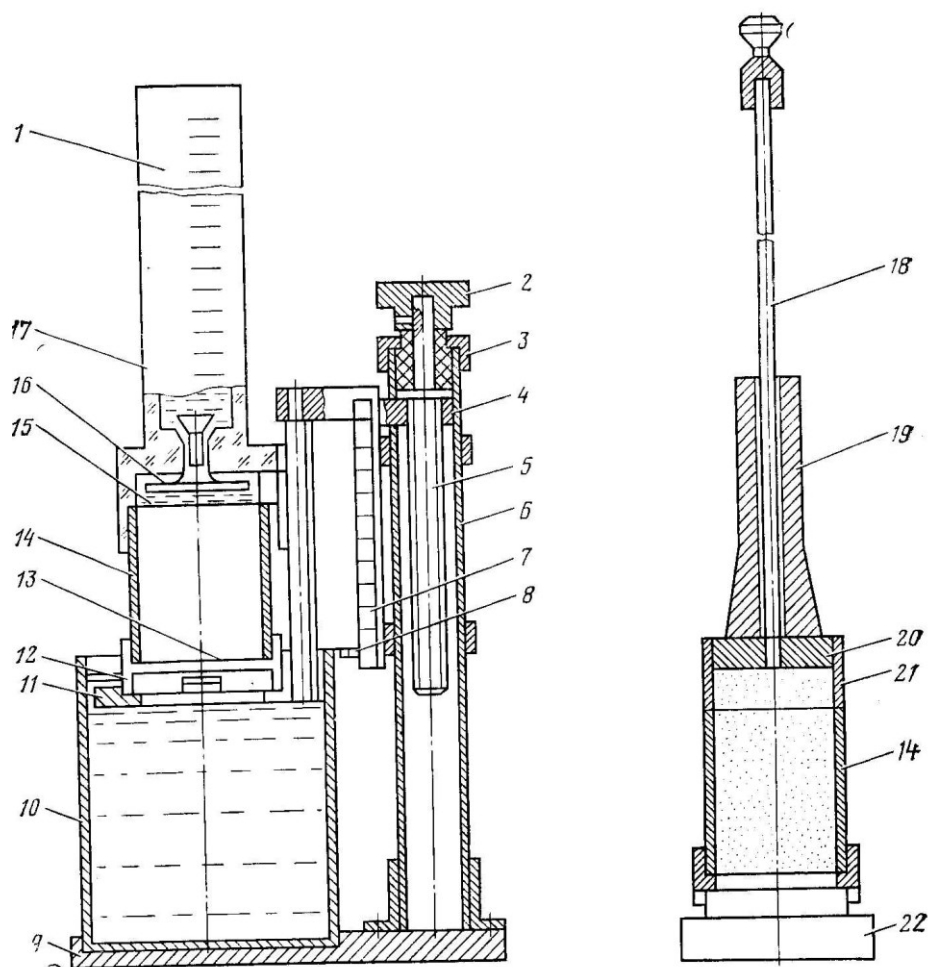


Рис. 12. Прибор ПКФ-СоюздорНИИ для определения коэффициента фильтрации песков: 1 – шкала; 2 – штурвал; 3 – втулка; 4 – гайка; 5 – винт; 6 – колонна-трубка; 7 – наклонный кронштейн; 8 – стрелка-указатель; 9 – плита; 10 – сосуд; 11 – подставка; 12 – поддон; 13 – латунная сетка; 14 – цилиндр; 15 – сито; 16 – поплавок; 17 – мерный сосуд; 18 – направляющий стержень трамбовки; 19 – гиря; 20 – наковальня; 21 – кольцо-насадка; 22 – вкладыш

### ***Подготовка пробы грунта***

*1-я методика.* Песок ненарушенного сложения при максимальной плотности. Берут среднюю пробу пропущенного через сито с отверстиями размером 5 мм воздушно-сухого песка, увлажняют до влажности 8 % и помещают в эксикатор. В поддон вкладывают кружок марли и вставляют цилиндр, все взвешивают, надевают насадку и засыпают песок в три слоя с трамбованием по 25 ударов на слой. Одновременно отбирают пробы на влажность. По окончании трамбования третьего слоя насадку снимают, излишек грунта срезают ножом, цилиндр в сборе повторно взвешивают, определяя массу влажного грунта, и пересчетом по известной влажности вычисляют плотности сухого грунта.

*2-я методика.* Для определения коэффициента фильтрации песка рыхлого сложения в цилиндр доверху насыпают песок в воздушно-сухом состоянии.

*3-я методика.* Для определения коэффициента фильтрации песка ненарушенного сложения отбирают не менее трех монолитов песчаного грунта. Торцы монолита зачищают, отбирая пробы на влажность, и временно для транспортировки закрывают крышками. В лаборатории крышку снимают и насаживают на нижний торец цилиндра поддон. Взвешивают цилиндр, определяя массу влажного грунта, и по известной влажности определяют плотность сухого грунта.

### ***Проведение испытаний:***

– собирают прибор, устанавливая ванну, помещают цилиндр с грунтом на подставку, штатив ставят в кристаллизатор, устанавливая градиент 0,6, и наливают в ванну воду, выдерживая образец до водонасыщения;

– надевают на верхний торец цилиндра сито, насаживают мерный сосуд и опускают цилиндр в положение градиента 0 для вытеснения воздуха;

– после появления воды в поплавковой камере прочищают в ней отверстия и наполняют мерный сосуд водой;

– устанавливают фильтрационную трубку на заданный гидравлический градиент, следя, чтобы уровень воды в ванне постоянно находился вровень с ее краями;

– доливают в мерный сосуд воду;

– измеряют ее температуру.

### **Обработка результатов:**

– замечая по шкале уровень воды, пускают секундомер и через 20 – 100 с (для быстрофильтрующих песков) или 200 – 500 с (для медленнофильтрующих) замечают в момент остановки секундомера второй уровень, определяя расход воды за истекшее время [1];

– опыт повторяют не менее двух раз, результаты измерений заносят в лабораторный журнал (табл. 36);

– коэффициент фильтрации определяют по формуле:

$$K = (864 \cdot Q) / (F \cdot T \cdot i \cdot r), \quad (34)$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации при заданной температуре (при 10 °С), м/сут;

$Q$  – расход воды мл;

$F$  – площадь поперечного сечения цилиндра, см<sup>2</sup>;

$T$  – время, с;  $i$  – напорный градиент;

$r$  – температурная поправка, равная  $(0,7 + 0,03t)$ ;

$t$  – температура фильтрующей воды, °С.

### **Пример оформления лабораторных испытаний**

Таблица 36

*Расчет коэффициента фильтрации песка*

Показатель	Значение
Влажность песка $W$ , % заданная	
фактическая	
Площадь сечения латунной трубки $F$ , см <sup>2</sup>	
Высота слоя песка, см.	
Объем песка в трубке $V$ , см <sup>3</sup> .	
Масса пробы песка $m$ , г.	
Плотность влажного песка, г/см <sup>3</sup> .	
Плотность скелета песка, г/см <sup>3</sup> .	
Первоначальный напор $H_0$ , см. при гидравлическом градиенте $i = 1$	
– » – $i = 2$	
Коэффициент фильтрации $K$ , м/сут.	

**Вывод:** указать полученное значение коэффициента фильтрации.

**Примечание:** за окончательную величину коэффициента фильтрации принимается среднее арифметическое результатов параллельных определений, отличающихся между собой не более чем на 10 %.

## Глава 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ

В главе рассматриваются основные закономерности механики грунтов как механики дисперсных тел, которые совместно с уравнениями теоретической механики и механики деформируемых сплошных тел дают систему зависимостей для решения задач механики грунтов. Эти закономерности и необходимые при их использовании характеристики грунтов, а также возможности их практического применения приведены в табл. 37. Перечисленные зависимости являются важнейшими закономерностями, описывающими механические свойства дисперсных (мелкораздробленных) тел, какими являются грунты [2].

Таблица 37

*Основные закономерности механики грунтов*

Особые свойства грунтов	Закономерность	Показатели	Практическое приложение в механике грунтов
Сжимаемость	Закон уплотнения	Коэффициент сжимаемости	Расчет осадок фундамента, грунтовых оснований
Водопроницаемость	Закон ламинарной фильтрации	Коэффициент фильтрации	Прогноз скорости осадок водонасыщенных грунтовых оснований
Контактная сопротивляемость сдвигу	Условие прочности	Коэффициент внутреннего трения и сцепление	Расчеты предельной прочности, устойчивости и давления на ограждения
Структурно-фазовая деформируемость	Принцип линейной деформируемости	Модули деформируемости	Определение напряжений и деформаций грунтов

*Сжимаемость* грунтов, обусловленная изменением их пористости под действием внешних сил вследствие переупаковки частиц (т. е. изменения содержания твердых частиц в единице объема), – есть свойство только дисперсных материалов.

*Водопроницаемость* представляет общее свойство всех пористых тел, для грунтов имеет особенность, так как является для них переменной величиной, изменяющейся в процессе уплотнения под нагрузкой.

*Контактная сопротивляемость сдвигу* обусловлена лишь внутренним трением в сыпучих грунтах и трением со сцеплением в связанных грунтах.

*Деформируемость* грунтов зависит как от сопротивляемости и податливости их структурных связей, так и от деформируемости отдельных компонентов, образующих грунты. Кроме того, при однократном загрузении и давлении, большем прочности жестких структурных связей, грунты всегда будут иметь кроме восстанавливающихся и остаточные деформации, во много раз превосходящие их по величине.

#### **4.1. Определение сжимаемости грунта без возможности бокового расширения (компрессии)**

*Сжимаемость грунтов* – характернейшее их свойство, существенно отличающее грунты от массивных горных пород и других твердых тел. Заключается оно в способности грунтов изменять свое строение под влиянием внешних воздействий на более компактное за счет уменьшения пористости грунта. Уменьшение пористости происходит как вследствие возникновения местных сдвигов частиц и соскальзывания более мелких частиц в поры грунта, так и вследствие изменения толщины водно-коллоидных оболочек минеральных частиц.

Следует различать уплотняемость грунтов при кратковременном действии динамических нагрузок (механическую) и уплотнение при длительном действии статической нагрузки (компрессию, консолидацию).

При механическом воздействии вибрационными, трамбуемыми и подобными механизмами хорошо уплотняются лишь маловлажные рыхлые песчаные и неводонасыщенные грунты, имеющие жесткие контакты между минеральными частицами, которые при этих воздействиях легко нарушаются, что обуславливает перегруппировку частиц и более плотную их упаковку. В водонасыщенных песках динамиче-

ские нагрузки вызывают значительные напоры в воде, грунт взвешивается в некоторой области и при определенных условиях разжижается, растекаясь по большой площади. Однако чем больше внешнее давление на поверхность грунта, подвергаемого динамическому воздействию, тем менее оно эффективно, так как труднее преодолеваются усилия в точках контакта частиц.

В глинистых грунтах, которые вследствие их связности при динамических нагрузках уплотняются очень мало, возникающие в воде напоры при незначительной водопроницаемости этих грунтов гасаются на малом расстоянии и разжижения не происходит [2].

При изучении компрессии необходимо учитывать условия работы грунта. При использовании грунта как основания под инженерное сооружение его компрессионные свойства следует определять на образцах ненарушенной структуры. Если же из исследуемого грунта возводится земляное сооружение, то компрессионные испытания надо проводить с образцами нарушенной структуры, обладающими приданными им свойствами в соответствии со способом производства работ по его укладке в тело сооружения.

Определение сжимаемости производится в компрессионных приборах (одометрах), в которых отсутствует возможность бокового расширения грунта (рис. 13).

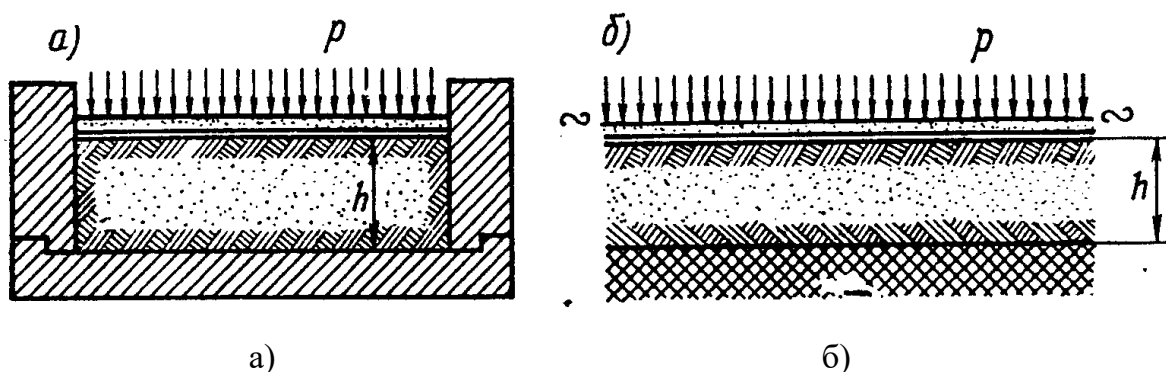


Рис. 13. Схемы компрессионного сжатия грунта:  
а – в жестком кольце; б – при сплошной нагрузке

**Оборудование:** весы с разновесами, сушильный шкаф, эксикатор, компрессионный прибор.

### **Проведение испытаний:**

- определить плотность грунта в естественном состоянии методом режущего кольца и его влажность;
- рассчитать пористость взятого для испытаний грунта;
- режущее кольцо ( $d = 56,5$  мм;  $h = 20$  мм) с грунтом, покрытым бумажным фильтром, вставить в верхнюю часть корпуса одометра;
- верхнюю часть одометра ввинтить в нижнюю;
- закрепить индикатор;
- приложить нагрузку к образцу ступенями, величина первой ступени определяется по формуле

$$\sigma = \rho \cdot z, \quad (35)$$

где  $z$  – глубина взятия образца от дневной поверхности, м;

$\rho$  – плотность грунта в естественном состоянии, г/см<sup>3</sup>.

Последние ступени принять равными 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5 кг/см<sup>2</sup>. Конечная нагрузка должна на 15 % превышать сумму природной и проектируемой нагрузок. Величину грузов рассчитать по формуле

$$Q = \sigma_i \cdot F \cdot S, \quad (36)$$

где  $F$  – площадь штампа, м<sup>2</sup>;

$S$  – соотношение плеч рычагов, м;

- каждую ступень нагрузки выдержать до условной стабилизации осадки (0,01 мм/сут.);
- после прекращения деформации от последней ступени нагрузки теми же ступенями в обратном порядке произвести разгрузку;
- величины нагрузки и разгрузки от каждой ступени, показания индикатора и время нагружения занести в журнал (табл. 38).

### **Обработка результатов:**

- подсчитать коэффициент пористости для каждой ступени нагрузки по формуле:

$$l\sigma_i = l_0 - [(\Delta h\sigma_i (1 + e_0)) / h], \quad (37)$$

где  $l_0$  – начальный коэффициент пористости образца до приложения нагрузки;

$\Delta h\sigma_i$  – сжатие образца при данной ступени нагрузки, мм;

– построить компрессионную (загрузки) и декомпрессионную (разгрузки) кривые; на оси абсцисс указать напряжение, кг/см<sup>2</sup>, а на оси ординат – соответствующую ему величину коэффициента пористости (рис. 14);

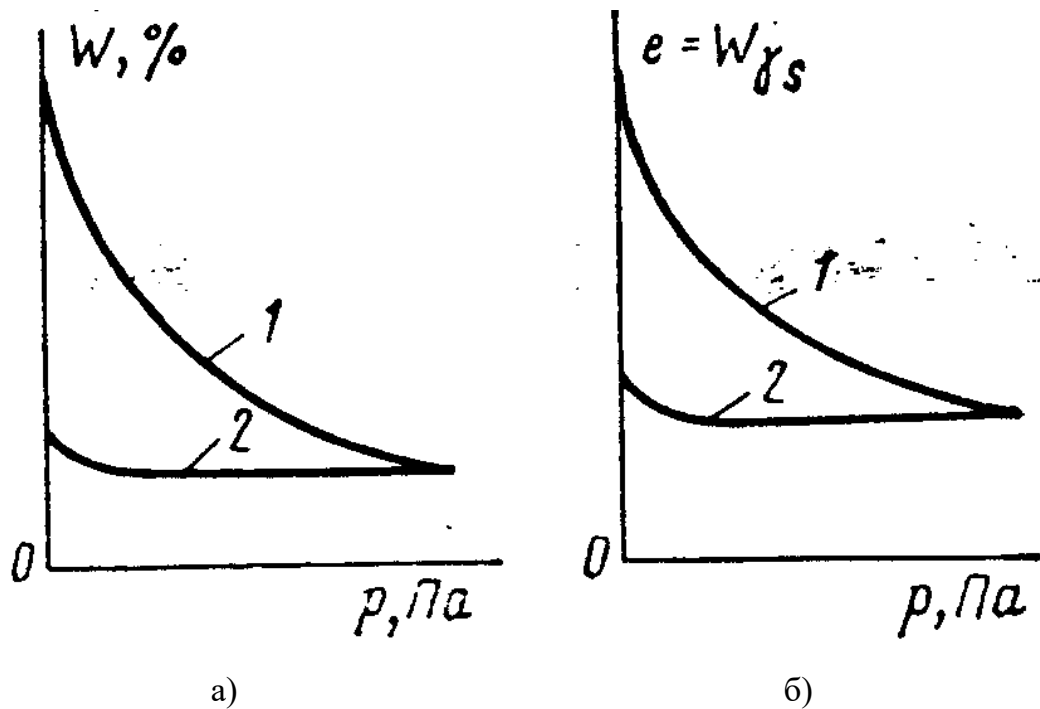


Рис. 14. Компрессионные кривые: а – компрессионная кривая; б – кривая декомпресси; 1 – кривые уплотнения; 2 – кривые разуплотнения (набухания)

– определить коэффициент сжимаемости  $m_v$  как тангенс наклона компрессионной кривой к оси абсцисс в определенном диапазоне нагрузок по формуле

$$m_v = (l_1 - l_2) / (\sigma_2 - \sigma_1); \quad (38)$$

– определить модуль деформации  $E_k$ , кг/см<sup>2</sup>

$$E_k = [\beta (1 + l_0)] / m_v, \quad (39)$$

где  $\beta = 0,76$  – для песков;

$\beta = 0,74$  – для супесей;

$\beta = 0,62$  – для суглинков;

$\beta = 0,40$  – для глин;

– по полученным результатам в соответствии с принятой классификацией по прил. 8 сделать вывод о сжимаемости грунтов.

## Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 38

### Лабораторный журнал компрессионных испытаний

Показатель	Значение						
	1-я ступень						
Величина нагрузки, кг/см <sup>2</sup> , Величина разгрузки, кг/см <sup>2</sup> , Показания индикатора Коэффициент пористости $i_{ci}$ , Время нагружения $t$ , Коэффициент сжимаемости $m_v$ , Модуль деформации $E_k$ , кг/см <sup>2</sup>	$\sigma = \rho \cdot z$	0,25	0,5	1	2	3	5

*Вывод:* указать полученное значение компрессии.

#### 4.2. Определение сопротивления грунтов сдвигу

Под действием внешней нагрузки в отдельных точках (областях) грунта эффективные напряжения могут превзойти внутренние связи между частицами грунта, при этом возникнут скольжения (сдвиги) одних частиц или агрегатов по другим и в некоторой области может нарушиться сплошность грунта, т. е. прочность грунта будет превзойдена.

Внутренним сопротивлением, препятствующим сдвигу частиц в идеально сыпучих телах (чистые пески), будет лишь трение, возникающее в точках контакта частиц. В идеально связных грунтах (дисперсные глины) перемещению частиц будут сопротивляться только внутренние структурные связи и вязкость водно-коллоидных оболочек частиц.

Под силами сцепления понимают сопротивление структурных связей всякому перемещению связываемых ими частиц независимо от внешнего давления.

Показатели сопротивления сдвигу – это основные прочностные показатели сопротивления тел внешним силам; для грунтов их важнейшая особенность состоит в том, что они переменны, зависят от давления и условий в точках контакта частиц, сопротивляющихся сдвигу [2].

Таким образом, сопротивлением сдвигу называется наименьшее касательное напряжение  $\tau$ , при котором образец грунта срезается по заранее намеченной плоскости при нормальном напряжении  $\sigma$ .

Касательное и нормальное напряжения определяются по формулам

$$\tau = T / F, \text{ кг/см}^2, \quad \sigma = N / F, \text{ кг/см}^2, \quad (40)$$

где  $T$  и  $N$  – горизонтальное и нормальное усилия, кг/см<sup>2</sup>;  
 $F$  – площадь среза, см<sup>2</sup>.

Сопротивление сдвигу  $\tau$  и нормальное напряжение  $\sigma$  находятся в зависимости, определяемой формулой

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (41)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения, °;

$c$  – удельное сцепление глинистых грунтов или параметр линейности песчаных грунтов, кгс/см<sup>2</sup>, значения которых приведены в прил. 4.

Сопротивление грунта сдвигу определяет устойчивость сооружений и земляных откосов, давления грунта на ограждения (подпорные стенки) и т. д.

Определение сопротивления сдвигу проводится при ненарушенной и нарушенной структурах, при завершеном и незавершеном уплотнении в зависимости от условий работы грунта в действительности.

Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 15.

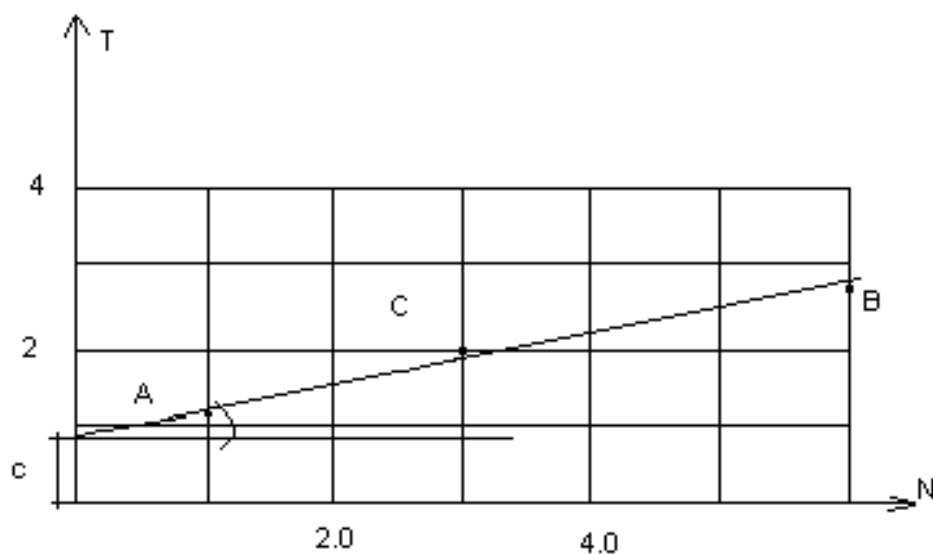


Рис. 15. График зависимости между давлением и сопротивлением сдвигу

Наибольшее распространение получил прибор одноплоскостного сдвига. В нем плоскость сдвига заранее фиксирована зазором между обоймами (рис. 16). Испытание заключается в фиксации предельного касательного усилия, при котором происходит сдвиг грунта.

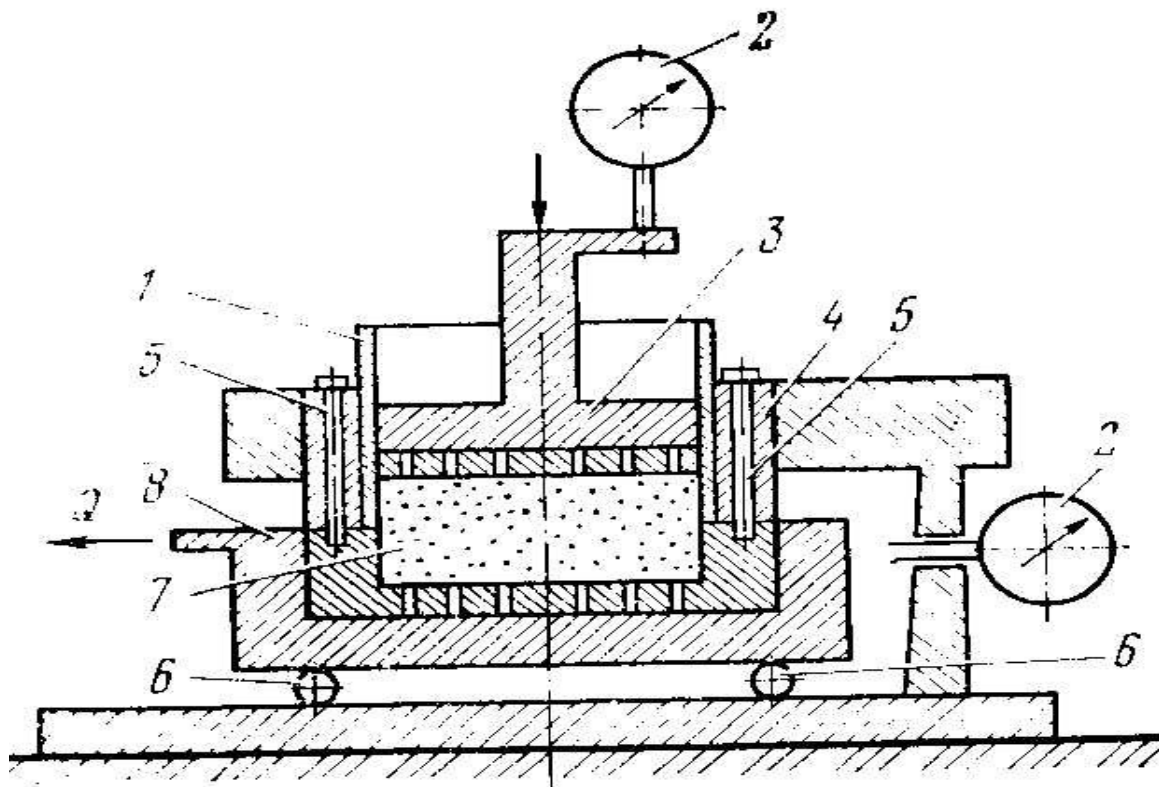


Рис. 16. Схема сдвигового прибора: 1 – кольцо;  
2 – индикатор часового типа; 3 – штамп; 4 – неподвижная часть каретки; 5 – соединительные винты; 6 – обойма с подшипниками;  
7 – грунт; 8 – подвижная часть каретки

**Оборудование:** сдвиговой прибор, режущее кольцо, бумажные фильтры.

**Проведение испытаний:**

– приготовить образец грунта диаметром 56 мм, высотой 20 мм с помощью режущего кольца;

– на жесткий фильтр нижней обоймы уложить влажный бумажный фильтр и переместить грунт в обоймы срезывателя;

– уложить бумажный влажный фильтр на верхнюю грань образца и установить штамп;

– закрепить индикаторы на кронштейнах;

– осуществить предварительное уплотнение образца вертикальной нагрузкой при соблюдении условия:  $\sigma = 1,2,3 \text{ кг/см}^2$  (одновременно на трех приборах). Вес груза на подвесе рычага вычисляется по формуле

$$Q = (F \cdot \sigma - P)U, \quad (42)$$

где  $U$  – соотношение плеч рычага, м;

$F$  – площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ ;

$P$  – масса рамы, кг.

Уплотнение считать законченным при полной стабилизации, т. е. когда вертикальное смещение штампа будет  $\leq 0,01 \text{ мм}$  за 30 мин – для песков; 3 ч – для супесей; 12 ч – для суглинков и глин;

– приложить сдвигающую нагрузку  $T$ , первая ступень которой принимается равной 10 % вертикальной нагрузки  $N$ , последующие ступени  $\Delta T = 0,05 N$ , при приближении к сдвигу  $\Delta T = 0,02 N$ ;

– отсчеты по индикатору горизонтального смещения брать каждые 2 мин;

– предельное состояние – срез образца – устанавливать по быстро увеличивающейся скорости горизонтального смещения;

– показания индикаторов, время и другие данные занести в журнал.

#### **Обработка результатов:**

– на основании проведенных испытаний вычислить основные параметры сдвига: угол внутреннего трения  $\varphi$ ; сцепление  $c$ ; данные представить в виде графика (см. рис. 15);

– на горизонтальной оси откладываем нагрузку  $N$ , на вертикальной – соответствующие им величины сдвигающих усилий  $T$ .

Прямая АСВ – линия сдвигающих напряжений.

Угол наклона прямой к горизонтальной оси – угол внутреннего трения  $\varphi$ ,  $\text{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения; отрезок, отсекаемый прямой сдвига на вертикальной оси графика – величина сцепления  $c$ .

$\varphi$  и  $c$  вычисляются по формулам

$$\varphi = \text{tg} \varphi = (T_B - T_A) / (N_B - N_A); \quad c = T_A - N_A \cdot \text{tg} \varphi;$$

### 4.3. Определение угла естественного откоса песчаных грунтов

Коэффициенты внутреннего трения и сцепления грунтов, как говорилось выше, являются прочностными характеристиками и входят в расчетные формулы по определению нормативного давления, давления на подпорные стенки и другие ограждения, устойчивости откосов.

За счет сопротивления сдвигу рыхлые грунты при отсыпке образуют конус, а не растекаются. Наклон образующих обеспечивает устойчивость грунтов при данной влажности против осыпания под действием собственного веса. Угол  $\alpha$  у основания конуса называется углом естественного откоса. Для чистых песков, у которых сцепление практически отсутствует ( $c = 0$ ), угол естественного откоса мало отличается от угла внутреннего трения  $\varphi$  и сопротивление сдвигу может быть выражено формулой

$$\tau = P \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (43)$$

Угол естественного откоса определяют в воздушно-сухом состоянии и под водой. При изменении влажности песчаного грунта происходит изменение угла естественного откоса. При малых влажностях угол естественного откоса увеличивается за счет сил сцепления, при больших влажностях уменьшается за счет уменьшения сил трения между частицами. Величина угла естественного откоса для различных грунтов дана в прил. 9.

**Оборудование:** прибор для определения угла естественного откоса песка УВТ – 2 (рис. 17), совок, сосуд с водой, резиновая трубка.

**Проведение испытаний:**

- берут пробу воздушно-сухого грунта массой 600 г;
- на ровную поверхность стола устанавливают прибор, в который помещают мерный столик. На него устанавливают обойму, в которую засыпают песок, слегка постукивая по обойме до полного заполнения;



### *Пример оформления лабораторных испытаний*

Расчет коэффициента внутреннего трения по углу естественного откоса.

Таблица 39

*Грунт* (наименование исследуемого грунта) \_\_\_\_\_

Состояние грунта	Угол естественного откоса $\alpha$	Коэффициент внутреннего трения $f$
Сухой Под водой		

*Вывод:* указать полученное значение угла внутреннего трения.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Составные элементы грунтов.
2. Классификация грунтов.
3. Виды воды в грунте и ее свойства.
4. Структура и текстура грунтов.
5. Структурные связи.
6. Физические свойства грунтов.
7. Характеристики состояния пылевато-глинистых грунтов.
8. Механические свойства грунтов.
9. Определение модуля деформации грунта.
10. Структурная прочность грунта.
11. Сжимаемость грунтов. Закон уплотнения.
12. Понятие об оптимальной плотности-влажности грунта.
13. Эффективные и нейтральные давления в грунтовой массе.
14. Водопроницаемость грунтов. Закон ламинарной фильтрации.
15. Сопротивление сдвигу неконсолидированных грунтов.
16. Сопротивление сдвигу связных грунтов.
17. Предельное напряженное состояние в точке.
18. Принцип линейной деформируемости грунтов.
19. Сопротивление сдвигу при трехосном сжатии. Круги Мора.
20. Особенности физико-механических свойств структурно-неустойчивых грунтов.
21. Распределение напряжений в случае плоской задачи.
22. Определение напряжений в грунтовой толще. Действие равномерно распределенной нагрузки.
23. Распределение напряжений от собственного веса грунта.
24. Определение сжимающих напряжений по методу угловых точек.
25. Определение напряжений в грунтовой толще. Действие сосредоточенной силы.
26. Распределение давлений по подошве сооружения, опирающегося на грунт (контактная задача).
27. Длительная прочность грунта и релаксация напряжений.
28. Графический метод определения давления на подпорную стенку.

29. Определение давления связного грунта на вертикальную подпорную стенку.
30. Определение конечной осадки поверхности грунта при сплошной нагрузке (одномерная задача уплотнения).
31. Метод послойного суммирования.
32. Метод линейно-деформируемого слоя.
33. Расчет осадки методом эквивалентного слоя.
34. Изменение осадок во времени.
35. Устойчивость откоса грунта, обладающего только трением.
36. Устойчивость вертикального откоса, обладающего только сцеплением.
37. Устойчивость прислоненных откосов.
38. Устойчивость откосов по теории предельного равновесия.
39. Понятие о предельном равновесии грунта. Уравнение предельного равновесия.
40. Понятие об активном давлении и пассивном отпоре грунта.
41. Понятие о поверхностях скольжения.
42. Приближенный метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.
43. Основные виды нарушения устойчивости откосов.
44. Фазы напряженного состояния грунтов
45. Критические нагрузки на грунт основания.
46. Деформации ползучести грунта при уплотнении.
47. Меры борьбы с оползнями.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В учебном пособии подробно рассмотрены вопросы классификации, исследования свойств и степени пригодности грунтов для дорожного строительства, включая лабораторные испытания, методы, приборы и оборудование для проведения исследований.

Приведенные сведения могут быть использованы студентами при выполнении лабораторных работ, курсовом и дипломном проектировании по профильным дисциплинам, в том числе для выполнения самостоятельной работы по представленной тематике.

Методики проведения лабораторных испытаний грунтов, приведенных в пособии, можно использовать при выполнении более сложных научно-исследовательских работ, подготовке магистерских и кандидатских диссертаций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Основная литература*

1. Бабков, В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В. Ф. Бабков, В. М. Безрук. – М. : Высш. шк., 1986. – 239 с.
2. Бугров, А. К. Исследование грунтов в условиях трехосного сжатия / А. К. Бугров, Р. Н. Нарбурт, В. П. Силидин. – Л. : Стройиздат, Ленинградское отд-е, 1987. – 184 с.
3. Васильев, И. М. Исследование свойств грунтов : лаб. практикум / И. М. Васильев, П. Л. Иванов, А. Г. Соколов. – Л. : Изд-во ЛПИ, 1090. – 68 с.
4. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М. : Изд-во стандартов, 2014. – 19 с.
5. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – М. : Изд-во стандартов, 2016. – 21 с.
6. ГОСТ 30672-99. Грунты. Полевые испытания. Общие положения. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 8 с.
7. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.
8. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 16 с.

### *Дополнительная литература*

9. Горельшев, Н. В. Материалы и изделия для строительства дорог : справ. инженера-дорожника. / Н. В. Горельшев, И. Л. Гурячков, Э. Р. Пинус ; под ред. Н. В. Горельшева. – М. : Транспорт, 1986. – 288 с.

10. Механика грунтов. Основы геотехники / под общ. ред. Б. И. Далматова. – М. ; СПб. : Изд-во АСР, 2000. – Ч. 1. – 201 с.

11. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / И. Е. Евгеньев [и др.] ; под ред. А. Я. Тулаева. – М. : Транспорт, 1985. – 224 с.

12. Попова, З. А. Лабораторные и практические работы по испытанию грунтов для дорожного строительства / З. А. Попова. – М. : Транспорт, 1979. – 128 с.

13. СП 22.13330-2016. Основания зданий и сооружений. Введ. 17.06.2017. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 96 с.

14. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М. : Высш. шк., 1983. – 288 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### *Приложение 1*

#### *Разновидности грунтов по морозному пучению*

Вид грунта	Степень пучинистости	Классификационная группа	Среднее значение при промерзании на глубину 1,5 м, %
Песок гравелистый крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	Непучинистый	I	1 1
Песок гравелистый крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %	Слабопучинистый	II	1 1 - 2
Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	То же	II	1 1 - 2
Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 15 %	Пучинистый	III	1 - 2 2 - 4
Песок пылеватый	Чрезмерно пучинистый	V	2 - 4 7 - 10
Супесь легкая крупная	Пучинистый	III	1 - 2 2 - 4
Супесь легкая	Очень пучинистый	IV	2 - 4 4 - 7
Супесь пылеватая	Чрезмерно пучинистый	V	2 - 4 7 - 10
Супесь тяжелая пылеватая	То же	VI	4 - 7 10
Суглинок легкий	Очень пучинистый	IV	2 - 4 4 - 7
Суглинок легкий пылеватый	Чрезмерно пучинистый	VI	4 - 7 10
Суглинок тяжелый	Очень пучинистый	IV	2 - 4 4 - 7
Суглинок тяжелый пылеватый	Чрезмерно пучинистый	V	2 - 4 7 - 10
Глины	Очень пучинистый	IV	2 - 4 4 - 7

**Классификация слабых грунтов**

Тип грунта	Вид по составу	Разновидность по состоянию
Ил	<p><i>По коэффициенту пористости</i>                      Супесчаный <math>e \geq 0,9</math>                      Суглинистый <math>e \geq 1,0</math>                      Глинистый <math>e \geq 1,5</math></p>	<p><i>По показателю консистенции</i>                      0,75 – 1,0                      1,0 – 1,5                      1,5 – 2,0                      2,0 – 2,5                      2,5 – 3,0</p>
Заторфованный песчаный и глинистый	<p><i>По относительному содержанию органического вещества <math>q</math></i>                      Слабозаторфованный  <math>0,10 &lt; q \leq 0,25</math>                      Среднезаторфованный  <math>0,25 &lt; q \leq 0,40</math>                      Сильнозаторфованный (торфянистый) <math>0,40 &lt; q &lt; 0,50</math></p>	–
Сапрпель	<p><i>По относительному содержанию органического вещества <math>q</math></i>                      Минеральный <math>0,1 &lt; q \leq 0,3</math>                      Среднеминеральный  <math>0,3 &lt; q \leq 0,5</math>                      Слабоминеральный <math>q &gt; 0,5</math></p>	<p><i>По природной влажности</i>                      Маловлажный <math>W &lt; 200 \%</math>                      Средней влажности  <math>W = 200 - 500 \%</math>                      Сильновлажный  <math>W = 500 - 1000 \%</math>                      Избыточновлажный  <math>W &gt; 1000 \%</math></p>
Торф	<p><i>По потерям при прокаливании <math>\Pi</math></i>                      Малозольный <math>\Pi \geq 95 \%</math>                      Средней зольности  <math>95 \% &gt; \Pi \geq 80 \%</math>                      Высокозольный <math>\Pi &lt; 80 \%</math>  <i>По степени разложения органического вещества <math>R_q</math></i>                      Слаборазложившийся <math>R_q \leq 20</math>                      Среднеразложившийся  <math>20 &lt; R_q \leq 45</math>                      Сильноразложившийся <math>R_q &gt; 45</math></p>	<p><i>По природной влажности</i>                      Сухой <math>W &lt; 300 \%</math>                      Маловлажный  <math>W = 300 - 600 \%</math>                      Средней влажности  <math>W = 600 - 900 \%</math>                      Очень влажный  <math>W = 900 - 1200 \%</math>                      Избыточновлажный  <math>W &gt; 1200 \%</math></p>

**Определение гранулометрического состава грунтов полевыми методами**

Наименование грунта по грансоставу	Ощущение при растирании в руке	Вид в лупу	Состояние в сухом виде	Состояние во влажном виде	При скатывании в сыром состоянии	Дорожно-строительные свойства
Глинистый	При растирании грунта в сыром состоянии песчаных частиц не чувствуется, комочки раздавливаются с большим трудом	Песчинок не видно	Очень тверд в кусках	Вязок, пластичен, очень мягок	Дает длинные, тонкие шнуры диаметром менее 1,0 мм	Очень трудные в разработке грунты. Пластичны, практически водонепроницаемы
Суглинистый	При растирании чувствуются песчаные частицы, отдельные комочки раздавливаются легче	Ясно видно присутствие песчинок на фоне тонкого грунта	Комья и куски менее тверды, при ударе молотком рассыпаются в мелочь	Пластичность и липкость значительны, но меньше, чем в глинах	Шнур более толстый и короткий, чем в глинах (1 – 3 мм)	Разрабатываются легче глинистых грунтов. Обладают значительным капиллярным поднятием, пучинисты
Суглинистый пылеватый	При растирании песок не чувствуется, комочки раздавливаются сравнительно легко	Песка очень мало, видны тонкие пылеватые частицы	Состояние как в предыдущем грунте	Пластичность и липкость значительны	Дает шнуры диаметром 1 – 2 мм	Свойства как в предыдущем грунте, пучинистый

Наименование грунта по грансоставу	Ощущение при растирании в руке	Вид в лупу	Состояние в сухом виде	Состояние во влажном виде	При скатывании в сыром состоянии	Дорожно-строительные свойства
Пылеватый	При растирании производит впечатление сухой муки	Песка очень мало, пылеватых частиц много	Комья очень непрочные и легко рассыпаются	Легко переходит в пльвунное состояние	Пластичность почти отсутствует, шнур скатать почти не удается	Легко поддаются разработке. В сухом состоянии сильно пылят, влажном быстро раскисают. Водопроницаемы, пучинисты, обладают высоким капиллярным поднятием
Супесчаный	Песчаные частицы преобладают, комочки раздавливаются без труда	Песчаные частицы преобладают над глинистыми и пылеватыми	Комья легко рассыпаются от давления руки	Имеет небольшую липкость и пластичность	Дает короткий толстый шнур диаметром более 3 мм	—
Песчаный	Глинистых частиц не чувствуется; рыхлая, несцементированная масса	Видны только песчаные частицы	Цементация отсутствует, сыпучий грунт	Не пластичен и не липок	Шнур не скатывается	Легко поддаются разработке, водопроницаемы и почти лишены капиллярных свойств, обладают хорошей дренажной способностью

Приложение 4

Ориентировочные показатели основных характеристик грунтов

Степень связности	Вид грунта	Разновидность	Плотность минеральных частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Предел текучести $W_L$	Оптимальная влажность $W_{ОПТ}$	Максимальная плотность сухого грунта $\rho_{\max}$ , г/см <sup>3</sup>	Осредненные значения при $W_{\text{опт}}$ и $\rho_{\max}$			Относит. морозное пучение, %
							$E_y$ , МПа	$\varphi$ , град.	$C$ , МПа	
Несвязные	Песок	Крупный	Зависит от минерального состава		8	Зависит от минерального состава	130	43	0	1
		Средний			8		120	40	0	1
		Мелкий			8 – 12		110	38	0,002	2 – 4
		Пылеватый	2,66	–	8 – 12	1,8	50	36	0,004	7 – 10
Слабо связные	Су-песь	Легкая крупн.	2,66	20	9 – 15	2,0	60	35	1,01	2,4
		Легкая пылев.	2,68	20	9 – 15	1,8	45	28	0,012	4 – 7
		Тяжелая	2,70	16 – 26	12 – 17	1,7	40	30	0,02	10 – 15
Связные	Су-глинок	Легкий	2,70	27 – 38	14 – 20	1,8	60	24	0,032	4 – 7
		Легкий пылев.	2,67	27 – 38	14 – 20	1,6	50	22	0,036	10 – 15
		Тяжелый	2,71	38 – 48	16 – 23	1,6	40	22	0,04	4 – 7
		Тяж. пылев.	2,72	38 – 48	16 – 23	1,5	40	20	0,04	7 – 10
Сильно связные	Глина	Песчанистая	2,71	48 – 75	23 – 30	1,5	50	24	0,06	4 – 7
		Пылеватая	2,73	48 – 75	23 – 30	1,5	40	18	0,004	4 – 7
		Жирная	2,74	60	30	1,5	30	15	0,04	4 – 7

Соотношение физических единиц в системе СИ

Наименование величины	Единицы				Соотношение
	Старой системы		СИ		
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Сила	Килограмм-сила	кгс	Ньютон	Н	1 кгс = 9,8 ≈ 10 Н
Нагрузка	Тонна-сила	тс		Н/м	1 тс = 9,8 · 10 <sup>3</sup> Н ≈ 10 кН
Вес	Грамм-сила	гс		Н/м	1 гс = 9,9 · 10 <sup>-3</sup> ≈ 10 мН
Линейная нагрузка	Килограмм-сила на метр	кгс/м	Ньютон на метр	Н/м	1 кгс/м = 10 Н/м
Поверхностная нагрузка	Килограмм-сила на квадратный метр	кгс/м <sup>2</sup>	Ньютон на квадратный метр	Н/м <sup>2</sup>	1 кгс/м <sup>2</sup> = 10 Н/м <sup>2</sup>
	Килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/мм <sup>2</sup>			
Давление	Миллиметр водяного столба	мм вод.ст.	Паскаль	Па	1 мм вод. ст. = 9,8 Па
	Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.			
Механическое напряжение	Килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/мм <sup>2</sup>	Мегапаскаль	МПа	1 кгс/мм <sup>2</sup> = 9,8 · 10 <sup>6</sup> Па = 10 МПа
Модуль продольной упругости	Килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см <sup>2</sup>			1 кгс/см <sup>2</sup> = 9,8 · 10 <sup>4</sup> Н/м <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> Па = 10 МПа
Модуль сдвига					
Модуль объемного сжатия					

Наименование величины	Единицы				Соотношение
	Старой системы		СИ		
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Момент силы, момент пары сил	Килограмм-сила на метр	кгс·м	Ньютон-метр	Н·м	$1 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 9,8 \text{ Н}\cdot\text{м} \approx 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$
Работа (энергия)	Килограмм-сила на метр	кгс·м	Джоуль	Дж	$1 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 9,8 \text{ Дж} \approx 10 \text{ Дж}$
	Килограмм-сила на метр в секунду	кгс·м/с	Ватт	Вт	$1 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{с} = 9,8 \text{ Вт} \approx 10 \text{ Вт}$
Мощность	Лошадиная сила	л. с.			$1 \text{ л.с.} = 735,5 \text{ Вт}$
Количество теплоты	Калория в секунду	кал/с	Джоуль	Дж	$1 \text{ кал}/\text{с} = 4,2 \text{ Вт}$
	Калория, килокалория	кал, ккал			$1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}$
Удельная теплоемкость	Калория на грамм-градус Цельсия	кал/(г·°С)	Джоуль на килограмм- Кельвин	Дж/(кг·К)	$1 \text{ кал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{С}) =$ $= 4,2 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
	Килокалория на грамм-градус Цельсия	ккал/(г·°С)			$1 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{С}) =$ $= 4,2 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$

**Коэффициенты уплотнения грунта**

Виды земляного сооружения	Часть земляного полотна	Глубина расположения от поверхности покрытия, м	Коэффициент уплотнения для покрытий различных дорожно-климатических зон			
			II, III	IV, V	II, III	IV, V
Насыпи	Верхняя	До 1,5	1,0 – 0,98	0,98 – 0,95	0,98 – 0,95	0,95 – 0,95
	Нижняя	1,5 – 6,0	0,95	0,95	0,95	0,95
	неподтапливаемая	> 6,0	0,98	0,95	0,95	0,95 – 0,90
	Нижняя подтапливаемая	1,5 – 6,0	0,98 – 0,95	0,95	0,95	0,95
		> 6,0	0,98	0,98	0,98	0,95
Выемки и естественные основания низких насыпей	В слое сезонного промерзания	До 1,2*	1,0 / 0,98	0,98-0,95	0,98-0,95	0,95-0,95
	Ниже слоя сезонного промерзания	До 1,2*	0,95	0,95-0,92	0,95-0,92	0,90-0,90

Примечание: \* – в IV и V дорожно-климатических зонах;

– большие значения коэффициентов уплотнения принимают для цементобетонных и цементогрунтовых покрытий и оснований, а также усовершенствованных облегченных покрытий.

## Приложение 7

### Классификация грунтов по степени переувлажнения

Допустимая	1,0	1,0	1,0	Уплотняющими машинами до требуемой плотности	Удовлетворительная
Средняя	1,25	1,25	1,10	То же до плотности 0,90 от максимальной	Затрудненная
Высокая	1,40	1,45	1,50	Консолидацией под массой грунта, естественной просушкой, активными добавками	Возможна для машин высокой проходимости
Избыточная	1,55	1,80	2,05	То же	Отсутствует

*Классификация грунтов по водопроницаемости*

Грунт	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Характеристика грунтов по водопроницаемости
Глины, монолитные скальные грунты	Менее $5 \cdot 10^{-5}$	Практически водонепроницаемы
Суглинки, тяжелые супеси, нетрециноватые песчаники	До $5 \cdot 10^{-3}$	Весьма слабопроницаемы
Супеси слаботрециноватые, глинистые сланцы, песчаники, известняки и т. д.	До 0,5	Слабопроницаемы
Пески тонкие и мелкие, трещиноватые скальные грунты	До 5	Проницаемые
Пески среднезернистые, скальные, грунты повышенной трещиноватости	До 50	Хорошо проницаемые
Галечники, гравелистые пески, сильнотрещиноватые скальные грунты	Свыше 50	Сильнопроницаемые

*Приложение 9*

*Значение величины угла естественного откоса*

Грунт	Угол естественного откоса $\alpha$ , град.
Песок: сухой	30 – 35
влажный	40
мокрый	25
Глина: сухая	40 – 45
мокрая	20 – 25
Гравий: сухой	35 – 40
мокрый	25

*Учебное электронное издание*

ПРОВАТОРОВА Галина Владимировна

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Учебное пособие

Редактор А. П. Володина

Технический редактор Ш. Ш. Амирсейидов

Компьютерная верстка Л. В. Макаровой

Корректор О. В. Балашова

Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

***Системные требования:*** Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

**Тираж 9 экз.**

Издательство Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.