

ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА



Проект 4: развитие инфраструктуры и систем жизнеобеспечения

Цель: обеспечение профессиональных компетенций выпускников университета в области строительства, реставрации и экспертизы памятников архитектуры, жилищно-коммунального хозяйства и ресурсо энергосберегающих технологий функционирования безопасной и комфортной среды жизнедеятельности.

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

Г.В. ПРОВАТОРОВА

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Практикум по дисциплине
«Механика грунтов»

Владимир 2008

УДК 624.13
ББК 38.58
П78

Рецензенты

Кандидат технических наук, доцент начальник государственного
унитарного предприятия «Специальное дорожное
ремонтно-строительное управление»

А.А. Лебедев

Начальник отдела контроля качества ОАО «Уренгойстрой»

Г.М. Довгопол

Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета

Э.Ф. Семехин

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Проваторова, Г. В.

П78 Лабораторные испытания грунтов: практикум по дисциплине «Механика грунтов» / Г. В. Проваторова; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 80 с. – ISBN 978-5-89368-860-3.

Содержит основные понятия определения грунтов, используемых в строительстве, классификацию и характеристики грунтов, методику проведения лабораторных испытаний, перечень приборов и оборудования, нормативные источники и справочные материалы.

Предназначен для студентов строительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

Табл. 38. Ил. 16. Библиогр.: 24 назв.

УДК 624.13
ББК 38.58

ISBN 978-5-89368-860-3

© Владимирский государственный университет, 2008

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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 [12;19].

1.1. 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 перемещаемые 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;
- органомненные грунты – ракушечники;
- органомнеральные образования (илы, заторфованные грунты);
- пески и галечники.

По *характеру структурных связей* выделяются два класса [12]:

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

Разновидности 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	$R_c < 1$

2) 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).

Крупнообломочные грунты (валунные, галечниковые – при окатанной форме частиц и щебенистые – при остроугольной, табл. 2; 3) содержат более 50 % частиц крупнее 2 мм. 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 наименование заполнителя.

Таблица 2

Гранулометрические элементы нескальных грунтов

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

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 [12, 22].

Таблица 3

Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов

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

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 $0,8 < S_r$.

Примечание: 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, которые не остаются постоянными, а периодически претерпевают изменения и дополняются. Все методы лабораторных испытаний грунтов основаны на учете многолетних определений и современном уровне развития грунтоведения и механики грунтов.

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

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

Основные характеристики состояния грунтов позволяют рассчитать показатели его состояния и классифицировать в соответствии со СНиП 2.02.01-83 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.

Примечание: ориентировочные показатели основных характеристик грунтов приведены в прил. 4.

1.3. 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 производятся в соответствии с ГОСТ 12071-2000. 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 больших 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 [18; 22].

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 берут 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 ГРУНТОВ

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 – одна 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.) [5,19].

Согласно ГОСТ12536-79 гранулометрический (зерновой) состав грунтов определяется с помощью методов, предусмотренных в табл. 5.

Таблица 5

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 полевые	Ареометрический Пипеточный 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 (крупно-обломочных 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 сита;
- фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, взвесить на технических весах.

Обработка результатов:

- содержание в грунте каждой фракции А в процентах вычисляют по формуле

$$A = (m_{\phi} / m_i) 100\%;$$

где m_{ϕ} – масса данной фракции грунта, г; m_i – масса средней пробы, взятой для анализа, г;

- результаты определения заносят в журнал (табл. 6) [3, 22];

- производят 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 6

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). 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 $Cu < 3$; неоднородные $Cu \geq 3$.

По размеру частиц:

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

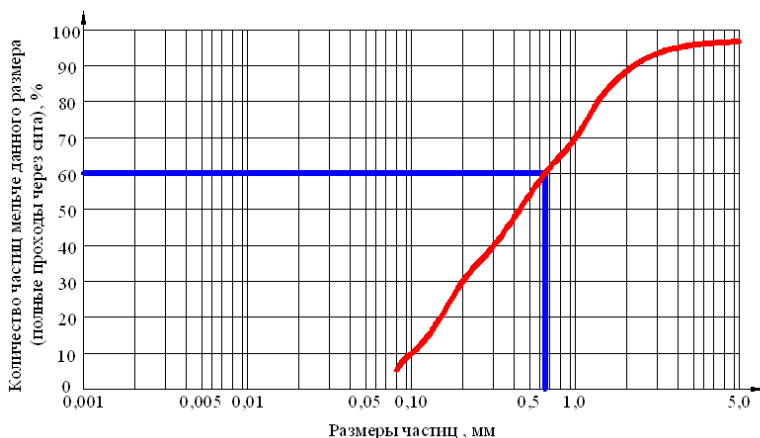


Рис.1. Суммарная кривая гранулометрического состава грунта

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.7) [3, 5, 22];
- по графику определяют степень неоднородности гранулометрического состава Cu в соответствии с формулой

$$Cu = d_{60} / d_{10},$$

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

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 7

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, т.к. $C_u > 3$. 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 4 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 $0,301 \times 3 = 0,9$ 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 процентам наносят на сетку и получают суммарную кривую (кривую неоднородности) [5].

2.3. Полевой метод

Наиболее известный полевой метод – метод Рутковского. Он является приближенным, однако простота делает его приемлемым в полевых условиях.

Физические основы метода заключаются при определении содержания:

- 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 1 мм, мерная емкость 50 см³, стеклянная палочка, раствор CaCl₂.

Проведение испытаний:

- высушенный и просеянный через сито с размером отверстий 1 мм грунт высыпать в мерную емкость до отметки 10 см³;

- налить в мерную емкость воду до отметки 45 см³ и тщательно размешать содержимое стеклянной палочкой до прекращения мазков на стенках емкости;

- добавить 3 см³ хлористого кальция CaCl₂ для ускорения коагуляции (оседания), перемешать и оставить на 24 часа;

- через сутки вычислить приращение объема на 1 см³ сухого грунта.

Обработка результатов

Содержание глинистой фракции определяют по эмпирической формуле

$$\Gamma = 0,2267 \cdot \Delta V \cdot 100 \% ; \Delta V = V_{\Gamma} - V,$$

где Γ – процентное содержание глинистой фракции в грунте; ΔV – приращение объема на 1 см³ сухого грунта; V_{Γ} – объем грунта после набухания; V – первоначальный объем грунта (10 см³).

2.3.2. Определение содержания песчаной фракции (отмучивание)

Оборудование: мерная емкость 50 см³, 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 см³ с уплотнением;
- в емкость с грунтом налить воды до отметки 12 см³, 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 $V_{п}$;
- рассчитать объем песчаной фракции Π .

Обработка результатов

Содержание песчаной фракции в анализируемом грунте вычисляется по формуле:

$$\Pi = (V_{п} / V)100 \%,$$

где Π – процентное содержание песчаной фракции в грунте; $V_{п}$ – остаток после отмучивания см³; V – первоначальный объем грунта (10 см³).

Результаты вычислений заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 9.

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. 8).

Таблица 8

Гранулометрическая классификация грунтов
(по В.В. Охотину)

Наименование грунта	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	-
Песок	< 3	-	Больше, чем пылеватых
Песок мелкозернистый	< 3	-	Преобладают частицы 2 – 0,25 мм » »

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 9

Лабораторный журнал

Показатель	Значение
Песчаная фракция	
Первоначальный объем грунта в мерной емкости, см ³	$V = 10 \text{ см}^3$
Объем осадка после отмучивания, см ³	$V_{\text{п}}$
Содержание песчаных частиц, %	П
Глинистая фракция	
Первоначальный объем грунта в мерной емкости, см ³	$V = 10 \text{ см}^3$
Объем грунта после набухания, см ³	$V_{\text{г}}$
Приращение объема на 1 см ³ сухого грунта	ΔV
Содержание глинистых фракций, %	Г

Общее заключение делается по результатам сравнения полевого анализа с данными табл. 8. Оформляется в табличной форме (табл. 10).

Таблица 10

Заключение по полевому методу

Наименование фракций	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 (рис. 2). 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 – ситовым методом.

Для определения гранулометрического состава ареометрическим методом используют ареометры со шкалой 0,995 – 1,030 и ценой деления 0,001 согласно ГОСТ 12536-79.

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.

Описание ареометра

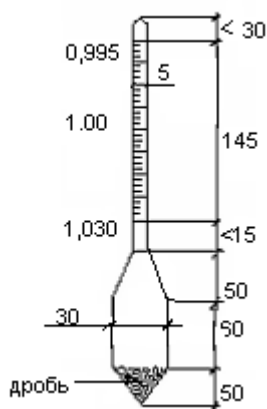


Рис. 2. Ареометр

Ареометр представляет собой запаянную стеклянную трубку с расширенным нижним концом, в котором помещается груз (дробь, залитая мастикой) для сохранения вертикального положения при погружении 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 [22].

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°C (рис. 3). Для удобства расчетов ее умножают на 1000 и прибавляют к каждому отсчету ареометра.

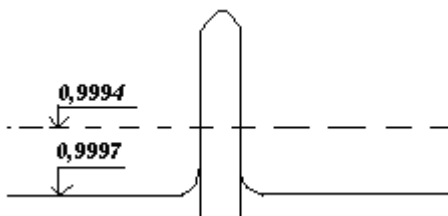


Рис. 3. Поправка на мениск

Поправка определяется один раз по разности отсчетов в дистиллированной воде при температуре 20°C (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 $C = 0,0003 \cdot 1000 = 0,3$.

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

Определение гранулометрического состава грунтов ареометрическим методом

Оборудование: технические весы, ареометр, набор сит 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 с отверстиями 10; 5; 1; 0,5 мм и определяют содержание каждой

фракции. Данные заносят в таблицу (оформление – см. табл. 6). Расчет содержания частиц мельче 0,5 мм (мелкозема) выполняют по разности

$$A = 100 - K,$$

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 см³ 25% раствора аммиака, закрывают пробкой и кипятят 1 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 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. 11);
- 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:

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

где ρ – плотность исследуемого грунта; 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
T1	T	R_0	t	R_1	m_1	R	d	x	мм	%
9.00	1мин	4,8	20,5	5,1	+0,1	5,2	< 0,05	По расчету	< 0,05	По расчету

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, определяемое по ГОСТ 5180-84, т.е.

$$W = (m_v / m_t) 100 \%$$

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

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

где W – природная влажность; ρ – плотность грунта; ρ_v – плотность воды; ε – коэффициент пористости грунта.

Классификация грунтов по степени влажности приведена в табл. 12.

Таблица 12

Классификация грунтов по степени влажности

Вид грунта	Показатель относительной влажности $W_{от}$
Маловлажные	$W_{от} \leq 0,5$
Влажные	$0,5 < W_{от} \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < W_{от}$

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 (рис. 4): твердую, пластичную, текучую.

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).

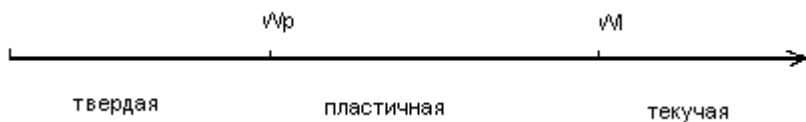


Рис. 4. Формы состояния глинистого грунта

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

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

где m_1 – масса пустой бюксы с крышкой; m_2 – масса бюксы с влажным грунтом; m_3 – масса бюксы с высушенным грунтом.

Расхождение двух результатов параллельных определений не должно превышать 2 %. Результаты расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого, представлен в табл. 13.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 13

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:

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 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 1мм;
- 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 (см. табл. 13).

Обработка результатов: гигроскопическую влажность определяют по следующей формуле:

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

где m – масса пустой бюксы с крышкой; m_0 – масса бюксы с крышкой и высушенным грунтом; m_2 – масса бюксы с крышкой и воздушно-сухим грунтом.

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

Результаты расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 13.

2.5.3. Определение границы текучести 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).

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 балансирами – 76 г.

Оборудование: фарфоровая ступка, сито с размером 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;

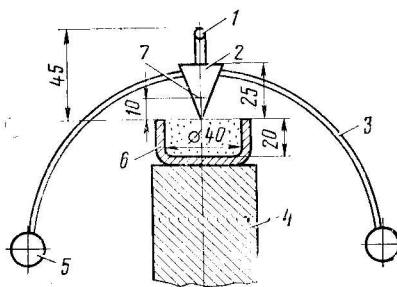


Рис. 5. Балансирный конус Васильева

- пробу грунта (около) поместить в фарфоровую чашку и увлажнить дистиллированной водой до состояния густого теста и выдерживать его в эксикаторе 2 ч;
- подготовленное грунтовое тесто шпателем перенести в бюксу, и поверхность грунта срезать 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. 14.

Обработка результатов:

влажность на границе текучести определяется по формуле

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

где m_1 – масса пустой бюксы с крышкой; m_2 – масса бюксы с влажным грунтом на границе текучести; m_3 – масса бюксы с высушенным грунтом.

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 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:

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. 15.

Обработка результатов: влажность на границе раскатывания определяется по формуле

$$W = (m_2 - m_3) / (m_3 - m_1) 100 \%;$$

где m_1 – масса пустой бюксы с крышкой; m_2 – масса бюксы с влажным грунтом на границе раскатывания; m_3 – масса бюксы с высушенным грунтом.

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 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:

2.5.5. Расчет числа пластичности

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

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

$$I_p = W_L - W_p,$$

где W_L – влажность на границе текучести, W_p – влажность на границе раскатывания.

Пример оформления работы приведен в табл. 16.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 16

Лабораторный журнал

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

Вывод: заключение о виде грунта.

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	Разновидности 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		Пылеватая
	< 40		(полужирная)
	> 27	Не нормируется	Жирная

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

$$I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p).$$

Для расчета показателя консистенции определяют естественную влажность и число пластичности. Результаты расчетов заносятся в лабораторный журнал, пример оформления которого, представлен в табл. 18.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 18

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.

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. 19).

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 них физико-геологических процессов вызывают необходимость при оценке грунтов определять их свойства или в условиях естественного залегания, или по образцам естественной ненарушенной структуры.

Основным отличием 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: ρ – плотность грунта в естественном состоянии (ненарушенной структуры), ρ_s – плотность частиц грунта, ρ_a – плотность сухого грунта [3, 8, 22].

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, а также пригодность для дорожного строительства и область применения.

3.2. Определение плотности грунтов по ГОСТ 5180-84

Плотность грунта в естественном состоянии – это масса единицы объема грунта вместе с порами, заполненными водой или воздухом; ρ ; г/см³. Для различных грунтов может колебаться от 1,0 до 2,3 и зависит от минералогического состава, содержания органических примесей и влажности.

Плотность грунта в естественном состоянии определяется по формуле

$$\rho = m_r / V_r,$$

где m_r – масса грунта в естественном состоянии; V_r – объем образца грунта.

Плотность сухого грунта ρ_a (скелета грунта) численно равна отношению массы образца грунта, высушенного при температуре 105 ± 2 °С, к его первоначальному объему

$$\rho_a = m_{cr} / V_r,$$

где m_{cr} – масса грунта, высушенного при температуре 105 ± 2 °С.

Плотность частиц грунта ρ_s численно равна отношению массы частиц грунта к занимаемому им объему

$$\rho_s = m_s / V_s,$$

где m_s – масса твердых частиц грунта; V_s – объем, занимаемый частицами грунта.

Плотность грунта определяется методами, указанными в табл. 20.

Таблица 20

Методы определения плотности грунтов

Грунты	Определяемая плотность	Метод определения
Песчаные Глинистые	ρ_s	Пикнометрический
Песчаные Глинистые	ρ	Режущего кольца (цилиндра)
Песчаные, содержащие гравий		Метод лунки (в полевых условиях)
Твердые глинистые		Методом гидростатического взвешивания (парафинирования)
Песчаные Глинистые	ρ_a	Расчетом по известной влажности

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) [8, 13].

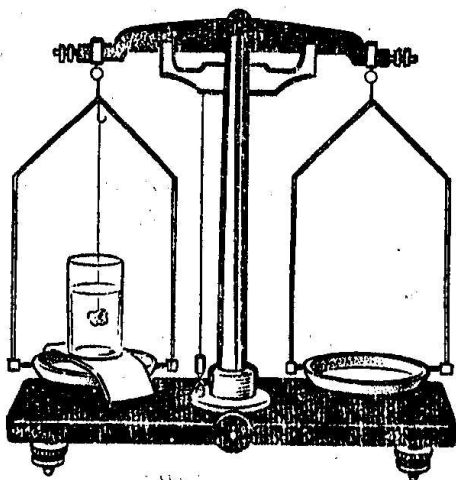


Рис. 6. Весы с подставкой для гидростатического взвешивания

Проведение испытаний:

- подготавливают пробу грунта ненарушенного сложения и природной влажности объемом около 30 см³, 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/см³;

- плотность рассчитывается по формуле

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

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/см³; $\rho_{\text{п}}$ – плотность парафина 0,9 г/см³; данные заносят в лабораторный журнал (табл. 21).

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 21

Лабораторный журнал расчета плотности связных грунтов
с природной влажностью

Показатель	Значение
Масса образца грунта без парафина m , г	
Масса образца грунта с парафином, взвешенного на воздухе m_1 , г	
То же, взвешенного в воде m_2 , г	
Плотность воды ρ_v , г/см ³	
Плотность парафина ρ_n , г/см ³	
Плотность влажного грунта ρ , г/см ³	

Вывод:

3.2.2. Определение плотности грунта в естественном состоянии (ρ)

Оборудование: режущее кольцо, нож-правило, весы с разновесами.

Проведение испытаний:

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

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

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. 22).

Обработка результатов: плотность рассчитать по формуле

$$\rho = (m_{кг} - m_k)/V_k,$$

где $m_{кг}$ – масса кольца с грунтом, г; m_k – масса кольца, г; V_k – объем кольца, см³.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 22

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 $m_{кр}$, г	
Объем кольца, $см^3$	
Плотность грунта, $г/см^3$	

Вывод:

3.2.3. Определение плотности сухого грунта ρ_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 ~ 10 г из режущего кольца после определения ρ ;
- определить влажность грунта по методике, описанной в пункте 2.5;
- результаты занести в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 23;

Обработка результатов: рассчитать ρ_a по формуле

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

где ρ_v – плотность воды $г/см^3$.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 23

Лабораторный журнал расчета плотности сухого грунта

Показатель	Значение
Влажность грунта W , %	
Плотность влажного грунта ρ , $г/см^3$	
Плотность сухого грунта ρ_a , $г/см^3$	

Вывод:

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

3.2.4. Определение плотности твердых частиц ρ_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/см³. 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:

- пробу воздушно-сухого грунта растереть 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 ± 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;
- пикнометр заполнить 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 1 ч (суглинки и глины);
- 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;

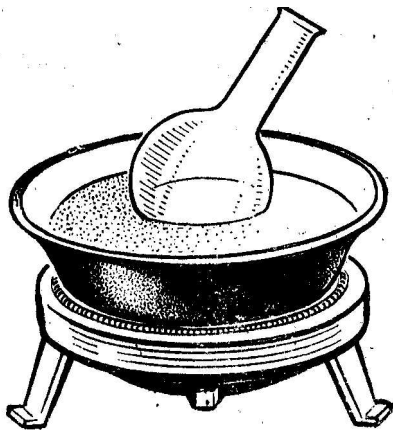


Рис. 7. Пикнометр на песчаной бане

- взвесить пикнометр с водой и грунтом и определить массу m_1 , г;
- суспензию из пикнометра вылить, наполнить его дистиллированной водой до мерной черты и взвесить, определив массу m_2 , г;
- данные определений занести в лабораторный журнал (табл. 24).

Обработка результатов:

- плотность твердых частиц рассчитать по формуле

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

где ρ_b – плотность воды;

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

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 24

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 $\rho_b = 1$ г/см ³	
Плотность твердых частиц ρ_s , г/см ³	

Вывод:

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

3.3. Определение пористости и коэффициента пористости грунта

Пористость – степень заполнения объема грунта порами – выражается в долях от объема грунта, принимаемого за единицу или в процентах от его объема. Показатель пористости величина непосто-

янная 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

$$n = (1 - \rho_a / \rho_s) 100 \%,$$

где ρ_a – плотность сухого грунта, г/см³; ρ_s – плотность частиц грунта, г/м³;

Коэффициент пористости e (относительная пористость) – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта, выраженное в долях единицы; определяется по формуле $e = (\rho_s - \rho_a) / \rho_a$; или, выражая через пористость, $e = n / (100 - n)$.

Результаты расчетов заносятся в лабораторный журнал, пример оформления которого приведен в табл. 25.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 25

Лабораторный журнал расчета пористости
и коэффициента пористости

Показатель	Значение
Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	
Плотность сухого грунта ρ_a , г/см ³	
Пористость n , %	
Коэффициент пористости e	

Вывод:

3.4. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунтов

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). Опти-

мальная влажность служит одним из критериев для оценки возможности и методов использования грунта для отсыпки насыпи (прил. 6) [17].

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 10 мм, эксикатор, чашки металлические вместимостью 5 л, цилиндры мерные вместимостью 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 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

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

- поместить подготовленный грунт в эксикатор не менее чем на 2 ч;

- 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;

- грунт уложить 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 уплотнить его аналогично первому;

- добавить грунт до верха стакана и уплотнить его 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

$$\rho = (m_3 - m_2) / V,$$

где V – объем грунта в стакане, 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.

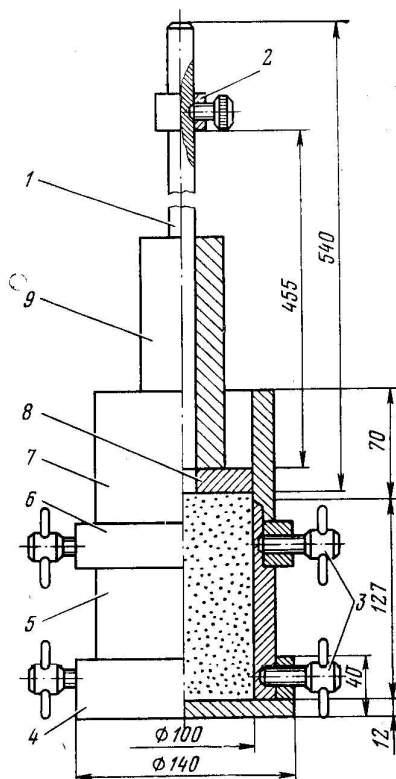


Рис. 8. Прибор стандартного уплотнения СоюздорНИИ:

- 1 – ограничитель;
- 2 – направляющий стержень;
- 3 – груз массой 2,5 кг;
- 4 – наковальня;
- 5 – насадка;
- 6 – кольцо;
- 7 – разъемный цилиндр;
- 8 – поддон;
- 9 – зажимный винт

Обработка результатов:

- по полученным в результате испытаний значениям плотности и влажности уплотненных образцов определить плотность скелета грунта ρ_α с погрешностью до 0,01 г/см³ по формуле

$$\rho_\alpha^{\max} = \rho / (1 + 0,01W);$$

- построить график зависимости плотности скелета от влажности грунта, откладывая по оси абсцисс влажность уплотненных образцов в масштабе 1 см – 2 %, а по оси ординат плотность скелета грунта в масштабе 1 см – 0,05 г/см³;

- найти максимум полученной зависимости и соответствующие ему величины ρ_α^{\max} и $W_{\text{опт}}$ с точностью 0,01 г/см³ и 0,1 % соответственно.

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 сопровождаются отбор, хранение и транспортирование проб.

Основными методами полевых испытаний, используемых 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. 5). 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 должны 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. 26) [11, 19, 21].

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.

Таблица 26

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 ²	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

Определение плотности и влажности грунта прибором Н.П. Ковалева

Влагомер-плотномер 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. 9) – нижнюю границу текучести.

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* [21, 13]:

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

Влагомер-плотномер состоит из трех приспособлений (рис. 9 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.

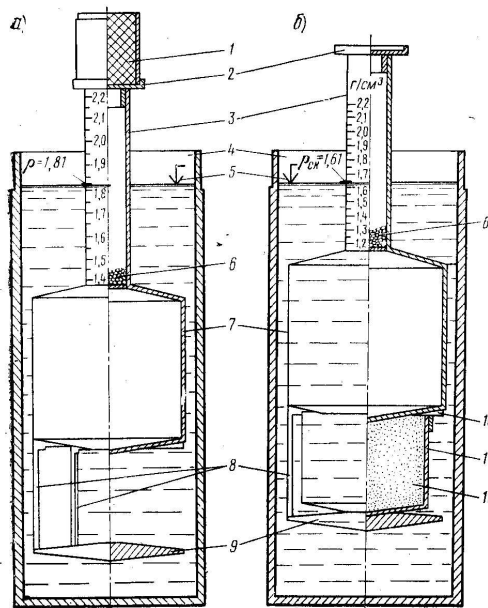


Рис. 9. Прибор для определения плотности и грунта (а) влажного, (б) сухого: 1 – режущий цилиндр; 2 – крышка-подставка; 3 – трубка с нанесенными шкалами; 4 – футляр-резервуар; 5 – уровень; 6 – тарировочный груз; 7 – корпус; 8 – стойки; 9 – поддон; 10 – уголки; 11 – сосуд; 12 – грунт

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 см³. 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 ρ . Данные заносят в лабораторный журнал (табл. 27);

- определяют плотность скелета грунта ρ_a по одной из трех шкал «Г», «П», «Ч» в зависимости от вида грунта, для чего пробу из кольца переносят полностью 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 ρ_a . Данные заносят в лабораторный журнал.

Обработка испытаний:

- природную (естественную) влажность рассчитывают по результатам испытаний по формуле

$$W = \{(\rho - \rho_a) / \rho_a\} 100,$$

где ρ – плотность влажного грунта, г/см³; ρ_a – плотность скелета грунта, г/см³, по одной из шкал.

Данные расчетов заносят в лабораторный журнал (табл. 27).

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 27

Лабораторный журнал испытаний грунта прибором Ковалева

Показатель	Значение
Плотность влажного грунта по шкале «Вл» ρ , г/см ³	
Плотность скелета грунта ρ_a , г/см ³	
Естественная влажность W , %	

Вывод:

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. 28 [3, 8, 22].

Таблица 28

Величина капиллярного поднятия

Вид грунта	Значение капиллярного поднятия, 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 вместимостью 300 см³.

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 1 ч;
- данные наблюдений занести в журнал (табл. 29) и построить зависимость высоты капиллярного поднятия от времени $H_k = f(t)$.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 29

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:

3.7. Определение набухания грунтов

Набуханием 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 в условиях свободного набухания (без нагрузки) $\epsilon_{sw} \geq 0,04$.

Величина набухания определяется в приборе Знаменского (ПНЗ-1). Испытаниям подвергаются образцы ненарушенной структуры [6].

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 поддон, 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 мин и 1 ч;
- 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 Δh , мм;
- величина относительного набухания определяется по формуле

$$\epsilon_{sw} = (h_{sw} - h) / h,$$

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. 30;

Таблица 30

Классификация грунтов по величине набухания

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

- влажность набухания определяют по формуле

$$W = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_0),$$

где, m – масса кольца, г; m_1 – масса кольца с набухшим грунтом; m_2 – масса грунта с кольцом после сушки;

- показания отсчетов по индикатору и результаты вычислений заносят в лабораторный журнал (табл. 31).

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 31

Лабораторный журнал определения набухания грунтов

Показатель	Значение
Полное приращение высоты по индикатору Δh , мм; Величина относительного набухания ϵ_{sw} Влажность набухания W , %	

Вывод:

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 большую усадку, супесчаные – незначительную. Принято определять линейную и объемную усадки [6].

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 0,5 мм, замешивают с водой до состояния рабочего (пластичного) теста и выдерживают в эксикаторе 24 ± 2 ч. Из готового теста делают лепешку толщиной более 1 см [6].

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 размером 1x2x6 см;

- на образце делают метки (раствором через 5 см) 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, %:

$$Y = \frac{\frac{a_1 - a_3}{a_1} + \frac{a_2 - a_4}{a_2}}{2} \cdot 100,$$

где a_1 и a_2 – расстояния между метками до высушивания; a_3 и a_4 – расстояния после высушивания;

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

3.8.2. Определение объемной усадки грунта

Оборудование: эксикатор, сито с отверстиями размерами 0,5 мм, металлическая форма диаметром 4 – 5 см 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 сначала 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

$$Y_0 = (V - V_0) / V,$$

где V – объем грунтового теста до высушивания см³; V_0 – объем высушенного образца, см³;

- результаты заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 32.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 32

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; Расстояние после высушивания a_3 и a_4 (диаметр и высота), см; Линейная U , % и объемная U_0 , % усадки грунта	

* в скобках указаны показатели для пункта 3.8.2.

Вывод:

3.9. Определение влагоемкости грунтов

Способность грунтов удерживать в своих порах воду называется влагоемкостью. Влагоемкость может быть гигроскопическая, максимальная молекулярная, капиллярная (относительная) и полная. 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 [8, 11, 13].

Определение полной влагоемкости грунта

Оборудование: латунный цилиндр с сетчатым дном, стеклянный сосуд, фильтровальная бумага, весы с разновесами.

Проведение испытаний:

- берут среднюю пробу воздушно-сухого грунта;
- на дно латунного цилиндра (рис. 10) укладывают влажную фильтровальную бумагу и взвешивают цилиндр на весах с точностью до 1 г;

- засыпают цилиндр грунтом, недосыпая до края 0,5 см, и вновь взвешивают;

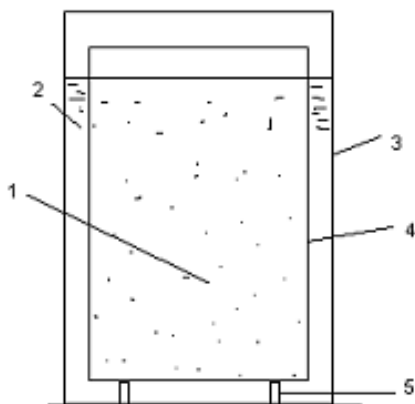


Рис. 10. Прибор для определения полной влагоемкости грунтов:

- 1 – грунт;
- 2 – вода;
- 3 – стеклянный сосуд;
- 4 – латунный цилиндр;
- 5 – подставка

- 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

$$W = (m_1 - m_0) / (m_0 - m),$$

где m – масса пустого цилиндра; m_1 – масса цилиндра с влажным грунтом, m_0 – масса цилиндра с высушенным грунтом;

- результаты измерений и расчетов заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого представлен в табл. 33.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 33

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:

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.

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. 34) 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

$$S_{pi} = (H - H_i) / H;$$

- по результатам расчета построить кривую зависимости доли распада грунта от времени.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 34

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 [1, 9, 21].

Определение коэффициента фильтрации песка

Оборудование: прибор ПКФ-СоюздорНИИ (рис. 11), нож, эксикатор, сито с отверстиями размером 5 мм, кристаллизатор, весы с разновесами, аппаратура для определения влажности, отстоявшаяся питьевая вода без механических примесей.

Подготовка пробы грунта

1-я методика. Песок ненарушенного сложения при максимальной плотности. Берут среднюю пробу пропущенного через сито с размерами отверстий 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 отбирая 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.

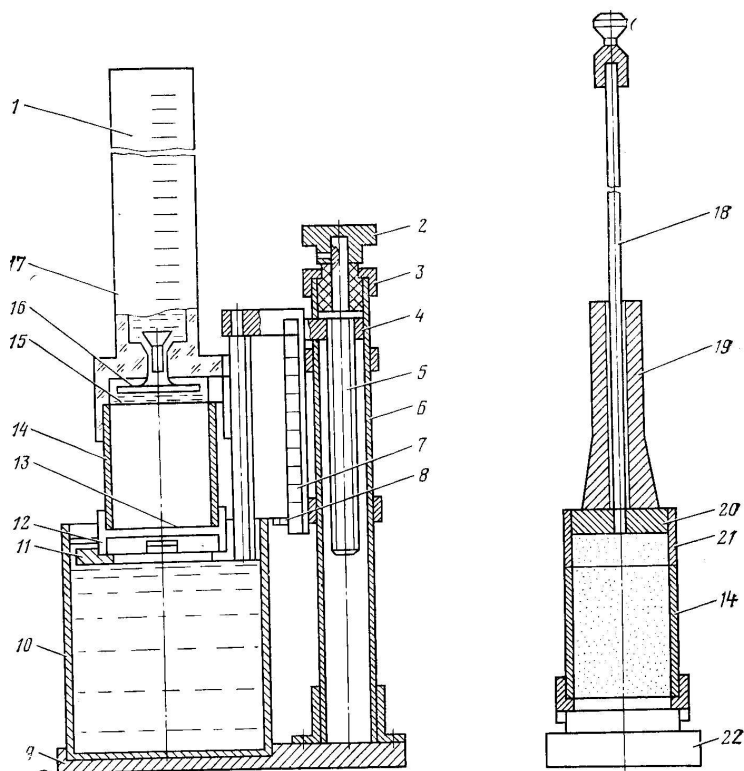


Рис. 11. Прибор ПКФ-СоюздорНИИ для определения коэффициента фильтрации песков: 1 – шкала; 2 – штурвал; 3 – втулка; 4 – гайка; 5 – винт; 6 – колонна-трубка; 7 – наклонный кронштейн; 8 – стрелка-указатель; 9 – плита; 10 – сосуд; 11 – подставка; 12 – поддон; 13 – латунная сетка; 14 – цилиндр; 15 – сито;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

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 вычисляют 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 [9];

- опыт повторяют не менее 2 раз, результаты измерений заносят в лабораторный журнал (табл. 35);

- коэффициент фильтрации определяют по формуле

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

где K – коэффициент фильтрации при заданной температуре (при 10 °С), м/сут; Q – расход воды, мл; F – площадь поперечного сечения цилиндра, см²; T – время, с; i – напорный градиент; r – температурная поправка, равная $(0,7+0,03t)$.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 35

Расчет коэффициента фильтрации песка

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

Расчет:

Вывод:

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. 36. Перечисленные зависимости являются важнейшими закономерностями, описывающими механические свойства дисперсных (мелкокораздробленных) тел, какими являются грунты [1, 24].

Таблица 36

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 сцепления	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, представляя 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 связных грунтах.

Деформируемость грунтов зависит как от сопротивляемости и податливости их структурных связей, так и от деформируемости отдельных компонентов, образующих грунты. Кроме того, при однократном нагружении 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, трамбующими 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 же песках динамические 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 погашаются на малом расстоянии и разжижения не происходит [20, 24].

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. 12).

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

Проведение испытаний:

- определить плотность грунтов в естественном состоянии методом режущего кольца и его влажность;
- рассчитать пористость данного 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 $\sigma = \rho \cdot z$, где z – глубина взятия образца от дневной поверхности; ρ – плотность грунта в естественном состоянии.

Последние ступени принять равными: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5 кг/см². Конечная нагрузка должна превышать на 15 % сумму природной и проектируемой нагрузок. Величину грузов рассчитать по формуле

$$Q = \sigma_i \cdot F \cdot S,$$

где F – площадь штампа; S – соотношение плеч рычагов;

- каждую ступень нагрузки выдержать до условной стабилизации осадки (0,01 мм/сут);

- по прекращении деформации от последней ступени нагрузки теми же ступенями в обратном порядке произвести разгрузку;
- величины нагрузки и разгрузки от каждой ступени, показания индикатора и время занести в журнал (табл. 37).

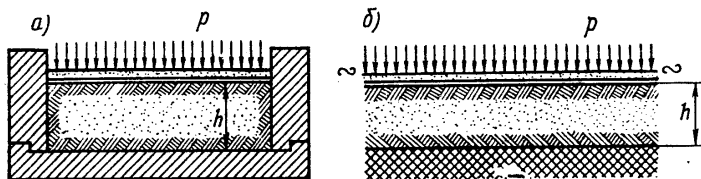


Рис. 12. Схемы компрессионного сжатия грунта:
а – в жестком кольце; б – при сплошной нагрузке

Обработка результатов:

- подсчитать коэффициент пористости для каждой ступени нагрузки по формуле

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

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 откладывается напряжение, кг/см², а на оси ординат соответствующая ему величина коэффициента пористости (рис. 13);

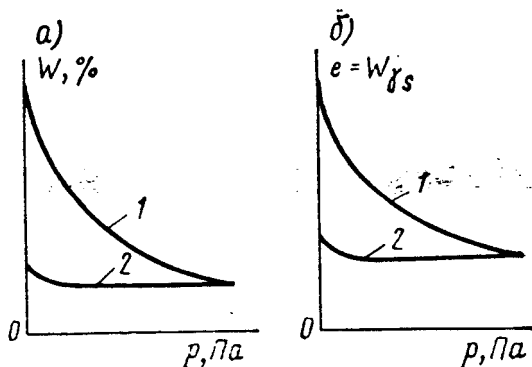


Рис. 13. Компрессионные кривые:
а – кривые уплотнения;
б – кривые разуплотнения (набухания)

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

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

- определить модуль деформации E_k , кг/см²,

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

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 37

Лабораторный журнал компрессионных испытаний

Показатель	Значение						
	1-я ступень						
Величина нагрузки, кг/см ²	$\sigma = \rho \cdot z,$	0,25	0,5	1	2	3	5
Величина разгрузки, кг/см ²							
Показания индикатора							
Коэффициент пористости, $l\sigma i$							
Время нагружения, ч							
Коэффициент сжимаемости, m_v							
Модуль деформации E_k , кг/см ²							

Вывод:

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 может нарушиться сплошность грунта в некоторой области, 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 в том, что они переменны, зависят от давления и условий в точках контакта частиц, сопротивляющихся сдвигению [2].

Таким образом, сопротивлением сдвигу называется наименьшее касательное напряжение τ , при котором образец грунта срезается по заранее намеченной плоскости при нормальном напряжении σ .

Касательное и нормальное напряжения определяются по формулам, кг/см²

$$\tau = T / F ; \sigma = N / F,$$

где T и N – горизонтальное и нормальное усилия, кг/см²; F – площадь среза, см².

Сопротивление сдвигу τ и нормальное напряжение σ находятся в зависимости, определяемой формулой

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где φ – угол внутреннего трения, °; c – удельное сцепление глинистых грунтов или параметр линейности песчаных грунтов, кгс/см², значения которых приведены в прил. 4.

Сопротивление грунта сдвигу определяет устойчивость сооружений и земляных откосов, давление грунта на ограждения (подпорные стенки) и др.

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

Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 14.

Наибольшее распространение получил прибор одноплоскостного сдвига. В нем плоскость сдвига заранее фиксирована зазором между обоймами (см. рис. 14). Испытание заключается в фиксации предельного касательного усилия, при котором происходит сдвиг грунта.

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 срезователя;

- уложить бумажный смоченный 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).

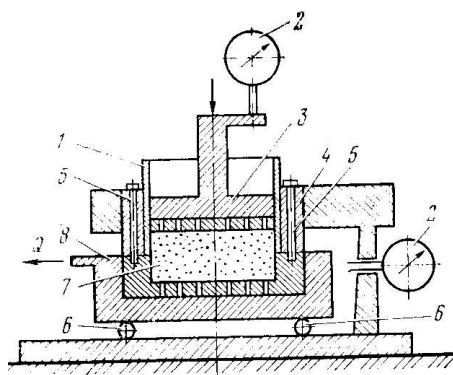


Рис. 14. Схема сдвигового прибора: 1 – кольцо; 2 – индикатор часового типа; 3 – штамп; 4 – неподвижная часть каретки; 5 – соединительные винты; 6 – обойма с подшипниками; 7 – грунт; 8 – подвижная часть каретки

Вес груза на подвесе рычага вычисляется по формуле

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

где F – площадь поперечного сечения образца; P – масса рамы; U – соотношение плеч рычага.

Уплотнение считать законченным при полной стабилизации, т.е. когда вертикальное смещение штампа будет $\leq 0,01$ 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.

- 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.

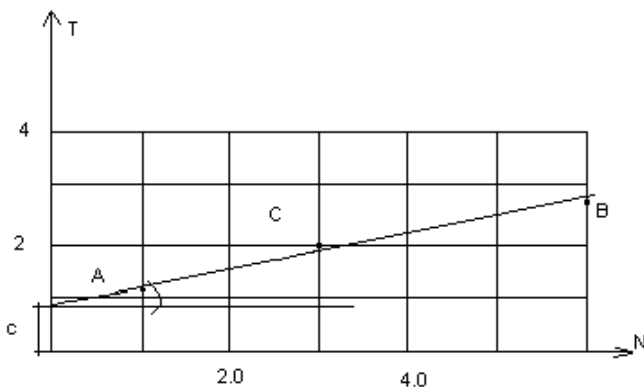


Рис. 15. График зависимости между давлением и сопротивлением сдвигу

Обработка результатов:

- на основании проведенных испытаний вычислить основные параметры сдвига: угол внутреннего трения φ ; сцепление c ; данные представить в виде графика (рис. 15);

На горизонтальной оси откладывается нагрузка N , на вертикальной – соответствующие им величины сдвигающих усилий T .

Прямая ACB – линия сдвигающих напряжений.

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

φ и c вычисляются по формулам:

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

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 α 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 φ и сопротивление сдвигу может быть выражено формулой

$$\tau = P \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

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. 8.

Оборудование: прибор для определения угла естественного откоса песка УВТ – 2 (рис. 16), совок, сосуд с водой, резиновая трубка.

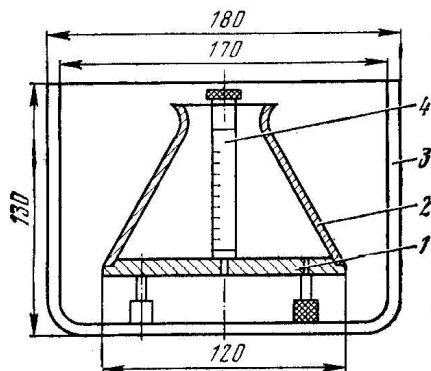


Рис. 16. Прибор для определения угла естественного откоса:

- 1 – мерный столик;
- 2 – обойма;
- 3 – резервуар;
- 4 – измерительная шкала

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;
- осторожно снимают обойму и по вершине конуса берут отсчет;
- при определении угла естественного откоса под водой после заполнения обоймы резервуар наполняют водой с помощью резиновой трубки;
- после полного водонасыщения грунта (снизу вверх) определяют угол естественного откоса в том же порядке;
- опыт повторяют несколько раз и берут среднее арифметическое значение. Допускаемые расхождения между повторными измерениями не должны превышать 1° .

Обработка результатов:

- полученные данные заносят в лабораторный журнал, пример оформления которого приведен в табл. 38;
- по приведенной выше формуле выполняют расчет и делают заключение.

Пример оформления лабораторных испытаний

Таблица 38

Расчет коэффициента внутреннего трения
по углу естественного откоса

Грунт наименование исследуемого грунта

Состояние грунта	Угол естественного откоса α	Коэффициент внутреннего трения f
Сухой		
Под водой		

Вывод:

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	$\frac{1}{1}$
Песок гравелистый крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %	Слабопучинистый	II	$\frac{1}{1-2}$
Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	То же	II	$\frac{1}{1-2}$
Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 15 %	Пучинистый	III	$\frac{1-2}{2-4}$
Песок пылеватый	Чрезмерно пучинистый	V	$\frac{2-4}{7-10}$
Супесь легкая крупная	Пучинистый	III	$\frac{1-2}{2-4}$
Супесь легкая	Очень пучинистый	IV	$\frac{2-4}{4-7}$
Супесь пылеватая	Чрезмерно пучинистый	V	$\frac{2-4}{7-10}$
Супесь тяжелая пылеватая	То же	VI	$\frac{4-7}{10}$
Суглинок легкий	Очень пучинистый	IV	$\frac{2-4}{4-7}$
Суглинок легкий пылеватый	Чрезмерно пучинистый	VI	$\frac{4-7}{10}$
Суглинок тяжелый	Очень пучинистый	IV	$\frac{2-4}{4-7}$
Суглинок тяжелый пылеватый	Чрезмерно пучинистый	V	$\frac{2-4}{7-10}$
Глины	Очень пучинистый	IV	$\frac{2-4}{4-7}$

Классификация слабых грунтов

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

Определение гранулометрического состава грунтов полевыми методами

Наименование грунта по грансо-ставу	Ощущение при растирании в руке	Вид в лупу	Состояние в сухом виде	Состояние во влажном виде	При скальвании в сыром состоянии	Дорожно-строительные свойства
Глинистый	При растирании грунта в сыром состоянии песчаных частиц не чувствуется, комочки раз-давливаются 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 разра-ботке грунты. Пластичны, практически водонепроницаемы
Суглини-стый	При растирании чувствую-ются песча-ные частицы, отдельные комочки раз-давливаются легче	Ясно видно присутствие песчинок на фоне тонкого грунта	Комья и кус-ки менее тверды, при ударе молотком рассыпаются в мелочь	Пластич-ность и липкость значительны, но меньше, чем в глинах	Шнур более толстый и короткий, чем в глинах (1 -3 мм)	Разрабатываются легче глинистых грунтов. Об-ладают значительным капиллярным подтяги-ем, пучинисты

Суглинистый пылеватый	При растирании песок не чувствуется, комочки разламываются сравнительно легко	Песка очень мало, видны тонкие пылеватые частицы	То же	Пластичность и липкость значительны	Дает шнуры диаметром 1 – 2 мм	Свойства как в предыдущем грунте, пучинистый
Пылеватый	При растирании производит впечатление сухой муки	Песка очень мало, пылеватых частиц много	Комья очень непрочные и легко рассыпаются	Легко переходит в пливунное состояние	Пластичность почти отсутствует, шнур скатать почти не удается	Легко поддаются разработке. В сухом состоянии сильно пылят, во влажном быстро раскисают. Водопроницаемы, пучинисты, обладают высоким капиллярным поднятием
Супесчаный	Песчаные частицы преобладают, комочки разламываются 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 чувствуются; 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 дренирующей способностью

Ориентировочные показатели основных характеристик грунтов

Степень связности	Вид грунта	Разновидность	Плотность минеральных частиц грунта $\rho_s, \text{г/см}^3$	Предел текучести W_L	Оптимальная влажность $W_{опт}, \%$	Максимальная плотность грунта $\rho_{\text{макс}}^2$ г/см ³	Осредненные значения при $W_{\text{опт}}$ и $\rho_{\text{макс}}$			Относит. морозное пучение, %
							E_s^2 МПа	φ , град.	C_s МПа	
Несвязные	Песок	Крупный	Зависит от минерального состава	-	8	Зависит от минерального состава	130	43	0	1
		Средний			8		120	40	0	1
Слабосвязные	Су-песь	Мелкий	2,66	-	8-12	1,8	110	38	0,002	2-4
		Пылеватый	2,68	-	8-12	1,8	50	36	0,004	7-10
		Легкая	2,66	20	9-15	2,0	60	35	1,01	2,4
		крупн. Легкая пылев.	2,68	20	9-15	1,8	45	28	0,012	4-7
Связные	Суглинок	Тяжелая	2,70	16-26	12-17	1,7	40	30	0,02	10-15
		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
Сильносвязные	Глина	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
		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	0,0045	4-7
		Жирная	2,74	60	30	1,5	30	15	0,04	4-7

Приложение 5

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 неподтапливаемая	1,5 – 6,0	0,95	0,95	0,95	0,95
		> 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 6

Классификация грунтов по степени переувлажнения

Степень переувлажнения	Отношение природной влажности к оптимальной			Технологические характеристики	
	Пески, супеси легкие и пылеватые	Супеси пылеватые и тяжелые, суглинки легкие	Суглинки тяжелые, глины	Уплотнение грунта насыпи	Проподимость машин по резерву
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

Окончание прил. 6

Степень переувлажнения	Отношение природной влажности к оптимальной			Технологические характеристики	
	Пески, супеси легкие и пылеватые	Супеси пылеватые и тяжелые, суглинки легкие	Суглинки тяжелые, глины	Уплотнение грунта насыпи	Проподимость машин по резерву
Высокая	1,40	1,45	1,50	Консолидация под массой грунта, естественной просушкой, активными добавками	Возможна для машин высокой проходимости
Избыточная	1,55	1,80	2,05	То же	Отсутствует

*Приложение 7**Классификация грунтов по водопроницаемости*

Грунты	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Характеристика грунтов по водопроницаемости
Глины, монолитные скальные грунты	Менее 5·10 ⁻⁵	Практически водонепроницаемы
Суглинки, тяжелые супеси, нетрещиноватые песчаники	До 5·10 ⁻³	Весьма слабо водопроницаемы
Супеси слаботрещиноватые, глинистые сланцы, песчаники, известняки и т.д.	До 0,5	Слабоводопроницаемы
Пески тонкие и мелкие, трещиноватые скальные грунты	До 5	Водопроницаемые
Пески среднезернистые, скальные, грунты повышенной трещиноватости	До 50	Хорошо водопроницаемые
Галечники, гравелистые пески, сильнотрещиноватые скальные грунты	Свыше 50	Сильноводопроницаемые

Приложение 8

Значение величины угла естественного откоса

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

Приложение 9

Перечень нормативных документов

Индекс документа	Наименование документа	Примечание
ГОСТ 23278 - 78	ГРУНТЫ. Методы полевых испытаний проницаемости	Переиздание. Июль 1986 г.
ГОСТ 23161 - 78	ГРУНТЫ. Метод лабораторного определения характеристик просадочности	
ГОСТ 12536 - 79	Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава	Взамен ГОСТ 12536-67 Введен с 01.07.80
ГОСТ 23740 - 79	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения содержания органических веществ	
ГОСТ 24143 - 80	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки	Переиздание. Сентябрь 1987 г.
ГОСТ 24847 - 81	ГРУНТЫ. Методы определения глубины сезонного промерзания	Переиздание. Июнь 1987 г.
ГОСТ 5180- 84	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения физических характеристик	Взамен ГОСТ 5180-75, ГОСТ 5181-78, ГОСТ 5182-78, ГОСТ 5183-77

Продолжение прил. 9

Индекс документа	Наименование документа	Примечание
ГОСТ 26262 - 84	ГРУНТЫ. Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания	
ГОСТ 26263 - 84	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов	
ГОСТ 25584 - 90	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации	Введен 01.09.90
ГОСТ 27217 - 87	ГРУНТЫ. Методы полевого определения удельных касательных сил морозного пучения	Переиздание. Январь 1988 г.
ГОСТ 28514 – 90 (СТ СЭВ 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 23061-78 ГОСТ 24181-80. Введен с 01.09.90 г.
ГОСТ 28622 - 90	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения степени пучинистости	Введен впервые
ГОСТ 5686 - 94	ГРУНТЫ. Методы полевых испытаний сваями	Взамен ГОСТ 5685-78 ГОСТ 24942-81 Введен с 01.01.96 г.
ГОСТ 25100 - 95	ГРУНТЫ. Классификация	Взамен ГОСТ 25100-82. Введен с 01.07.96 г.
ГОСТ 12248 - 96	ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости	Взамен ГОСТ 12248-78 ГОСТ 17245-79 ГОСТ 23908-79 ГОСТ 24586-90 ГОСТ 25585-83 ГОСТ 26518-85 Введен с 01.01.97

Окончание прил. 9

Индекс документа	Наименование документа	Примечание
ГОСТ 20522 - 96	ГРУНТЫ. Методы статистической обработки результатов	Взамен ГОСТ 20522-75 Введен с 01.01.97
ГОСТ 30416 - 96	ГРУНТЫ. Лабораторные испытания	
ГОСТ 20276 - 99	ГРУНТЫ. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости	Взамен ГОСТ 20276-85 ГОСТ 21719-80 ГОСТ 23253-78 ГОСТ 23741-79 Введен с 01.07.2000
ГОСТ 30672 - 99	ГРУНТЫ. Полевые испытания. Общие положения	Введен впервые с 01.07.2000 г.
ГОСТ 12071 - 2000	ГРУНТЫ. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов	Взамен ГОСТ 12071-84 Введен с 01.07.01 г.
ГОСТ 19912 - 2001	ГРУНТЫ. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием	Взамен ГОСТ 19912-80 ГОСТ 20069-81 Введен с 01.01.02 г.
ГОСТ 22733 - 2002	ГРУНТЫ. Метод лабораторного определения максимальной плотности	Взамен ГОСТ 22733-77 Введен с 01.07.03 г.
СНиП 2.02.01 - 83	Основания зданий и сооружений	С изменениями от 2000 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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, 1990. – 68 с.
4. ГОСТ 23278 – 78. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. Введ. 01.07.1979. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 65 с.
5. ГОСТ 12536 – 79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 01.07.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 15 с.
6. ГОСТ 24143 – 80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки. Введ. 01.01.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 20 с.
7. ГОСТ 24846 – 81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. Введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 15 с.
8. ГОСТ 5180 – 84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 24.10.1984. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 23 с.
9. ГОСТ 25584 – 90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. Введ. 01.09.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 17 с.
10. ГОСТ 18514 – 90. (СТ СЭВ 6016 – 87). Строительная геотехника. Определение плотности грунтов методом замещения объема. Введ. 01.05.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.
11. ГОСТ 23061 – 90. Грунты. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности. Введ. 01.09.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 29 с.
12. ГОСТ 25100 – 95. Грунты. Классификация. Введ. 01.07.1996. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 24 с.
13. ГОСТ 30416 – 96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. Введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.

14. ГОСТ 20276 – 99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. Введ. 01.07.2000. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 45 с.
15. ГОСТ 30672 – 99. Грунты. Полевые испытания. Общие положения. Введ. 01.07.2000. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.
16. ГОСТ 19912 – 2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. Введ. 01.01.2002. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 13 с.
17. ГОСТ 22733 – 2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Введ. 01.07.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
18. ГОСТ 12071 – 2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Введ. 01.-7.2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 11 с.
19. 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.
20. Механика грунтов: В 2 ч. Ч. 1. Основы геотехники / Под общ. ред. Б. И. Далматова. – М.; СПб.: АСР, 2000. – 201 с.
21. Евгенийев, И. Е. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / И. Е. Евгенийев [и др.] / под ред. А. Я. Тулаева. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
22. Попова, З. А. Лабораторные и практические работы по испытанию грунтов для дорожного строительства / З. А. Попова. – М.: Транспорт, 1979. – 128 с.
23. СНИП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 62 с.
24. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Общие сведения	3
1.1. Классификация грунтов	3
1.2. Лабораторные испытания грунтов	7
1.3. Порядок взятия и подготовки грунтов для испытаний	8
Глава 2. Определение гранулометрического состава грунтов	9
2.1. Ситовой метод	9
2.2. Определение степени (коэффициента) неоднородности грунтов	11
2.3. Полевой метод	14
2.4. Ареометрический метод	17
2.5. Определение вида и состояния глинистого грунта, границ текучести и раскатывания	22
Глава 3. Определение физических свойств грунтов	30
3.1. Общие сведения	30
3.2. Определение плотности грунтов по ГОСТ 5180-84	31
3.3. Определение пористости и коэффициента пористости грунта	36
3.4. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности грунтов	37
3.5. Полевые методы определения плотности	40
3.6. Определение высоты капиллярного поднятия ...	44
3.7. Определение набухания грунтов	45
3.8. Определение усадки грунтов	47
3.9. Определение влагоемкости грунтов	49
3.10. Определение скорости и характера размокания грунтов	51
3.11. Определение водопроницаемости грунтов	52

Глава 4. Основные закономерности механики грунтов...	55
4.1. Определение сжимаемости грунта без возможности бокового расширения (компрессии)	57
4.2. Определение сопротивления грунтов сдвигу.....	60
4.3. Определение угла естественного откоса песчаных грунтов	64
Приложения	66
Библиографический список.....	76

Учебное издание

ПРОВАТОРОВА Галина Владимировна

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Практикум по дисциплине
«Механика грунтов»

Подписано в печать 23.06.08.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 75 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.