

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

Е. И. Вяткина, И. В. Носков

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО МЕХАНИКЕ ГРУНТОВ
с элементами УИРС**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Изд-во АлтГТУ
Барнаул, 2010

УДК 624.131.5(076.5)

Вяткина Е. И., Носков И. В. Лабораторный практикум по механике грунтов с элементами УИРС: Учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010 – 120 с.

В учебном пособии даны лабораторные методы определения показателей состояния и свойств грунтов, изложенные в виде инструктивных указаний, содержащих перечень действующих нормативных документов.

В пособии приведены программы по обработке результатов, полученных при выполнении лабораторных работ, с использованием ЭВМ, разработанные на кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ.

В пособие включены лабораторные работы с элементами УИРС, позволяющие ознакомить и привлечь студентов к выполнению научно-исследовательской работы.

Подготовлено на кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова (АлтГТУ) для студентов всех форм обучения по направлениям «Строительство» и «Транспортное строительство», аспирантов и преподавателей вузов.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство».

Рецензенты:

А. Е. Сапегин - главный инженер ОАО «АлтайТИСИЗ»;

Г. И.Швецов – зав. кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ, проф., д.г.-м.н., член-корр. РААСН.

ISBN 978-5-98550-113-1

© Алтайский государственный технический университет
им. И.И.Ползунова, 2010

Содержание

Общие положения.....	4
I. Определение свойств песчаных грунтов.....	5
Лабораторная работа № 1. Определение гранулометрического (зернового) состава песка и степени его неоднородности (ГОСТ 12536-79)..	5
Лабораторная работа № 2. Определение угла внутреннего трения песчаных грунтов по углу естественного откоса.....	9
Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента фильтрации песков (ГОСТ 25584-90).....	10
II. Определение физико-механических свойств глинистых грунтов	13
Лабораторная работа № 4. Определение плотности грунта методом режущего кольца и природной влажности грунта весовым способом (ГОСТ 5180-84).....	14
Лабораторная работа № 5. Определение пределов пластичности глинистых грунтов (ГОСТ 5180-84). Вычисление производных физических характеристик грунта.....	17
Лабораторная работа № 6. Определение прочностных характеристик глинистых грунтов (ГОСТ 12248-96).....	22
Лабораторная работа № 7. Сжимаемость грунтов. Определение относительной просадочности грунта (ГОСТ 12248-96, ГОСТ 23161-78)....	27
III. Лабораторные работы с элементами УИРС	34
Лабораторная работа № 8. Определение прочностных и деформационных характеристик глинистых грунтов с использованием автоматизированной системы инженерно-строительных изысканий – «АСИС»	34
Лабораторная работа № 9. Измерительная аппаратура для определения напряжений в грунтах.....	37
Лабораторная работа № 10. Изучение микроструктуры глинистых грунтов.....	42
IV. Обработка результатов лабораторных испытаний грунтов на ЭВМ.....	48
4.1 Определение гранулометрического (зернового) состава песка и степени его неоднородности	48
4.2 Определение типа глинистого грунта.....	48
4.3 Обработка компрессионных испытаний грунта.....	50
4.4 Сопротивление грунта сдвигу.....	50
Приложения	52
Приложение А. Выдержки из ГОСТ 25100-95	52
Приложение Б. Выдержки из ГОСТ 5180-84	79
Приложение В. Выдержки из ГОСТ 20522-96	102

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Лабораторный практикум по курсу механики грунтов выполняют студенты всех форм обучения по направлениям «Строительство» и «Транспортное строительство».

2. Целью работ является ознакомление студентов с современными методами лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород.

3. Методики определений показателей изложены по существующим ГОСТам в виде инструктивных указаний.

4. В учебном пособии единицы измерения физических величин приведены в системе СИ и в соответствии с ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация».

5. Перед началом каждой работы студенты должны ознакомиться с ее содержанием, необходимым оборудованием, ходом работы, готовить форму журнала записей результатов наблюдений и графических построений.

6. Все записи делаются в отдельных тетрадях четко и разборчиво; при этом журналы наблюдений, графики, зарисовки приборов выполняются на левой стороне тетради, вся текстовая часть работы - на правой стороне с обязательным оставлением полей с левой стороны шириной 2-2,5 см для замечаний преподавателя.

7. Работа выполняется бригадой в 3-4 человека. Все виды записей и зарисовки каждый студент делает в своей тетради.

8. В конце каждого занятия студент оформляет свой отчет по работе, делает необходимые выводы и оставляет тетрадь для просмотра преподавателю.

9. Перед началом лабораторных работ все студенты должны ознакомиться с правилами техники безопасности и расписаться в журнале.

10. На каждое занятие назначается дежурная бригада, которая получает и сдает все оборудование лаборанту кафедры.

11. Обработка результатов, полученных при выполнении лабораторных работ, ведется на ЭВМ по программам, разработанным на кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлпГТУ.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

В классе грунтов без жестких структурных связей в группе осадочных несцементированных выделена группа обломочных песчаных пород, среди которых разделение на типы проводится по гранулометрическому составу, согласно ГОСТ 25100-95 /1/.

По степени неоднородности гранулометрического состава выделяют песок однородный и неоднородный.

Для ориентировочного представления о сопротивлении песчаных грунтов сдвигу по коэффициенту внутреннего трения определяют угол их естественного откоса в сухом состоянии.

Водопроницаемость песков численно характеризуется коэффициентом фильтрации.

После выполнения лабораторных работ № 1, 2 и 3 составляется сводная таблица свойств исследуемого песка.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО (ЗЕРНОВОГО) СОСТАВА ПЕСКА И СТЕПЕНИ ЕГО НЕОДНОРОДНОСТИ (ГОСТ 12536-79) /2/

Под гранулометрическим или зерновым составом песка понимается относительное содержание в нем (по массе) частиц разной величины.

Определение гранулометрического состава необходимо для решения ряда практических вопросов, важнейшими из которых являются:

1. Классификация грунтов по зерновому составу согласно ГОСТ 25100-95 /1/ (приложение А, таблица Б.10).

2. Приближенное вычисление водопроницаемости по эмпирическим формулам.

3. Оценка пригодности грунтов для использования их как строительных материалов, в качестве насыпей и др.

Основным методом определения гранулометрического состава чистых песков является анализ на ситах без промывки водой по ГОСТ 12536-79 /2/.

Необходимое оборудование:

1. Комплект сит с отверстиями диаметром 5 мм, 4 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм.

2. Аналитические весы.
3. Ступка и пестик с резиновым наконечником.
4. Шпатель и кисточка.

Ход работы:

1. Берут среднюю навеску песка методом квартования. Для этого высушенный на воздухе образец тщательно перемешивают, выбирают гальку и гравий, распределяют ровным слоем на листе плотной бумаги, шпателем делят на квадраты, проводя борозды в продольном и поперечном направлениях, и с каждой четвертинки отбирают немного песка в состав средней пробы.

2. Из средней пробы взвешивают на весах пробу песка 100 г с точность 0,01 г.

3. Пробу пропускают через набор сит 5-0,25 мм. Предварительно сита собирают в колонку так, чтобы отверстия их уменьшались сверху вниз. Под нижнее сито подставляют поддон, а на верхнее сито, после высыпания пробы, надевают крышку (рисунок 1). Просеивание осуществляют с помощью легких боковых ударов ладонями рук до полной сортировки частиц грунта.



4. Содержимое каждого сита, начиная с крупного, переносят в ступку и дополнительно обрабатывают пестиком, после чего вновь просеивают сквозь то же сито. Оставшееся после повторного просеивания содержимое на каждом сите и из поддона взвешивают с точностью до 0,01 г и записывают в рабочий журнал по фракциям в %, таблица 1.

5. Для контроля складывают массы отдельных фракций. При расхождении веса более чем на 1% анализ повторяют. Потерю грунта при просеивании разносят по всем фракциям пропорционально их весу. В журнал вносят поправки.

Рисунок 1 - Комплект сит для гранулометрического анализа

Таблица 1 – Журнал ситового анализа

Нименование грунта	Фракции грунта, %							Тип по ГОСТ 25100-95
	>5 мм	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	
Песок								

6. Степень неоднородности гранулометрического состава песчаных грунтов определяется по формуле:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

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

Степень неоднородности C_u не может быть меньше 1 и практически не бывает больше 200. Чем меньше величина C_u , тем однороднее грунт.

Если $C_u < 3$, то грунт однородный по грансоставу, при $C_u \geq 3$ – не однородный по грансоставу (приложение А, п. 2.2).

Величины d_{60} и d_{10} определяются графически по кривой неоднородности грансостава, построение которой выполняется в прямоугольной системе координат (рисунок 2): по оси абсцисс откладывают величины диаметров частиц в мм, а по оси ординат - суммы процентов фракций от меньшего диаметра к большему. Подсчет сумм выполняется в таблице 2.

Исследованиями установлено, что на свойства грунта главным образом влияют частицы, приходящиеся на указанный участок кривой.

Пример заполнения таблицы 2 и построения кривой неоднородности грансостава приведены на рисунке 3.

Таблица 2

d, мм	% содержание	Сумма % %
<0,25		
0,25		
0,5		
1,0		
2,0		
3,0		
4,0		
5,0		

7. В соответствии с ГОСТ 25100-95 /1/ по коэффициенту пористости e песчаные грунты подразделяют на плотные, средней плотности и рыхлые (приложение А, таблица Б.18); по коэффициенту водонасыщения S_r пески подразделяют на малой степени водонасыщенные, средней степени водонасыщенные и насыщенные водой (приложение А, таблица Б.17).

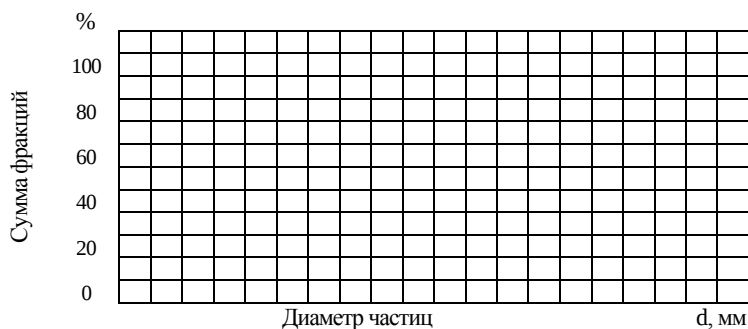
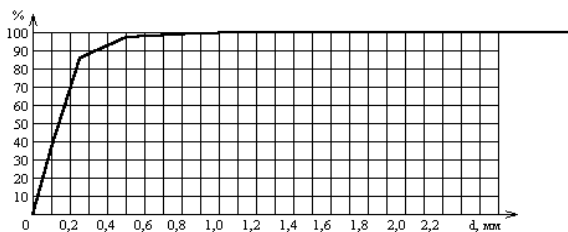


Рисунок 2 - Кривая неоднородности грансостава.



d, мм	% со д.	Сум ма %
<0,25 мм	25	25
0,25	15	40
0,5	21	61
1,0	19	80
2,0	17	97
5,0	3	100
>5 мм	0	100

Рисунок 3 – Пример заполнения таблицы суммарного содержания фракций грунта и построения кривой неоднородности грансостава

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. - М.: Изд-во стандартов, 1997.
2. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. - М.: Изд-во стандартов, 1980.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПО УГЛУ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА

Прочность грунта нарушается, если в нем возникают касательные напряжения, превышающие его предельное сопротивление сдвигу, в результате чего образуется опасная поверхность скольжения.

В песках сопротивление сдвигу обусловлено влиянием сил внутреннего трения грунта и коэффициент внутреннего трения равен тангенсу угла его предельного или естественного откоса.

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

Угол естественного откоса определяется в воздушно-сухом состоянии.

Необходимое оборудование:

1. Прибор УВТ-2.
2. Совочек для засыпки песка.

Ход работы:

1. Необходимыми порциями песок засыпают в собранный прибор (рисунок 3), установленный на горизонтальной площадке.
2. Придерживая основание прибора, осторожно снимают конус.
3. Берут отсчет по шкале, установленной в центре диска.
4. Опыт повторяют дважды. Записи делают в журнале (таблица 3).

За угол естественного откоса принимается среднее значение из двух определений.

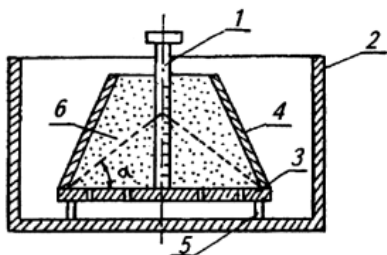


Рисунок 4 - Прибор УВТ-2 для определения угла естественного откоса:

- 1- шкала; 2 - резервуар;
- 3 - мерительный столик;
- 4 - обойма; 5 - опора;
- 6 - образец песка

Таблица 3 - Журнал определения угла естественного откоса

	В воздушно-сухом состоянии
Определение 1	
Определение 2	
Среднее значение	
Коэффициент внутреннего трения $f = \operatorname{tg}\alpha$	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКОВ (ГОСТ 25584-90) /1/

Коэффициент фильтрации является физической характеристикой водопроницаемости грунтов. Он представляет собой скорость фильтрации воды в грунтах при гидравлическом градиенте I , равном единице, и имеет размерность см/с и м/сут ($1 \text{ см/с} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/сут}$). Коэффициент фильтрации для песков определяется в полевых условиях методом откачки или налива воды в шурфы, расчетными методами (по гранулометрическому составу) или в лабораторных условиях на приборах различных конструкций. Величина коэффициента фильтрации колеблется в больших пределах. Для песков обычно от 0,01 до 0,001 см/с.

Значение коэффициента фильтрации используется при определении притока воды в строительные котлованы, при подсчете запасов подземных вод, при проектировании дренажных сооружений, насыпных фильтров и др.

Лабораторная работа № 3 предусматривает определение коэффициента фильтрации песчаного грунта в приборе «трубка СПЕЦГЕО» (рисунк 5).

Необходимое оборудование:

1. Секундомер.
2. Сосуд с водой.
3. Трубка СПЕЦГЕО.
4. Термометр

Ход работы:

1. На фильтрационную трубку 6 надевают нижнюю крышку 7 и затем через верх слоями в 1-2 см с легкой трамбовкой наполняют ее песком. Затем на трубку надевают верхнюю крышку 5.

2. В наружный стакан 3 наливают воды примерно на 1/3 его высоты, измеряют ее температуру, и внутренний стакан 2 вывинчивают вверх до отказа. На дно стакана 2 устанавливают фильтрационную трубку и медленно, с остановками, его заворачивают, опуская в нижнее положение для насыщения породы водой, до появления пленки воды на ее поверхности.

3. Вывинчивают внутренний стакан 2 с фильтрационной трубкой вверх до отказа (напорный градиент 1).

4. Заполняют водой мерный цилиндр 4, зажимают его отверстие большим пальцем, и быстро опрокинув его, вставляют в крышку фильтрационной трубки так, чтобы его горлышко соприкасалось с латунной сеткой, плотно лежащей на породе.

5. В таком виде мерный сосуд работает как сосуд Бойля-Мариотта, автоматически поддерживая над породой постоянный уровень воды 1-2 мм. Как только этот уровень вследствие просачивания воды через породу понизится, в мерный цилиндр прорывается пузырек воздуха и вытекает соответствующее количество воды.

6. Если в мерный цилиндр прорываются крупные пузырьки воздуха, это свидетельствует о том, что горлышко трубки отстоит от поверхности породы на значительном расстоянии. В этом случае зарядку прибора повторяют.

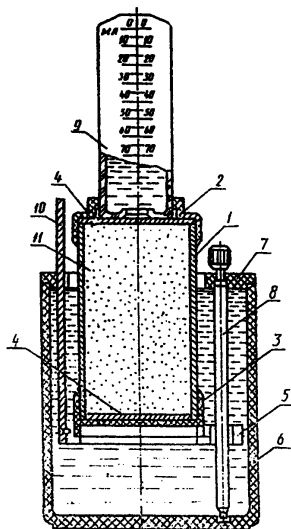


Рисунок 5 - Трубка СПЕЦГЕО:

- 1- цилиндр; 2 - муфта; 3 – перфорированное дно; 4 – латунная сетка; 5- подставка;
- 6 – корпус; 7 – крышка; 8 – подъемный винт;
- 9 - стеклянный баллон со шкалой объема фильтрующей жидкости; 10 - планка со шкалой градиентов напора; 11 – образец грунта

7. Отмечают по шкале уровень воды

в мерном цилиндре 4, пускают секундомер и через определенное время замечают второй уровень воды в мерном цилиндре, что дает возможность определить расход воды Q, профильтровавшейся за время T секунд.

8. Для определения среднего значения величины коэффициента фильтрации при напорном градиенте $I = 1$, замеры воды повторяют при различных положениях уровня воды в мерном сосуде за время T секунд - 3 раза. Данные записывают в журнал (таблица 4).

9. Опускают внутренний стакан 2 вниз до отметки на шкале 0,6 (напорный градиент равен 0,6) и проводят определение коэффициента фильтрации, согласно пунктам 7 и 8.

10. Коэффициент фильтрации грунта K_{10} , м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре 10°C /1/, вычисляют по формуле:

$$K_{10} = \frac{864V_w}{t_m A I I}, \text{ м/сут,}$$

где V_w - объем профильтровавшейся воды, см^3 ;

t_m - средняя продолжительность фильтрации (по замерам при одинаковых расходах воды), сек;

A - площадь поперечного сечения цилиндра фильтрационной трубки, см^2 , $A = 25 \text{ см}^2$;

I - градиент напора, $I = 1$ и $I = 0,6$;

$T = 0,7 + 0,03T_w$ - поправка для приведения значения коэффициента фильтрации воды при температуре 10°C , где T_w - фактическая температура воды, $^\circ\text{C}$, при испытании;

864 - переводной коэффициент (из $\text{см}^3/\text{с}$ в $\text{м}^3/\text{сут}$).

Коэффициент фильтрации вычисляют до второй значащей цифры и для каждого значения напорного градиента подсчитывается среднее значение коэффициента фильтрации.

Таблица 4 - Журнал определения коэффициента фильтрации

Напорный градиент	I = 1			I = 0,6		
Замеры	1	2	3	1	2	3
Время фильтрации, t_m , с						
Объем воды, V_w , см^3						
Температура воды, T_w , $^\circ\text{C}$						
Коэффициент фильтрации K_{10} при $t = 10^\circ\text{C}$, м/сут						
Среднее значение K_{10} , м/сут						

11. По величине коэффициента фильтрации, согласно ГОСТ 25100-95 /2/, грунты подразделяются по степени водопроницаемости (приложение А, таблица Б.6).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25584-90. Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации. - М: Изд-во стандартов, 1990.
2. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. - М.: Изд-во стандартов, 1997.

ВЫВОДЫ

Результаты определения свойств песчаного грунта заносятся в сводную таблицу 5 и могут быть использованы при курсовом или дипломном проектировании как характеристики песка определенной стройплощадки.

Таблица 5 - Сводная таблица свойств песка по данным лабораторных исследований

Грансостав, %							Угол естественного откоса	Коэффициент внутреннего трения f	K ₁₀ , м/сут		Однородность	
> 5 мм	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25			при I = 1	при I = 0,6	C _u	Определение

Классификация грунта по ГОСТ 25100-95 _____

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Свойства грунтов оцениваются их физическими и механическими характеристиками, которые зависят от качественного и количественного соотношения компонентов грунта. Физико-механические свойства грунтов характеризуют их физическое состояние, отношение к воде и закономерности изменения прочности и деформируемости.

Изучение физико-механических свойств глинистых грунтов в лабораторных условиях производится на образцах ненарушенной структуры (монолитах), отбор и хранение которых должны соответствовать ГОСТ 12071-2000 /1/.

Лабораторные работы №№ 4-7 предусматривают определение как основных, определяемых лабораторными методами, так и производных, устанавливаемых расчетом, характеристик физико-механических свойств глинистых грунтов.

Основными физическими характеристиками грунтов являются:

ρ - плотность грунта, г/см³;

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см³;

w - природная влажность, д.е.

Вычисляемыми (производными) характеристиками грунтов являются:

ρ_d - плотность сухого грунта (плотность скелета грунта), г/см³;

n - пористость, %;

e - коэффициент пористости, д. ед.;

J_p - число пластичности, д. ед.;

J_L - показатель текучести;

w_p - влажность на границе раскатывания, д. ед.;

w_l - влажность на границе текучести, д. ед. и др.

После выполнения лабораторных работ №№ 4-7 составляется сводная таблица свойств исследуемого глинистого грунта (таблица 15).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА И ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА ВЕСОВЫМ СПОСОБОМ (ГОСТ 5180-84) /2/

1. Определение плотности грунта методом режущего кольца.

Плотностью грунта называется отношением массы образца грунта к занимаемому им объему.

Необходимое оборудование:

1. Режущее кольцо.
2. Нож для зачистки грунта.
3. Аналитические весы.
4. Монолит грунта.

Ход работы:

1. Кольца-пробоотборники нумеруют, измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до 0,1 см³.

2. Путем постепенного погружения кольца в монолит грунта, внутреннюю часть кольца заполняют грунтом. Торцы грунтового образца зачищают ножом вровень с краями кольца и накрывают фильтровальной бумагой.

3. Кольцо с грунтом взвешивают.

4. Плотность грунта вычисляют по формуле:

$$\rho = (m_1 - m_0) / V, \quad \text{г/см}^3,$$

где m_1 - масса грунта с кольцом, г;

m_0 - масса кольца, г;

V - внутренний объем кольца, см³.

5. Вычисляют удельный вес грунта по формуле:

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

где q - ускорение свободного падения.

6. Результаты заносятся в журнал определения плотности породы (таблица 6).

Таблица 6 - Журнал определения плотности породы

№ кольца	Параметры кольца				Масса грунта с кольцом m_1 , г	Плотность отдельного образца ρ , г/см ³	Среднее значение плотности ρ , г/см ³	Удельный вес γ кН/м ³
	Площадь S , см ²	Высота h , см	Объем V , см ³	Масса m_0 , г				

2. Определение природной влажности грунта весовым способом.

Влажностью грунта называется отношение массы воды, содержащейся в данном объеме грунта, к массе этого объема грунта, высушенного при температуре 100-105 °С до постоянной массы.

Необходимое оборудование:

1. Бюксы с крышками.
2. Аналитические весы.
3. Сушильный шкаф.
4. Эксикатор.

Ход работы:

1. Взвешивают бюксы с крышками, данные записывают в журнал (таблица 7).

2. Пробу исследуемого грунта не менее чем по 15 г, помещают в бюксы, закрывают крышкой, каждый взвешивают, данные записывают в журнал (таблица 7).

3. Открывают крышки бюксов, надевают их на донышко и ставят бюксы в сушильный шкаф.

4. Выдерживают образцы в сушильном шкафу при температуре 100-105 °С до постоянного веса (не менее 6 часов).

5. Закрывают бюксы крышками, переносят в эксикатор и дают остыть 30-40 минут.

6. Взвешивают охлажденные бюксы с грунтом, данные записывают в журнал (таблица 7).

7. Вычисляют влажность для каждого образца по формуле:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \text{ д.е.},$$

где m - масса бюкса с крышкой без грунта, г;

m_1 - масса бюкса с крышкой и с грунтом до высушивания, г;

m_0 - то же, после высушивания, г.

Все взвешивания выполняются на весах с точностью 0,01 г. Значение влажности берется как среднее из двух параллельных определений.

Таблица 7 - Журнал определения природной влажности весовым способом

Номера бюксов	Масса бюкса m , г	Масса бюкса с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюкса с сухим грунтом m_0 , г	Влажность грунта ω , д. ед.	Среднее значение влажности

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование, хранение образцов. - М: ГУП ЦПП. - 2001.

2. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - М.: Изд-во стандартов. - 1993.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ
ГРУНТОВ (ГОСТ 5180-84) /1/
ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА (ГОСТ 25100-95) /2/

При изменении влажности глинистых грунтов изменяются их состояние и свойства.

Глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном и текучем состояниях (ГОСТ 25100-95 /2/).

Переход глинистой породы из одного состояния в другое совершается при определенных значениях влажности, которые называются пределами.

Влажность, выраженная в долях единицы, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, называется верхним пределом пластичности или *границей текучести* – W_L .

Влажность, выраженная в долях единицы, при которой грунт переходит из пластичного состояния в твердое, называется нижним пределом пластичности или *границей раскатывания* – W_p .

Разность между значениями влажности на границе текучести и на границе раскатывания называется числом пластичности J_p .

$$J_p = W_L - W_p.$$

В зависимости от числа пластичности, согласно ГОСТ 25100-95 /2/, глинистые грунты подразделяются на супеси, суглинки и глины (приложение А, таблица Б.11 и таблица Б.12) .

Сравнение естественной влажности грунта с влажностью на границе раскатывания и текучести позволяет установить состояние его по текучести. Показатель текучести определяется по формуле:

$$J_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} = \frac{\omega - \omega_p}{J_p}.$$

Необходимое оборудование:

1. Бюксы с крышками - 4 шт.
2. Аналитические весы.
3. Сушильный шкаф.
4. Эксикатор.
5. Сито с отверстиями 0,5 мм.
6. Металлическая или фарфоровая чашка.
7. Дистиллированная вода.
8. Шпатель.
9. Ступка и пестик с резиновым наконечником.
10. Балансирный конус (общая масса 76 г, угол при вершине 30°).

11. Стаканчик высотой не менее 4 см, диаметром не менее 2 см.
12. Пластика стеклянная или пластмассовая.
13. Технический вазелин.

1. Определение границы текучести - верхнего предела пластичности
методом балансирующего конуса по ГОСТ 5180-84 /1/.

Методика определения границы текучести приведена в соответствии с ГОСТ 5180-84 (приложение Б, п. 4).

Ход работы:

1. Взвешивают два бюкса с крышками и данные записывают в журнал (таблица 8).

2. Образец грунта естественной влажности разминают шпателем или размельчают пестиком, а затем протирают или просеивают (в зависимости от образца) сквозь сито с отверстиями 0,5 мм.

3. Переносят грунт, прошедший сквозь сито, в чашку, увлажняют его до состояния густого теста при одновременном перемешивании и оставляют в закрытом стеклянном сосуде не менее чем на два часа.

4. Увлажненное грунтовое тесто тщательно перемешивают шпателем и без пустот заполняют им стаканчик (рисунок 6). Поверхность заравнивают шпателем вровень с краями стаканчика. Стаканчик ставят на подставку.

5. Подносят к поверхности грунтового теста острие конуса, смазанное тонким слоем вазелина, опускают конус, дают ему свободно погрузиться в тесто под влиянием собственной массы.

6. Если конус погрузится до круговой метки в 4-5 точках, т.е. на глубину 10 мм за 5 секунд, верхний предел считается достигнутым.

7. Погружение конуса в грунтовое тесто меньше 10 мм показывает, что влажность теста не достигла верхнего предела. Грунтовое тесто следует извлечь из стаканчика, добавить немного дистиллированной воды, тщательно перемешать и повторить операции по п.п. 5, 6.

8. Когда верхний предел пластичности достигнут, берут из стаканчика две пробы, каждая массой не менее 15 г и определяют ее влажность весовым способом, описанным в лабораторной работе № 4.

9. Все взвешивания производят на весах с точностью до 0,01 г.

10. Расхождения в результатах параллельных определений допускается не более 2%.

11. Все результаты записывают в журнал определения влажности на границе текучести (таблица 8).



Рисунок 6 - Балансирный конус для определения предела текучести глинистых пород стандартным методом:

- 1 – подставка; 2 – круговая метка; 3 – ручка; 4 – балансирный конус;
5 - стаканчик с подготовленной для испытания породой

Таблица 8 - Журнал определения влажности на границе текучести

Номера бюксов	Масса бюкса m , г	Масса бюкса с влажным грунтом m_1 , г	Масса бюкса с сухим грунтом m_0 , г	Влажность границы текучести w_L , д. ед.	Среднее значение влажности w_L

2. Определение границы раскатывания - нижнего предела пластичности по ГОСТ 5180-84 /1/.

Методика определения границы текучести приведена в соответствии с ГОСТ 5180-84 (приложение Б, п. 5).

Ход работы:

1. Увлажненное грунтовое тесто тщательно перемешивают, берут из него небольшой кусочек и раскатывают руками на стеклянной или пластмассовой пластинке или на листе плотной бумаги до образования жгута диаметром около 3 мм при длине 3-10 см. Если при такой толщине жгут не крошится, его мнут, перемешивают и вновь раскатывают, пока при диаметре 3 мм жгутик не начнет делиться по всей длине поперечными трещинами на кусочки длиной 3-10 мм.

2. Собирают кусочки жгута в 2 заранее взвешенных бюкса (не менее 15 г в каждый) и определяют их весовую влажность, как указано в лабораторной работе № 4. Запись делают в журнале (таблица 9).

3. Взвешивание производят на весах с точностью 0,01г.

4. Расхождения в результатах параллельных определений не должны превышать 2%.

Таблица 9 - Журнал определения влажности на границе раскатывания

Номера бюксов	Масса бюкса m, г	Масса бюкса с влажными жгутами грунта m ₁ , г	Масса бюкса с сухими жгутами грунта, m ₀ , г	Влажность на границе раскатыва- ния w _p , д. ед.	Среднее значение влажности w _p

3. Вычисление производных физических характеристик грунта.

1. Пластичность глинистого грунта определяется расчетом по данным естественной влажности ω (лабораторная работа № 4), влажности верхнего предела пластичности ω_L (1-й раздел настоящей работы) и влажности нижнего предела пластичности ω_p (2-й раздел настоящей работы).

Выполняем расчет числа пластичности и определяем наименование глинистого грунта (приложение А, таблица Б.11).

2. Выполняем расчет показателя текучести и определяем состояние глинистого грунта согласно ГОСТ 25100-95 /1/ (приложение А, таблица Б.12).

3. Плотность сухого грунта.

Плотностью сухого грунта ρ_d называется масса единицы объема грунта естественного сложения в абсолютно сухом состоянии.

Расчетная формула для определения плотности сухого грунта:

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

По плотности сухого грунта грунты подразделяют согласно ГОСТ 25100-95 /2/ (приложение А, таблица Б.2).

4. Пористость грунта.

Пористостью называется выраженное в процентах отношение объема пор в данном объеме грунта к объему грунта в целом. Пористость определяется по формуле:

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} 100\%,$$

Плотность частиц грунта ρ_s приведена в таблице 10.

Таблица 10 - Значение плотности частиц грунта

Гранулометрический тип	Среднее значение плотности частиц грунта, ρ_s г/см ³
Супеси	2,70
Суглинки	2,71
Глины	2,74

5. Коэффициент пористости.

Коэффициентом пористости называется выраженное в долях единицы отношение объема пор в данном объеме грунта к объему твердых частиц, содержащихся в этом же объеме грунта

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}.$$

6. Коэффициент водонасыщения S_r - показатель степени заполнения объема пор в грунте водой. Вычисляется как отношение массы воды, заключенной в порах некоторого объема грунта естественной влажности, к массе воды в этом же грунте при его полном водонасыщении

$$S_r = \frac{\omega}{e} \frac{\rho_s}{\rho_w}, \text{ д. ед.},$$

где ρ_w - плотность воды, равная 1 г/см³.

Классификация крупнообломочных грунтов и песков по S_r приведена в приложении А, таблица Б.17.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. - М.: Изд-во стандартов. - 1993.
2. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. - М.: Изд-во стандартов. - 1997.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ 12248-96 /1/

Цель работы - определение параметров прочности грунта φ и C : φ - угол внутреннего трения (градусы); C - удельное сцепление глинистого грунта (МПа).

Общие сведения о требованиях ГОСТ 12248-96 /1/.

Правильный выбор показателей сопротивления сдвигу, как основных прочностных характеристик грунтов, имеет первостепенное значение для практики, т. к. они обуславливают точность инженерных расчетов по определению предельной нагрузки на грунт, устойчивости массивов грунта и давления грунтов на ограждения.

Сопротивление сдвигу одного и того же грунта непостоянно и зависит от физического состояния грунта - степени нарушенности естественной структуры, плотности, влажности, а также от условий производства испытаний (конструкция прибора, размеры образца, скорость сдвига и т. д.).

Для получения наиболее достоверных данных испытания на сдвиг должны всегда проводиться в условиях, максимально приближающихся к условиям работы грунта под сооружением или в самом сооружении.

Методика испытаний определяется ГОСТ 12248-96 /1/. В зависимости от вида грунтов, их состояния, характера нагружений грунтовых оснований под зданиями и сооружениями сопротивление грунтов сдвигу может определяться двумя методами:

- 1) консолидированный срез;
- 2) неконсолидированный срез.

ГОСТ 12248-96 /1/ требует проведения испытаний для грунтовых образцов, находящихся в двух состояниях: при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии.

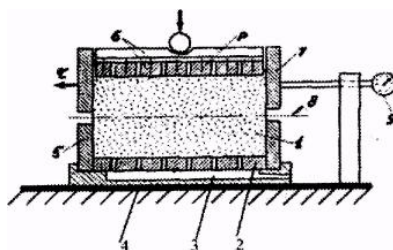
В нашем случае работа преследует цель дать лишь общее представление о методике испытаний. Условно считается, что за основу принята методика консолидированного сдвига грунтовых образцов при сохранении естественной влажности грунтов.

Определение сопротивления сдвигу глинистых грунтов

Настоящая лабораторная работа предусматривает определение сопротивления грунта сдвигу в односрезном плоскостном приборе с верхней подвижной обоймой (рисунок 7).



Общий вид прибора



Принципиальная схема прибора

Рисунок 7 - Односрезной плоскостной прибор прямого сдвига:
 1 - образец грунта; 2 - фильтр; 3 - поддон; 4 - станина; 5 - неподвижное кольцо-обойма; 6 - фильтр-штамп; 7 - подвижное кольцо-обойма;
 8 - плоскость сдвига; 9 - индикатор для замера деформаций сдвига

Лабораторные испытания грунтов для определения показателей трения и сцепления способом поперечного сдвига производятся путем последовательного среза 3-х образцов исследуемого грунта. Образцы предварительно не уплотняются или уплотняются в продолжение короткого времени, за которое не наступает полной консолидации. Сдвиг быстрый, т. е. увеличение сдвигающей силы производят быстро, не дожидаясь прекращения деформаций, при лессовидных грунтах при полном водонасыщении грунта.

Срез производится при 3-х значениях нормального давления:

образец № 1 - $P_1 = 0,1$ МПа;

образец № 2 - $P_2 = 0,2$ МПа;

образец № 3 - $P_3 = 0,3$ МПа.

Такая схема (незавершенное уплотнение и быстрый сдвиг) характеризует возможное сопротивление сдвигу грунтов в начальные моменты приложения вертикальных (сжимающих) нагрузок от сооружения.

Согласно теории предельного напряженного состояния, связь между сопротивлением сдвигу и нормальным давлением в плоскости среза выражается уравнением:

$$\tau = P \cdot \operatorname{tg} \varphi + C.$$

Необходимое оборудование:

1. Сдвиговой прибор ГПИ-30. Основные характеристики прибора: высота кольца 35-50 мм; диаметр кольца - 71,4 мм; площадь поперечного сечения - 40 см².
2. Монолит образца грунта ненарушенной структуры и естественной влажности, отобранный согласно ГОСТ 12071-2000 /2/.
3. Нож с ровным краем.
4. Секундомер.
5. Технический вазелин.

Ход работы:

1. Подготавливают три образца. Для чего вскрывают монолит и на его поверхности выравнивают площадку. Поверхность металлической обоймы смазывают вазелином и устанавливают ее на монолит заостренным краем вниз. Обрезают ножом вокруг обоймы, постепенно врезают ее в грунт. Ровным краем ножа срезают лишний грунт с торцов и покрывают их влажной фильтровальной бумагой. Подобным образом вырезают три образца.

2. Подготавливают прибор:

а) соединяют разъемное кольцо прибора и закрепляют его неподвижно стопорными винтами;

б) устанавливают индикатор часового типа с ценой делений 0,01 мм в гнездо горизонтально.

3. С помощью подвижной рычажной системы грунт из цельной обоймы переводят в разъемное кольцо сдвигового прибора.

4. Прикладывают первое заданное вертикальное давление, равное 0,1 МПа (при существующем состоянии рычагов 1:4 это соответствует приложению на отвес массы 4 кг) и выдерживают 5 мин.

5. Присоединяют тросик подвески приложения горизонтальной сдвигающей нагрузки и освобождают каретку стопорными винтами.

6. Боковыми вертикальными винтами устанавливают зазор в разъемном кольце прибора, равный 0,5-1 мм.

7. Устанавливают индикатор в рабочее положение, когда конец стрелки малого круга (отсчет, мм) остановится на нулевом показателе. Вращением головки подводят нулевое деление внешней шкалы к большой стрелке, отсчет 0,01 мм.

8. Прикладывают горизонтальную сдвиговую нагрузку с интервалом в 30 секунд:

а) при $P_1 = 0,1$ МПа первая нагрузка 0,01 МПа (на подвеску 0,4 кг), затем ступенями по 0,0025 МПа (на подвеску по 0,1 кг);

б) при $P_2 = 0,2$ МПа первая нагрузка 0,015 МПа (на подвеску 0,6

P_2, P_3 в МПа, а на оси ординат - соответствующие им сдвигающие напряжения τ_1, τ_2, τ_3 (пример построения графика приведен на рисунке 8).

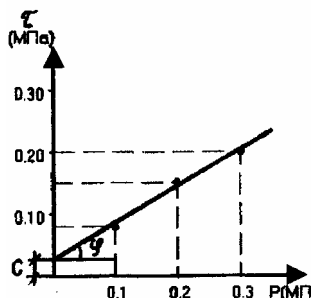


Рисунок 8 – График зависимости сдвигающих напряжений от вертикального давления $\tau = f(P)$.

Через полученные точки проводят среднюю прямую до пересечения с осью ординат. Отрезок прямой на оси ординат выражает величину удельного сцепления C . Тангенс угла наклона полученной прямой к оси абсцисс - есть угол внутреннего трения ϕ . Значение C и ϕ заносят в журнал (таблица 12) как конечные результаты опыта.

14. При быстром сдвиге с прибором ГГП-30 работают три человека. Один из них укладывает грузы на подвеску, другой снимает показания индикатора, регистрирующего сдвиг, третий - записывает показания.

Таблица 12

Вертикальное давление P , МПа	0,1	0,2	0,3	$C =$
Сдвигающие напряжения τ , МПа				$\phi =$

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997.
- ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование, хранение образцов. М.: ГУП ЦПП. - 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТА (ГОСТ 12248-96 /1/, ГОСТ 23161-78 /3/)

1. Сжимаемость грунтов.

Цель работы: определение характеристик сжимаемости грунта α и E в условиях невозможности его бокового расширения; α – коэффициент уплотнения или сжимаемости, $1/\text{МПа}$; E – модуль общей деформации грунта, МПа .

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

Сжимаемость глинистых пород зависит от их минералогического состава, степени дисперсности, состава обменных катионов, пористости, а также от состояния породы и условий сжатия.

Каждому сообщенному на грунт давлению соответствует определенная пористость и влажность.

Графически зависимость пористости от давления, при невозможности бокового расширения, изображают компрессионной кривой (пример построения кривой приведен на рисунке 10).

Для построения ее на оси абсцисс откладывают вертикальные давления P_v , а по оси ординат – соответствующие им коэффициенты пористости e_v .

На небольшом отрезке компрессионную кривую можно заменить прямой. Тангенс угла наклона этой прямой характеризует компрессию (сжимаемость, деформируемость) грунта на данном интервале давлений и является коэффициентом компрессии α .

Кроме того, по результатам компрессионных испытаний рассчитывают модуль общей деформаций E , играющий важную роль при расчете осадок фундаментов зданий и сооружений.

Общие сведения о требованиях ГОСТ 12248-96 /1/.

Метод, принятый в ГОСТ 12248-96 /1/, распространяется на глинистые грунты. Характеристики сжимаемости могут определяться для грунтов естественной влажности или полностью водонасыщенных. Условия проведения испытаний должны соответствовать тем условиям, в которых будет находиться грунт основания в период строительства, эксплуатации здания или сооружения, возводимого на этом основании (при сохранении естественной влажности, или при обводнении основания, закреплении грунта, его уплотнении, замене насыпным грунтом и др.).

Необходимое оборудование:

1. Компрессионный прибор К-1М - одометр «Гидропроект» с площадью кольца $S = 60 \text{ см}^2$, высотой кольца $h_0 = 25 \text{ мм}$ и соотношением рычагов прибора 1/10 (рисунок 9).
2. Монолит образца грунта ненарушенной структуры и естественной влажности, согласно ГОСТ 12071-2000 /2/.
3. Индикатор деформаций часового типа с ценой деления шкалы 0,01 мм (для измерения вертикальных деформаций образца при действии уплотняющей грунт нагрузки).
4. Набор гирь массой по 3 кг.

Проведение эксперимента в лабораторных условиях по ускоренной схеме

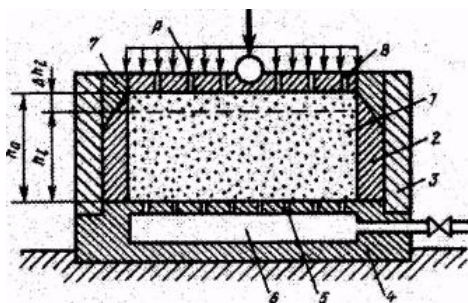
Ход работы:

1. Кольцо с образцом грунта покрывают с двух сторон увлажненными фильтрами, вставляют в верхнюю часть стакана и производят сборку одометра.
2. На поверхность образца устанавливают перфорированный штамп, в углубление которого кладут шарик. Сверху на собранный стакан навинчивают кольцо-арретир, ограничивающее набухание образца при замачивании.
3. Собранный прибор помещают на столик компрессионного прибора так, чтобы шток пресса рычажного устройства находился над шариком.
4. Закрепляют индикаторы в рабочем положении на нулевой отсчет, соответствующий начальному положению поверхности образца до приложения нагрузки.
5. Через каждые три минуты увеличивают нагрузку ступенями по 0,05 МПа до конечной нагрузки 0,3 МПа (на рычаге подвески 18 кг).
6. Записи ведут в журнале (таблица 13).
7. Опыт закончен или может быть продолжен при необходимости определения величины относительной просадочности испытываемого грунта.

Исходные данные: h_0 - высота образца до начала испытаний ($h_0 = 25 \text{ мм}$); e_0 - коэффициент пористости до начала испытаний, определенный в лабораторной работе № 5.



Общий вид прибора



1 - испытуемый образец; 2 - жесткое
грунтоотборочное кольцо; 3 - обойма-
корпус; 4 - поддон; 5 - фильтр; 6 - полость;
7 - направляющее кольцо; 8 - штамп-
фильтр; P - сжимающее давление

Принципиальная схема прибора

Рисунок 9 - Компрессионный прибор (одометр)

Таблица 13 - Журнал компрессионных испытаний

Груз на подвеске, N, кг	Дав- ление P, МПа	Деформации			Относи- тельная дефор- мация ε_i	Изменение коэффициента пористости $\Delta e_i = \varepsilon(1+e_0)$	Коэффициент пористости $e_i = e_0 - \Delta e_i$
		№ 1	№2	среднее Δh_i			
3	0,05						
6	0,10						
9	0,15						
12	0,20						
15	0,25						
18	0,30						
Замачивание							
18	0,30						
24	0,40						

Величина относительной деформации образца грунта:

$$\varepsilon_i = \Delta h_i / \Delta h_0,$$

Вычисляют коэффициенты пористости e_i , соответствующие давлению P_i , используя формулу:

$$e_i = e_0 - \Delta e_i; \quad \Delta e_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} (1 + e_0) = \varepsilon_i (1 + e_0).$$

По известным значениям e_i и P_i строят график зависимости $e_i = f(P_i)$ - компрессионную кривую. Пример построения компрессионной кривой приведен на рисунке 10.

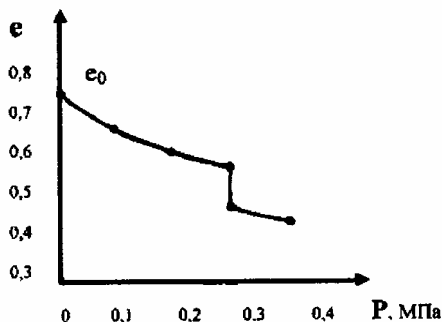


Рисунок 10 –
Пример построения
компрессионной кривой

Коэффициент уплотнения (сжимаемости) в интервале давлений 0,1-0,3 МПа вычисляется по формуле:

$$a_{0,1-0,3} = \frac{e_{0,1} - e_{0,3}}{0,3 - 0,1}, \text{ 1/МПа,}$$

где $e_{0,1}$ и $e_{0,3}$ - коэффициенты пористости, соответствующие давлениям 0,1-0,3 МПа.

Модуль деформации грунта E в интервале давлений 0,1-0,3 МПа вычисляются по формуле:

$$E_{0,1-0,3} = \frac{1 + e_0}{a_{0,1-0,3}} \beta, \text{ МПа,}$$

где β - безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения грунта и принимаемый равным: 0.74 - для лессовидных супесей, 0.63 - для лессовидных суглинков, 0.40 - для лессовидных глин.

2. Определение относительной просадочности грунтов (ГОСТ 23161-78) /3/

Выявление и определение просадочности грунтов имеет большое практическое значение при проектировании строительства различных сооружений на лессовых грунтах. Под просадочностью понимают уменьшение объема грунта при увлажнении под действием внешней нагрузки или собственного веса.

Основными характеристиками просадочных свойств грунтов являются:

- относительная просадочность ε_{sl} ;
- начальное просадочное давление P_{sl} ;
- начальная просадочная влажность w_{sl} .

Характеристики просадочности ω_{sl} и P_{sl} определяются по ГОСТ 23161-78 /3/.

Относительной просадочностью ε_{sl} называется отношение приращения осадки Δh_{np} , вызванной воздействием заданной ступени нагрузки на переувлажненный образец грунта, к первоначальной высоте h_0 этого образца при его естественной влажности и природном давлении.

$$\varepsilon_{sl} = \frac{\Delta h_{np.}}{h_0} = \frac{h' - h_{np}}{h_0},$$

где h' - высота образца грунта природной влажности при давлении 0,3 МПа;

h_{np} - высота образца грунта после дополнительного сжатия (просадки) в результате замачивания при том же давлении.

При значении $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$ - грунты просадочные, при $\varepsilon_{sl} < 0,01$ - грунты непросадочные (Приложение А, таблица Б.16).

Начальным просадочным давлением P_{sl} считается такое давление, при котором возникает просадка, оцениваемая значением $\varepsilon_{sl} = 0,01$. При действии на грунт давлений $P < P_{sl}$ дополнительными осадками (просадками) за счет переувлажнения грунта пренебрегают; при этом условии грунт считается условно непросадочным.

Начальной просадочной влажностью w_{sl} считают такую влажность, при которой грунты, находящиеся в напряженном состоянии, вызванном внешней нагрузкой и собственным весом грунта (или только собственным весом), начинают проявлять просадочные свойства при значении $\varepsilon_{sl} = 0,01$.

Для определения величины относительной просадочности методом «одной кривой» при давлении $P = 0,3$ МПа продолжаем компрессионные испытания на приборе К-1М - одометре.

Ход работы:

1. После относительной стабилизации осадки в компрессионном приборе при давлении $P = 0,3$ МПа в резервуар прибора заливают воду для замачивания образца и поддерживают уровень воды в резервуаре по верхнему торцу образца грунта до окончания испытания.

Для замачивания образцов грунта надлежит использовать воду питьевого качества температурой 10-25° С.

2. Через 10 минут берут отсчет по индикатору и записывают в журнал (таблица 13).

3. Прикладывают нагрузку 0,1 МПа и через 3 минуты берут заключительный отсчет.

4. По результатам испытаний, используя данные таблицы 13, определяют:

а) величины деформации образца грунта после замачивания Δh_i в мм с точностью 0,01, вычисленные как средние арифметические значения показателей индикаторов;

б) величины относительной деформации образцов грунта ε_i после замачивания с точностью 0,001 при соответствующих значениях давления.

5. По величинам относительной деформации образцов ε_i строят график зависимости $\varepsilon_i = f(P)$ (рисунок 11) с отображением просадочных деформаций, предварительно заполнив журнал (таблица 14).

6. Затем подсчитывают относительную просадочность грунта ε_{sl} при давлении $P = 0,3$ МПа по испытаниям по схеме «одной кривой».



Рисунок 11 - График зависимости $\varepsilon_i = f(P)$

Таблица 14 - Журнал расчета величины относительного сжатия в зависимости от давления

Давление на образец P, МПа	Величина деформации грунта Δh_i , мм	Относительная деформация грунта $\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_0}$
0,1		
0,2		
0,3		
После замачивания		
0,3		
0,4		

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12248-96. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997.
2. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование, хранение образцов.- М.: ГУП ЦПП. - 2001.
3. ГОСТ 23161-78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. - М.: Изд-во стандартов, 1988.
4. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. - М.: Изд-во стандартов, 1997.

Таблица 15 - Сводная таблица физико-механических характеристик
глинистых грунтов

№№ п/п	Классификация грунта по ГОСТ 25100-95	Влажность, д. ед.			Число пластичности, J_L	Показатель текучести, J_p	Модуль общей деформации $E_{0,1-0,3}$, МПа
		природная, w	на границе текучести, w_L	на границе раскатывания, w_p			
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы 15

Относительная просадочность при $P=0,3$ МПа, ε_{sd}	Угол внутреннего трения φ град.	Удельное сцепление C , МПа	Плотность, г/см ³			Удельный вес грунта γ , кН/м ³	Кэф. пористости, e	Кэф. водонасыщения S_r , д. ед
			частиц грунта, ρ_s	грунта в естественном состоянии, ρ	сухого грунта, ρ_d			
9	10	11	12	13	14	15	16	17

III. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ УИРС

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗЫСКАНИЙ – «АСИС»

Автоматизированная система для инженерно-строительных изысканий типа АСИС-18/4 (рисунок 12) представляет собой информационно-измерительную систему, предназначенную для автоматизации механических испытаний образцов грунтов в лабораторных условиях по ГОСТ 12248-96 /1/, 23161-78 /2/, 24143-80 /3/, 25584-90 /4/. Конструктивно АСИС выполнен в виде отдельных блоков. Они включают в себя: 1) ПЭВМ IBM AT/XT с цифropечатающим устройством; 2) Электронную преобразующую аппаратуру (ЭПА), состоящую из блока преобразования, функционального блока, блока питания исполнительных устройств и блока ввода-вывода; 3) Передвижную компрессорную станцию (ПКС), предназначенную для выработки сжатого воздуха давлением до 0,6 МПа и снабжения им пневматических инструментов и механизмов; 4) Два сдвиговых и девять компрессионных приборов, которые подключаются к блокам ЭПА.

АСИС, в целом, работает следующим образом. По команде ПЭВМ выполняется чтение информации с датчиков давления, силы и перемещений конкретного механического устройства (сдвигового или компрессионного прибора), которая в ячейках усилителей тензодатчиков (ЯТД) и датчиков перемещений (ЯКУ) нормируется до величины 10 В, преобразуется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в двоичный код и через специализированный интерфейс поступает обратно в ПЭВМ для обработки и выработки сигналов управления. После стабилизации деформации образца грунта по команде ПЭВМ осуществляется включение соответствующих электроклапанов, что приводит к созданию следующей ступени нагружения в том или ином механическом устройстве.

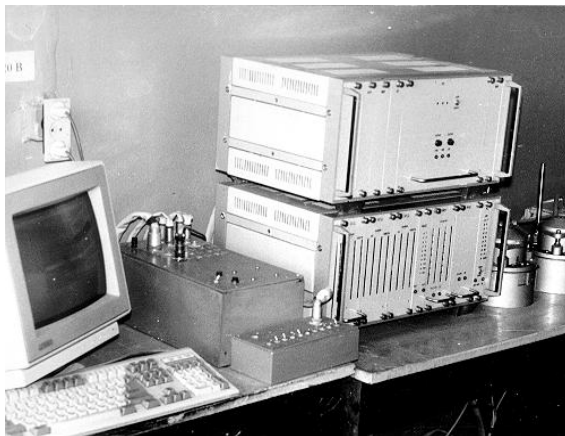


Рисунок 12 - Автоматизированная система для инженерно-строительных изысканий типа АСИС-18/4

Компрессионный прибор с пневматическим нагружением КППА-60/25 показан на рисунке 13. Прибор работает следующим образом. При подключении к источнику питания впускного клапана, он переходит в состояние "открыто" и воздух из системы пневмопривода поступает под резиновую мембрану, что вызывает перемещение штампа и как следствие сжатие образца грунта. Площадь поперечного сечения образца составляет 60 см^2 при высоте равной 25 мм, т. е. соблюдено рекомендованное соотношение высоты кольца к его диаметру. По результатам испытаний строятся компрессионные кривые и определяются деформационные характеристики грунтов (модуль общей деформации, относительные деформации грунта, относительная просадочность) с использованием программного комплекса, входящего в комплект АСИС.

Прочностные характеристики грунтов определяются на сдвиговых приборах типа ПСПА-40/35 (рисунок 14), входящих в состав автоматизированной системы для инженерно-строительных изысканий.

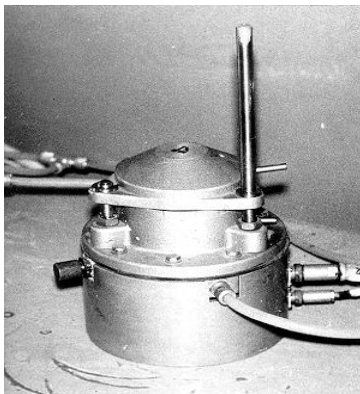


Рисунок 13 - Компрессионный прибор с пневматическим нагружением КППА-60/25

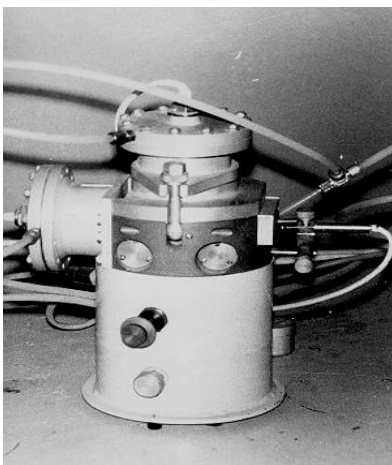


Рисунок 14 – Сдвиговой прибор с пневматическим нагружением ПСПА-40/35

Сдвиг в приборе типа ПСПА-40/35 производится путем создания давления воздуха в пневматическом цилиндре. Нормативное давление на образец создается вторым пневмоцилиндром. Сдвигающее усилие возникает в результате подачи воздуха в пневматический цилиндр через впускные клапаны, резиновую диафрагму и поршень. Величина деформации сдвига определяется датчиком перемещений. Площадь поперечного сечения образца составляет 40 см^2 при высоте равной 35 мм. Сдвиговые испытания производятся согласно ГОСТ 12248-78 /1/ методом консолидированного среза при естественной влажности. По результатам испытаний строятся графики зависимости нормального давления P от сдвигающего усилия τ и определяются прочностные ха-

рактеристики грунтов - удельное сцепление C и угол внутреннего трения φ .

Обработка результатов, полученных с помощью автоматизированной системы инженерно-строительных изысканий, ведется по ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» (приложение В).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997.
2. ГОСТ 23161-78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
3. ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки. - М.: Изд-во стандартов, 1980.
4. ГОСТ 25584-90. Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации. - М.: Изд-во стандартов, 1990.
5. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТАХ

Экспериментальное определение напряжений в грунте представляет известные трудности. Помещение мессдозы внутри грунтового массива вызывает нарушение монолитности сооружения и вносит некоторое искажение в силовое поле, создаваемое действующей нагрузкой. Поэтому всякие измерения напряжений в грунте проводятся с определенной погрешностью.

Экспериментальные исследования напряжений в грунтовых массивах показывают, что в зависимости от конструкции мессдозы, ее размеров и физико-механических свойств грунтов можно получать различные результаты.

Как известно, в общем случае зависимость между давлением, приложенным к грунту, и его деформацией близка к логарифмической кривой. Модуль деформации различных грунтов в зависимости от степени их уплотнения может колебаться в пределах от 50 до 1000 кг/см² при изменении нагрузки от 0 до 5 кг/см².

Следовательно, в процессе измерений соотношения между модулями деформации мессдозы и грунта могут изменяться. Это привело некоторых

ученых к выводу, что для уменьшения влияния непостоянства модуля деформации грунта на результаты измерения, модуль деформации мессдозы должен в несколько раз превышать максимальный модуль деформации грунта.

Определим относительную погрешность мессдозы для случая измерения напряжений внутри массива грунта. При этом необходимая зависимость получается при сравнении деформации мессдозы и грунта от сжимающих напряжений, действующих в плоскости расположения мессдозы. Для этого случая рассмотрим две схемы работы мессдозы и окружающего ее грунта.

При первой схеме деформации грунта и мессдозы происходят относительно одной из ее рабочих поверхностей (рисунок 15,а), например, когда мессдозы расположены на дне экспериментального лотка или непосредственно под плоскостью штампа, через который давление передается на грунт.

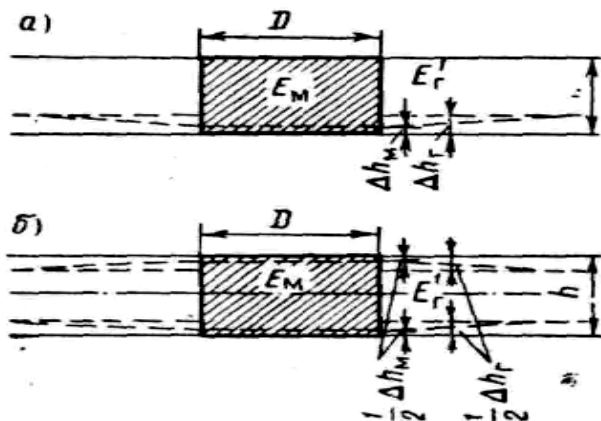


Рисунок 15 - Схема деформации мессдозы и окружающего грунта:

- а - деформация относительно одной из рабочих поверхностей мессдозы (одностороннее вдавливание);
- б - деформации симметричны относительно центра мессдозы

По второй схеме деформации грунта и мессдозы симметричны относительно центра измерительного прибора (рисунок 15,б). Такая схема характерна для работы мессдоз, расположенных внутри грунтового массива, при условии приложения давлений к грунту симметрично относительно места расположения измерительного прибора. При односторонней передаче давления на грунт можно предположить, что мессдоза, перемещаясь в результате деформации грунта в направлении приложенного давления, будет вдавливаясь в слой грунта, находящийся на ее пути.

Деформация мессдозы может быть отнесена к первой схеме или к

случаю, промежуточному между первой и второй схемами работы мессдозы. Первая схема отличается от второй в два раза большей величиной относительной погрешности.

Для измерения динамических напряжений в грунте при экспериментальных исследованиях применяют, в основном, мессдозы конструкции Баранова. Принцип работы мессдозы состоит в следующем. При давлении грунта крышка мессдозы перемещается вертикально вниз параллельно самой себе, деформирует упругие элементы и изменяет омическое сопротивление наклеенных на них тензодатчиков. Происходит разбаланс измерительного моста, пропорциональный величине нагрузки, который фиксируется измерительной аппаратурой.

Мессдозы тарируются перед установкой в грунт и после извлечения их из грунта по окончании измерений.

Тарировочный коэффициент определяется как среднее из всех тарировок для данной мессдозы. Отклонения отдельных значений тарировочных коэффициентов при нагрузке и разгрузке от среднего значения тарировочного коэффициента, принятого для расчета, как правило, не превышает предела точности отсчета амплитуды на осциллограмме.

Тарировку мессдоз можно проводить в лабораторных условиях следующим образом. Модуль деформации мессдоз определяется в компрессионном приборе КПр-1 Системы «Гидропроект». К поверхности мессдозы прикладывается нагрузка ступенями (через $0,5 \text{ кг/см}^2$) до 10 кг/см^2 , и в каждом случае устанавливается деформация мессдозы.

Данные тарировки регистрируются микропроцессорной системой в виде графика (рисунок 16).

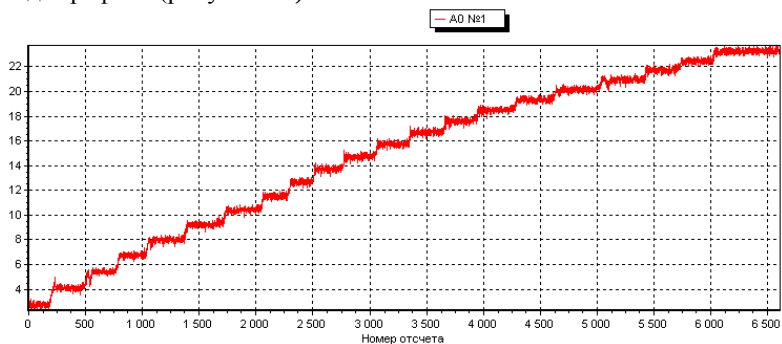


Рисунок 16 - Пример тарировочного графика мессдозы

Микропроцессорная многофункциональная тензометрическая система ММТС-64.01 (рисунок 17) обеспечивает сбор и измерение сигналов с тензодатчиков (рисунок 18), мессдоз (рисунок 19), термопар

и термопреобразователей, установленных на объектах контроля, подвергаемых прочностным и теплопрочностным испытаниям материалов, с последующей обработкой и регистрацией измерительной информации средствами вычислительной техники (рисунок 20).



Рисунок 17 -
Микропроцессорная
многофункциональная
тензометрическая система
ММТС-64.01

Система ММТС-64.01 обеспечивает измерение по следующим схемам включения датчиков:

- измерение по схеме «1/4 мост»;
- измерение по схеме «термопреобразователь»;
- измерение по схеме «мост»;
- измерение по схеме «1/2 мост».



Рисунок 18 -
Тензодатчики для
определения напряжений
в грунтах

Тензометрическая система ММТС-64.01 рассчитана на работу в условиях умеренного климата при температурах окружающего воздуха

от плюс 10°C до плюс 35°C, относительной влажности воздуха до 80% при температуре +25°C, атмосферном давлении от 84 кПа до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм. рт. ст.).

Тензометрическая система ММТС-64.01, поставляется по ТУ-02/2062.01.01 и удовлетворяет требованиям ГОСТ 12997-84 /1/ в части к ним относящимся.



Рисунок 19 - Мессдоза Баранова для определения напряжений в грунтах

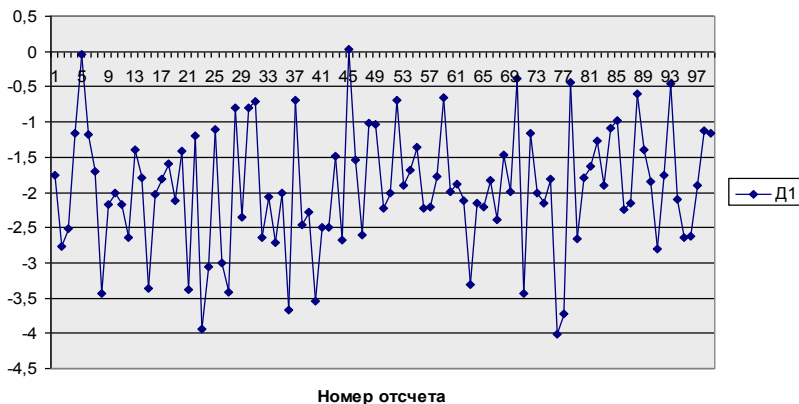


Рисунок 20 - Пример графика снятия показаний с мессдозы микропроцессорной системой ММТС-64.01

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12997-84: Изделия ГСП. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1984.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Сложность поведения грунтов в процессе их эксплуатации в качестве оснований зданий и сооружений вызывает необходимость их изучения на количественном микроструктурном уровне для объективной оценки связи прочностных и деформационных свойств с закономерностями внутренних процессов в грунте.

На кафедре «Оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии» АлтГТУ создана приборная база и комплекс автоматизированной обработки микроструктурных изображений грунтов.

Начальным этапом при проведении исследований является отбор образцов грунта для их последующей подготовки к микроструктурным исследованиям.

Подготовка поверхности образцов выполняется способом изготовления шлифов. Для этого скел грунта зачищается на наждачной бумаге с постепенным уменьшением диаметра образца. Нарушенный слой частиц на поверхности затем снимается клейкой лентой. Далее подготовка образцов грунта сечением 1×1 см и высотой 0,5 см выполняется в вакуумном универсальном посту ВУП-5 (рисунки 21 и 22) методом мгновенного замораживания при температуре жидкого азота ($-150 \div -160^\circ\text{C}$) с последующей их сушкой путем вакуумного сублимирования при температуре не выше минус 60°C в условиях глубокого вакуума ($10^{-2} \div 10^{-3}$ Па)

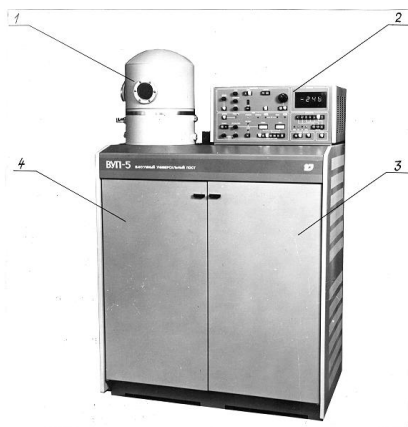


Рисунок 21 - Вакуумный универсальный пост (ВУП-5):

- 1 – рабочий объем для препарирования объектов;
- 2 – пульт управления и индикации режимов;
- 3 – блоки питания устройств и приставок;
- 4 – вакуумная система



Рисунок 22 - Предметный
стол прибор ВУП-5 с
сублимируемыми образцами
грунта

В качестве электропроводного покрытия на образцы грунта выбирается материал, имеющий высокий коэффициент вторичной электронной эмиссии и являющийся наилучшим среди других материалов для точного воспроизведения профиля поверхности исследуемого образца грунта. Всем этим качествам удовлетворяет серебро. Оно наносится на образцы, находящиеся в ВУПе, слоем толщиной 5-50 нм вакуумным термическим осаждением. Для улучшения электрической проводимости контакта исследуемой поверхности со смотровым столиком боковые поверхности образца промазываются электропроводным клеем.

При невозможности получения первоначальной цифровой информации с растрового электронного микроскопа сразу на магнитный носитель, вначале выполняются снимки поверхности образцов грунта с последующим сканированием и оцифровкой их для электронного анализа на ПЭВМ. При работе используется растровый электронный микроскоп TESLA BS300 (рисунок 23).

В связи с тем, что при одном фиксированном увеличении РЭМ-изображения невозможно охватить весь диапазон структурных элементов грунта как полидисперсной системы, РЭМ-фотографии необходимо выполнять с увеличением от 50 до 3000 раз, т.е. перекрывающие весь диапазон встреченных размеров элементов грунта. Обработка результатов морфометрических и геометрических характеристик выполняется с использованием разработанной на кафедре ОФИГиГ АлтГТУ программы «Promik».



Рисунок 23 - Растровый электронный микроскоп TESLA BS300

В результате компьютерного анализа по программе «Promik» могут быть получены данные морфометрических и геометрических характеристик грунта по двум группам: порового пространства и частиц (твердых составляющих структуру грунта: глобул, микроагрегатов, зерен и т.п.) в виде гистограмм распределения и роз ориентации. Примеры РЭМ-изображений микроструктуры грунта и скрин-шоты (копии экрана), получаемые при обработке фотографий микроструктуры грунта по различным параметрам, приведены на рисунках 24-30.



Рисунок 24 – Фотография микроструктуры грунта

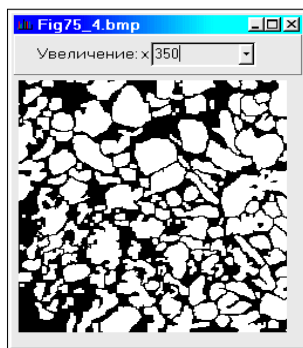


Рисунок 25 - Скрин-шот бинарного изображения

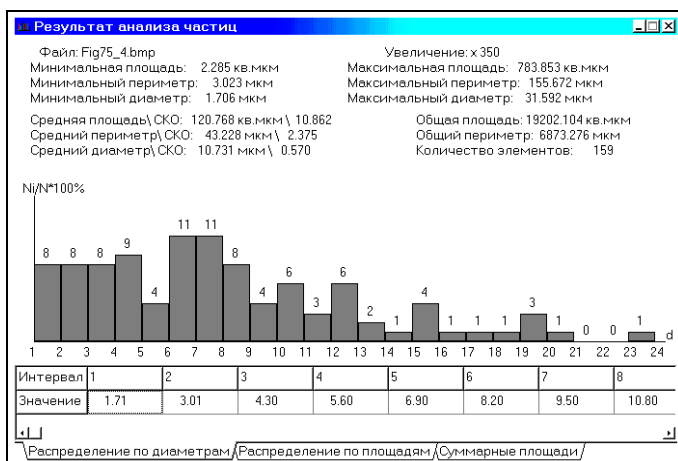


Рисунок 26 - Скрин-шот результата анализа частиц –
распределение по диаметрам

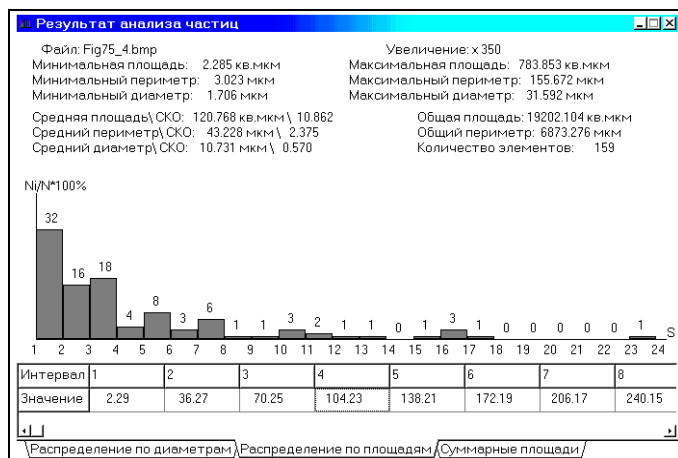


Рисунок 27 - Скрин-шот результата анализа частиц –
распределение по площадям

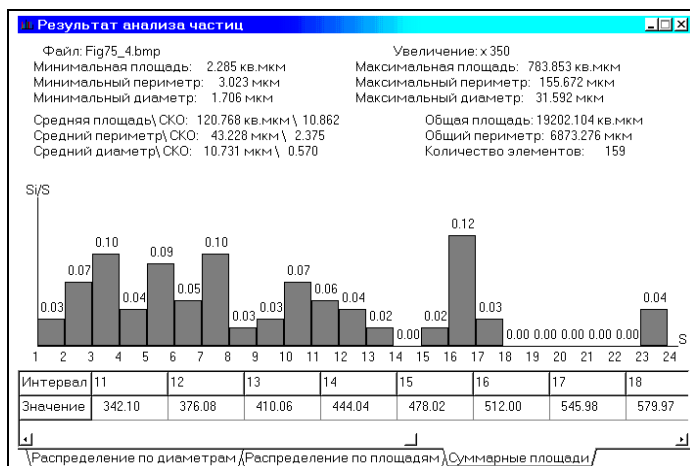


Рисунок 28 - Скрин-шот результата анализа частиц – распределение по суммарным площадям

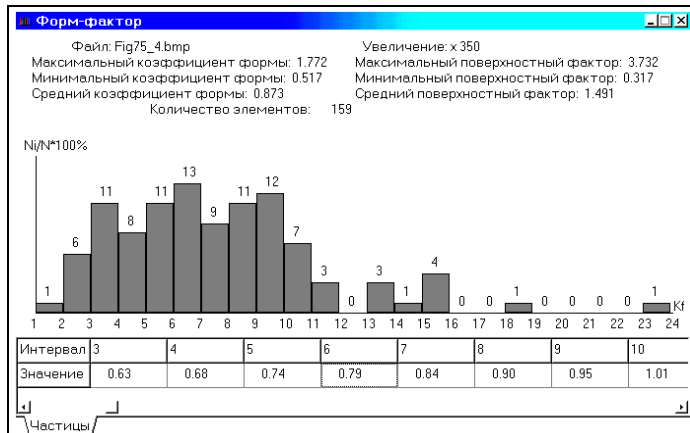


Рисунок 29 - Скрин-шот результата анализа частиц - распределение по форм-фактору и значения поверхностного фактора

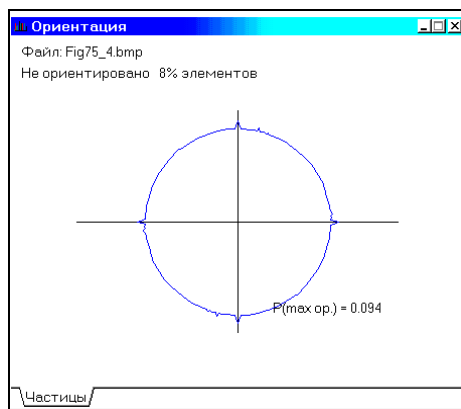


Рисунок 30 - Скрин-шот результата анализа частиц

IV. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ НА ЭВМ

4.1. Определение гранулометрического (зернового) состава песка и степени его неоднородности

Необходимы следующие исходные данные: процентное содержание фракций грунта в интервалах: > 5 мм, 5-4 мм, 4-3 мм, 3-2 мм, 2-1 мм, 1-0,5 мм, 0,5-0,25 мм, < 0,25 мм.

В результате строится график зависимости диаметра частиц песчаного грунта от процентного содержания фракций, определяется тип песчаного грунта и степень его неоднородности (рисунок 31).

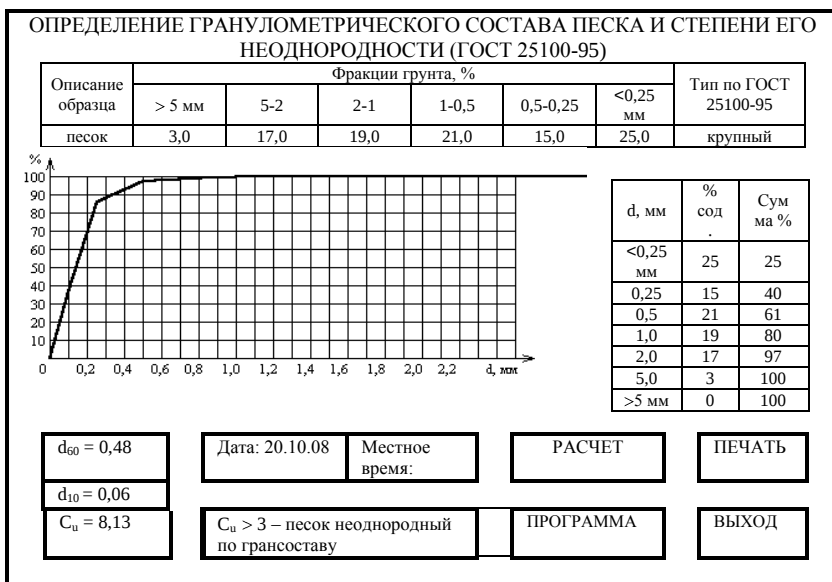


Рисунок 31 - Результаты определения гранулометрического (зернового) состава песка и степени его неоднородности

4.2. Определение типа глинистого грунта

Заполняются следующие журналы определения:

- плотности грунта;
- влажности границы текучести;
- влажности границы раскатывания;
- влажности весовым способом.

Для журнала плотности грунта необходимы данные: номер кольца; параметры кольца (площадь, высота, объем, масса); масса грунта с кольцом.

Для журналов влажности весовым способом, влажности границы текучести и влажности границы раскатывания необходимы данные: номер бюкса, масса бюкса, масса бюкса с влажным грунтом, масса бюкса с сухим грунтом.

В результате расчета выдаются таблицы (рисунок 32), определяются число пластичности и тип глинистого грунта.

ЖУРНАЛ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОДЫ					
Номер кольца	Параметры кольца				
	Площадь S, см ²	Высота h, см	Объем V, см ³	Масса m ₀ , гр	
1	2	3	4	5	
1	60	2,5	150	180	
2	60	2,5	150	182	
Масса грунта с кольцом и пластинками m ₁ , г		Масса пластинок m ₂ , г	Плотность отдельного образца ρ, г/см ³	Среднее значение плотности ρ, г/см ³	
6	7	8	9		
356	0	1,777333		1,78666	
362	0	1,80000		1,78666	
ЖУРНАЛ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРАНИЦЫ ТЕКУЧЕСТИ					
Номер бюкса	Масса бюкса m, г	Масса бюкса с влажным грунтом m ₁ , г	Масса бюкса с сухим грун- том m ₀ , г	Влажность границы текучести	Среднее значение w ₁
123	31	46	41	0,50000	0,47726
132	31	47	42	0,45454	0,47726
ЖУРНАЛ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРАНИЦЫ РАСКАТЫВАНИЯ					
Номер бюкса	Масса бюкса m, г	Масса бюкса с влажным грунтом m ₁ , г	Масса бюкса с сухим грун- том m ₀ , г	Влажность границы рас- катывания	Среднее значение w _p
12	30	47	44	0,21428	0,17380
14	31	48	45	0,13333	0,17380
ЖУРНАЛ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВЕСОВЫМ СПОСОБОМ					
Номер бюкса	Масса бюкса m, г	Масса бюкса с влажным грунтом m ₁ , г	Масса бюкса с сухим грун- том m ₀ , г	Влажность грунта	Среднее значение w
11	31	52	47	0,3125	0,28782
145	30	54	49	0,26315	0,28782
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА:					
Число пластичности - 7.355000. Тип глинистого грунта - суглинок.					

Рисунок 32 – Результирующие данные при определении типа глинистого грунта

4.3. Обработка компрессионных испытаний грунта

Необходимы следующие исходные данные:

- показания индикаторов № 1 и № 2 при определенной массе груза на подвеске (3 кг, 6 кг, 9 кг, 12 кг, 15 кг, 18 кг) и соответствующем давлении (0.05 МПа, 0.10 МПа, 0.15 МПа, 0.20 МПа, 0.25 МПа, 0.30 МПа, 0.40 МПа);
- высота образца грунта до начала испытаний;
- начальный коэффициент пористости;
- тип грунта: супесь, суглинок или глина.

В результате выдается таблица расчета коэффициента сжимаемости и модуля общей деформации; осуществляется расчет величины относительного сжатия и строится график зависимости величины коэффициента пористости от давления (рисунок 33).

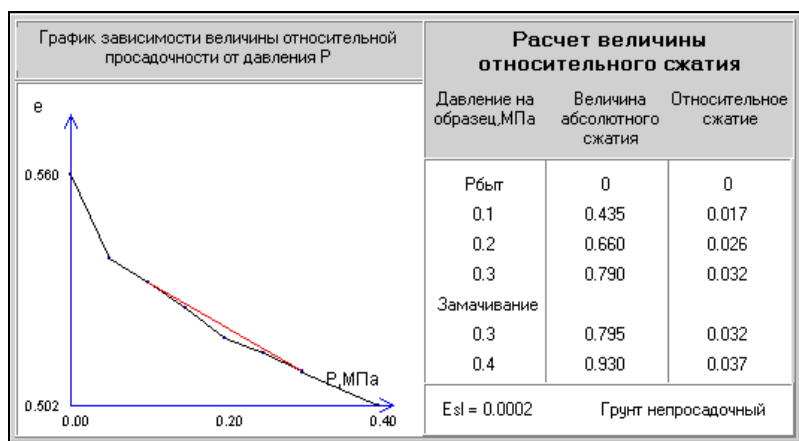


Рисунок 33 - Скрин-шот результата компрессионных испытаний

4.4. Сопротивление грунта сдвигу

Необходимы следующие исходные данные:

- вид грунта: глинистый или песчаный;
- касательное напряжение.

В результате строится график зависимости напряжений и выдаются результаты сдвиговых испытаний: угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта (рисунок 34).

Результаты сдвиговых испытаний

Исходные данные

P, МПа	0,10	0,20	0,30
τ , МПа	0,080	0,150	0,200

Вид грунта: Глинистый

Результаты эксперимента

$\tau = 30.96$ градусов

$C = 0.03$ МПа

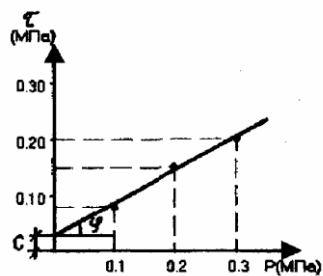


Рисунок 34 – Результаты сдвиговых испытаний

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ГОСТ 25100-95 ГРУНТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ

1. Область применения

Настоящий стандарт распространяется на все грунты и устанавливает их классификацию, применяемую при производстве инженерно-геологических изысканий, проектировании и строительстве.

К наименованиям грунтов и их характеристикам, предусмотренным настоящим стандартом, допускается вводить дополнительные наименования и характеристики, если это необходимо для более детального подразделения грунтов с учетом природных условий района строительства и специфики отдельных видов строительства.

Дополнительные наименования и характеристики грунтов не должны противоречить классификации, приведенной в настоящем стандарте, и должны основываться на частных классификациях отраслевого и регионального назначения, установленных соответствующими нормативными документами.

В настоящем стандарте грунт рассматривается как однородный по составу, строению и свойствам элемент грунтового массива (образец).

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик;

ГОСТ 10650-72. Торф. Метод определения степени разложения;

ГОСТ 11306-83. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности;

ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава;

ГОСТ 23161-78. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности;

ГОСТ 23740-79. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ;

ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки;

ГОСТ 25584-90. Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации.

3. Определения

Термины, применяемые в настоящем стандарте, приведены в приложении А.

4. Общие положения

4.1. Классификация грунтов включает следующие таксономические единицы, выделяемые по группам признаков:

класс - по общему характеру структурных связей;

группа - по характеру структурных связей (с учетом их прочности);

подгруппа - по происхождению и условиям образования;

тип - по вещественному составу;

вид - по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и показателей свойств);

разновидности - по количественным показателям вещественного состава, свойств и структуры грунтов.

4.2. Наименования грунтов должны содержать сведения об их геологическом возрасте в соответствии с местными стратиграфическими схемами, принятыми в установленном порядке.

4.3. К характеристикам грунтов по разновидностям, предусмотренным настоящим стандартом, допускается вводить дополнения и изменения в случаях появления новых количественных критериев выделения разновидностей грунтов и результате научно-технических разработок.

5. Классификация

5.1. Класс природных скальных грунтов - грунты с жесткими структурными связями (кристаллизационными и цементационными) подразделяют на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности согласно таблице 1.

5.2. Класс природных дисперсных грунтов - грунты с водноколлоидными и механическими структурными связями подразделяют на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности согласно таблице 2.

5.3. Класс природных мерзлых грунтов* - грунты с криогенными структурными связями подразделяют на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности согласно таблице 3.

5.4. Класс техногенных (скальных, дисперсных и мерзлых) грунтов - грунты с различными структурными связями, образованными в результате деятельности человека, подразделяют на группы, подгруппы, типы и виды согласно таблице 4.

5.5. Частные классификации по вещественному составу, свойствам и структуре скальных, дисперсных и мерзлых грунтов (разновидности) представлены в приложении Б.

* Грунты с отрицательной температурой, не имеющие криогенных структурных связей (не содержащие в своем составе лед), относят к классу природных дисперсных грунтов.

Таблица 1 - I Класс природных скальных грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидности	
Скальные (с жесткими структурными связями – кристаллизационными и цементационными)	Скальные	Магматические	Силикатные	Ультраосновного состава	Выделяются по: 1 пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии; 2 плотности скелета грунта; 3 коэффициенту выветрелости; 4 степени размягчаемости; 5 степени растрескиваемости; 6 степени водопроницаемости; 7 степени засоленности; 8 структуре и текстуре; 9 температуре	
				Основного состава	Габбро, нориты, анортозиты, диабазы, диабазовые порфиры, долериты	
				Среднего состава	Диориты, сиениты, порфи-риты, ортоклазовые порфиры	
		Эффузивные		Кислого состава	Граниты, гранодиориты кварцевые, сиениты, диориты, кварцевые порфиры, кварцевые порфи-риты	
				Основного состава	Базальты, долериты	
				Среднего состава	Андрезиты, вулканогенно-обломочные грунты, обсидианы, трахиты	
					Кислого состава	Липариты, дациты, риолиты

Окончание таблицы 1 – 1Класс природных скальных грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидности
	Скальные	Метаморфические	Силикатные	Гнейсы, сланцы, кварциты	
			Карбонатные	Мраморы, роговики, скарны	
			Железистые	Железные руды	
		Осадочные	Силикатные	Песчаники, конгломераты, брекчии, туффиты	
			Карбонатные	Известняки, доломиты	
			Силикатные	Вулканогено-обломочные грунты	
	Полускальные	Эффузивные	Силикатные	Аргиллиты, алевролиты, песчаники	
			Силикатные	Опоки, трепела, диатомиты	
			Карбонатные	Мела, мергели, известняки	
			Сульфатные	Гипсы, ангидриты	
			Галоидные	Галиты, кариолиты	

Таблица 2 – II Класс природных дисперсных грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип		Вид	Разновидности
Дисперсные (с механическими и водноколлоидными структурами связями)	Связные	Осадочные	Минеральные	Силикатные Карбонатные Железистые Полиминеральные	Глинистые грунты	Выделяются по: 1 гранулометрическому составу (крупнообломочные грунты и пески); 2 числу пластичности и гранулометрическому составу (глинистые грунты и илы); 3 степени неоднородности гранулометрического состава (пески); 4 показателю текучести (глинистые грунты); 5 относительной деформации набухания без нагрузки (глинистые грунты); 6 относительной деформации просадочности (глинистые грунты); 7 коэффициенту водонасыщения (крупнообломочные грунты и пески); 8 коэффициенту пористости (пески); 9 степени плотности (пески)
			Органо-минеральные		Илы Сапропели Заторфованные грунты	
					Торфы и др.	

Окончание таблицы 2 – II Класс природных дисперсных грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидности
			Минеральные	Пески Крупообломочные грунты	10 коэффициенту выветрелости (крупнообломочные грунты); 11 коэффициенту истираемости (крупнообломочные грунты); 12 относительному содержанию органического вещества (пески и глинистые грунты); 13 степени разложения (торфы); 14 степени зольности (торфы); 15 степени засоленности; 16 относительной деформации пучения; 17 температуре
	Несвязные	Осадочные			

Таблица 3 – III Класс природных мерзлых грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидности
Мерзлые (с криоген- ными структур- ными свя- зями)	Скальные	Про- мерз- шие	Ледяные минераль- ные	То же, что и для скальных грунтов	Выделяются по: 1 льдистости за счет видимых ледяных включений; 2 температурно- прочностным свойствам; 3 степени засолен- ности; 4 криогенной тек- стуре
	Полу- скальные	Интрузив- ные Эффузив- ные Метамор- фические Осадочные	То же, что и для дисперс- ных грунтов		
		Эффузив- ные Осадочные		Ледяные минераль- ные	
		Связные		Осадочные	
Ледяные органиче- ские					

Окончание таблицы 3 – III Класс природных мерзлых грунтов

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидности
	Ледяные	Конституционные (внутригрунтовые)	Льды	Льды - сегрегационные, инъекционные, ледниковые	
		Погребенные		Льды – наледные, речные, озерные, морские, донные, инфильтрационные (снежные)	
		Пещерно-жильные		Льды – жильные, повторножильные, пещерные	

Таблица 4 – IV Класс техногенных грунтов (скальных, дисперсных и мерзлых)

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Вид	Разновидности
Скальные	Скальные Полускальные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим воздействием	То же, что и для природных скальных грунтов	То же, что и для природных скальных грунтов	Выделяются как соответствующие различные разновидности классов природных грунтов с учетом специфических особенностей и свойств техногенных грунтов
			Измененные физическо-химическим воздействием			
Дисперсные	Связные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим воздействием	То же, что и для природных дисперсных и скальных грунтов (раздробленных)	То же, что и для природных дисперсных и скальных грунтов (раздробленных)	
			Измененные физическо-химическим воздействием			
	Несвязные	Природные перемещенные образования	Насыпные			
			Намывные			
	Антропогенные образования		Насыпные	Отходы производственной и хозяйственной деятельности	Бытовые отходы. Промышленные отходы: строительные отходы, шлаки, шламы, золы, золошлаки и др.	
			Намывные			

Окончание таблицы 4 – IV Класс техногенных грунтов (скальных, дисперсных и мерзлых)

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Вид	Разновидности
Мерзлые	Скальные Полускальные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим (тепловым) воздействием	То же, что и для природных мерзлых грунтов	Все виды природных скальных грунтов	Выделяются как соответствующие разновидности классов природных грунтов с учетом специфических особенностей и свойств техногенных грунтов
			Измененные физико-химическим воздействием			
	Связные Несвязные Ледяные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим (тепловым) воздействием	То же, что и для природных мерзлых грунтов	Все виды природных дисперсных грунтов	
			Измененные физико-химическим воздействием			
		Природные перемещенные образования	Насыпные Намывные	Измененные физическим (тепловым) или химико-физическим воздействием	Бытовые отходы. Промышленные отходы. Строительные отходы, шлаки, шламы, золы, золошлаки и др.	
		Антропогенные образования	Насыпные Намывные Намороженные			

Термины и определения

Грунт - горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Грунты могут служить:

- 1) материалом оснований зданий и сооружений;
- 2) средой для размещения в них сооружений;
- 3) материалом самого сооружения.

Грунт скальный - грунт, состоящий из кристаллитов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи кристаллизационного типа.

Грунт полускальный - грунт, состоящий из одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи цементационного типа.

Условная граница между скальными и полускальными грунтами принимается по прочности на одноосное сжатие ($R_c \geq 5$ МПа - скальные грунты, $R_c < 5$ МПа - полускальные грунты).

Грунт дисперсный - грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабосвязанных друг с другом; образуется в результате выветривания скальных грунтов с последующей транспортировкой продуктов выветривания водным или золовым путем и их отложения.

Структура грунта - пространственная организация компонентов грунта, характеризующаяся совокупностью морфологических (размер, форма частиц, их количественное соотношение), геометрических (пространственная композиция структурных элементов) и энергетических признаков (тип структурных связей и общая энергия структуры) и определяющаяся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов грунта.

Текстура грунта - пространственное расположение слагающих грунт элементов (слоистость, трещиноватость и др.).

Состав грунта вещественный - категория, характеризующая химико-минеральный состав твердых, жидких и газовых компонентов.

Органическое вещество - органические соединения, входящие в состав грунта в виде неразложившихся остатков растительных и животных организмов, и также продуктов их разложения и преобразования.

Грунт глинистый - связный минеральный грунт, обладающий числом пластичности $I_p \geq 1$.

Песок - несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером меньше 2 мм составляет более 50 % ($I_p = 0$).

Грунт крупнообломочный - несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50%.

Ил - водонасыщенный современный осадок преимущественно морских акваторий, содержащий органическое вещество в виде растительных остатков и гумуса. Обычно верхние слои ила имеют коэффициент пористости $e \geq 0,9$, текучую консистенцию $I_L > 1$, содержание частиц меньше 0,01 мм составляет 30 - 50% по массе.

Сапропель - пресноводный ил, образовавшийся на дне застойных водоемов из продуктов распада растительных и животных организмов и содержащий более 10% (по массе) органического вещества в виде гумуса и растительных остатков. Сапропель имеет коэффициент пористости $e > 3$, как правило, текучую консистенцию $I_L > 1$, высокую дисперсность - содержание частиц крупнее 0,25 мм обычно не превышает 5% по массе.

Торф - органический грунт, образовавшийся в результате естественного отмирания и неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода и содержащий 50% (по массе) и более органических веществ.

Грунт заторфованный - песок и глинистый грунт, содержащий в своем составе в сухой навеске от 10 до 50% (по массе) торфа.

Почва - поверхностный плодородный слой дисперсного грунта, образованный под влиянием биогенного и атмосферного факторов.

Грунт набухающий - грунт, который при замачивании водой или другой жидкостью увеличивается в объеме и имеет относительную деформацию набухания (в условиях свободного набухания) — $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$.

Грунт просадочный - грунт, который под действием внешней нагрузки и собственного веса или только от собственного веса при замачивании водой или другой жидкостью претерпевает вертикальную деформацию (просадку) и имеет относительную деформацию просадки $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$.

Грунт пучинистый - грунт, который при переходе из талого в мерзлое состояние увеличивается в объеме вследствие образования кристаллов льда и имеет относительную деформацию морозного пучения $\varepsilon_{fh} \geq 0,01$.

Степень морозной пучинистости - характеристика, отражающая способность грунта к морозному пучению, выражается относительной деформацией морозного пучения ε_{fh} , д.е., которая определяется по

формуле

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_{o,f} - h_o}{h_o}, \quad (\text{A.1})$$

где $h_{o,f}$ - высота образца мерзлого грунта, см;

h_o - начальная высота образца талого грунта до замерзания, см.

Степень засоленности - характеристика, определяющая количество воднорастворимых солей в грунте D_{sal} , %.

Предел прочности грунта на одноосное сжатие R_o , МПа - отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади первоначального поперечного сечения.

Коэффициент выветрелости K_{wb} , д.е. - отношение плотности выветрелого грунта к плотности монолитного грунта.

Коэффициент размягчаемости в воде K_{sof} , д.е. - отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии.

Степень растворимости в воде - характеристика, отражающая способность грунтов растворяться в воде и выражающаяся в количестве воднорастворимых солей, q_{sr} , г/л.

Степень водопроницаемости - характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в коэффициенте фильтрации K_f , м/сут. Определяется по ГОСТ 25584.

Относительная деформация набухания без нагрузки – ε_{sw} , д.е. - отношение увеличения высоты образца грунта после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения к начальной высоте образца природной влажности. Определяется по ГОСТ 24143.

Относительная деформация просадочности – ε_{sl} , д.е. - отношение разности высот образцов, соответственно, природной влажности и после его полного водонасыщения при определенном давлении к высоте образца природной влажности. Определяется по ГОСТ 23161.

Степень плотности песков I_D определяется по формуле

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}, \quad (\text{A.6})$$

где e - коэффициент пористости при естественном или искусственном сложении;

e_{max} - коэффициент пористости в предельно-плотном сложении;

e_{min} - коэффициент пористости в предельно-рыхлом сложении.

Коэффициент выветрелости крупнообломочных грунтов K_{wr} , д.е., определяется по формуле

$$K_{wr} = \frac{K_1 - K_0}{K_0}, \quad (\text{A.7})$$

где K_1 - отношение массы частиц размером менее 2 мм к массе частиц размером более 2 мм после испытания на истирание в полочном барабане;

K_0 - то же, в природном состоянии.

Коэффициент истираемости крупнообломочных грунтов K_{fr} , д.е., определяется по формуле

$$K_{fr} = \frac{q_1}{q_0}, \quad (\text{A.8})$$

где q_1 - масса частиц размером менее 2 мм после испытания крупнообломочных фракций грунта (частицы размером более 2 мм) на истирание в полочном барабане;

q_0 - начальная масса пробы крупнообломочных фракций (до испытания на истирание).

Относительное содержание органического вещества $I_{от}$, д.е. - отношение массы сухих растительных остатков к массе абсолютно сухого грунта. Определяется по ГОСТ 23740.

Степень разложения торфа $D_{др}$, % - характеристика, выражающаяся отношением массы бесструктурной (полностью разложившейся) части, включающей гуминовые кислоты и мелкие частицы негумифицированных остатков растений, к общей массе торфа. Определяется по ГОСТ 10650.

Степень зольности торфа $D_{ас}$, д.е. - характеристика, выражающаяся отношением массы минеральной части грунта ко всей его массе в абсолютно сухом состоянии. Определяется по ГОСТ 11306.

Грунт мерзлый - грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями.

Грунт многолетнемерзлый (синоним - грунт вечномерзлый) - грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет.

Грунт сезонномерзлый - грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.

Грунт морозный - скальный грунт, имеющий отрицательную температуру и не содержащий в своем составе лед и незамерзшую воду.

Грунт сышучемерзлый (синоним - "сухая мерзлота") - крупнообломочный и песчаный грунт, имеющий отрицательную температуру, но не сцементированный льдом и не обладающий силами сцепления.

Грунт охлажденный - засаленный крупнообломочный, песчаный и глинистый грунты, отрицательная температура которых выше температуры начала их замерзания.

Грунт мерзлый распученный - дисперсный грунт, который при оттаивании уменьшает свой объем.

Грунт твердомерзлый - дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризующийся относительно хрупким разрушением и практически несжимаемым под внешней нагрузкой.

Грунт пластичномерзлый - дисперсный грунт, сцементированный льдом, но обладающий вязкими свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой.

Температура начала замерзания (оттаивания) $T_{\text{бт}}$ ($T_{\text{н}}$) - температура, °С, при которой в порах грунта появляется (исчезает) лед.

Криогенные структурные связи грунта - кристаллизационные связи, возникающие во влажных дисперсных и трещиноватых скальных грунтах при отрицательной температуре в результате цементирования льдом.

Криогенная текстура - совокупность признаков сложения мерзлого грунта, обусловленная ориентировкой, относительным расположением и распределением различных по форме и размерам ледяных включений и льда-цемента.

Лед (синоним - грунт ледяной) - природное образование, состоящее из кристаллов льда с возможными примесями обломочного материала и органического вещества не более 10 % (по объему), характеризующееся криогенными структурными связями.

Коэффициент сжимаемости мерзлого грунта δ_p , кПа^{-1} - относительная деформация мерзлого грунта под нагрузкой.

Степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой S_r , д.е., определяется по формуле

$$S_r = \frac{(1,1w_{ic} + w_w)\rho_s}{e_f \rho_w}, \quad (\text{A.9})$$

где w_{ic} - влажность мерзлого грунта за счет перового льда, цементирующего минеральные частицы (лед-цемент), д.е.;

w_w - влажность мерзлого грунта за счет содержащейся в нем при данной отрицательной температуре незамерзшей воды, д.е.;

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см^3 ;

e_f - коэффициент пористости мерзлого грунта;

ρ_w - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3 .

Суммарная льдистость мерзлого грунта $i_{\text{тоб}}$, д.е., - отношение содержащегося в нем объема льда к объему мерзлого грунта. Определяется по формуле

$$i_{tot} = i_i + i_{ic} = \frac{\rho_f (W_{tot} - W_w)}{\rho_i (1 + W_{tot})}, \quad (A.10)$$

Льдистость грунта за счет видимых ледяных включений i_i , д.е., - отношение содержащегося в нем объема видимых ледяных включений к объему мерзлого грунта. Определяется по формуле

$$i_i = \frac{\rho_s (W_{tot} - W_m)}{\rho_i + \rho_f (W_{tot} - 0,1W_w)}, \quad (A.11)$$

где i_{ic} - льдистость грунта за счет льда-цемента (порового льда), д.е.;

W_{tot} - суммарная влажность мерзлого грунта, д.е.;

ρ_i - плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см³;

ρ_f - плотность мерзлого грунта, г/см³;

W_m - влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями, д.е.

Техногенные грунты - естественные грунты, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования.

Антропогенные образования - твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального или органического сырья.

Природные перемещенные образования - природные грунты, перемещенные с мест их естественного залегания, подвергнутые частично производственной переработке в процессе их перемещения.

Природные образования, измененные в условиях естественного залегания, - природные грунты, для которых средние значения показателей химического состава изменены не менее чем на 15%.

Грунты, измененные физическим воздействием, - природные грунты, в которых техногенное воздействие (уплотнение, замораживание, тепловое воздействие и т.д.) изменяет строение и фазовый состав.

Грунты, измененные химико-физическим воздействием, - природные грунты, в которых техногенное воздействие изменяет их вещественный состав, структуру и текстуру.

Насыпные грунты - техногенные грунты, перемещение и укладка которых осуществляются с использованием транспортных средств, взрыва.

Намывные грунты - техногенные грунты, перемещение и укладка которых осуществляются с помощью средств гидромеханизации.

Бытовые отходы - твердые отходы, образованные в результате бытовой деятельности человека.

Промышленные отходы - твердые отходы производства, полу-

ченные в результате химических и термических преобразований материалов природного происхождения.

Шлаки - продукты химических и термических преобразований горных пород, образующиеся при сжигании.

Шламы - высокодисперсные материалы, образующиеся в горно-обогатительном, химическом и некоторых других видах производства.

Золы - продукт сжигания твердого топлива.

Золошлаки - продукты комплексного термического преобразования горных пород и сжигания твердого топлива.

Приложение Б
(обязательное)

Разновидности грунтов

1. Класс природных скальных грунтов

1.1 По пределу прочности на одноосное сжатие R_c в водонасыщенном состоянии грунты подразделяют согласно таблице Б.1.

Таблица Б.1

Разновидность грунтов	Предел прочности на одноосное сжатие R_c , МПа
Очень прочный	> 120
Прочный	120-50
Средней прочности	50-15
Малопрочный	15-5
Пониженной прочности	5-3
Низкой прочности	3-1
Очень низкой прочности	< 1

1.2 По плотности сухого грунта ρ_d грунты подразделяют согласно таблице Б.2.

Таблица Б.2

Разновидность грунтов	Плотность скелета грунта ρ_d , г/см ³
Очень плотный	$> 2,50$
Плотный	2,5-2,10
Рыхлый	2,10-1,20
Очень рыхлый	$< 1,20$

1.3 По коэффициенту выветрелости K_{wt} грунты подразделяют согласно таблице Б.3.

Таблица Б.3

Разновидность грунтов	Коэффициент выветрелости K_{wt} , д. е.
Невыветрелый	1
Слабовыветрелый	1-0,90
Выветрелый	0,90-1,00
Сильновыветрелый	0,80

1.4 По степени размягчаемости в воде K_{sof} грунты подразделяют согласно таблице Б.4.

Таблица Б.4

Разновидность грунтов	Коэффициент размягчаемости K_{sof} , д. е.
Неразмягчаемый	$\geq 0,75$
Размягчаемый	$< 0,75$

1.5 По степени растворимости в воде грунты подразделяют согласно таблице Б.5.

Таблица Б.5

Разновидность грунтов	Количество водорастворимых солей q_{sf} , г/л
Нерастворимый	$< 0,01$
Труднорастворимый	0,01-1
Среднерастворимый	1-10
Легкорастворимый	> 10

1.6 По степени водопроницаемости грунты подразделяют согласно таблице Б.6.

Таблица Б.6

Разновидность грунтов	Коэффициент фильтрации K_{10} , м/сут
Неводопроницаемый	$< 0,005$
Слабоводопроницаемый	0,005-0,30
Водопроницаемый	0,30-3
Сильноводопроницаемый	3-30
Очень сильноводопроницаемый	> 30

1.7 По степени засоленности D_{sal} грунты подразделяют согласно таблице Б.7.

Таблица Б.7

Разновидность грунтов	Количество водорастворимых солей D_{sal} , %
Незасоленный	≤ 2
Засоленный	> 2

1.8 По структуре и текстуре грунты подразделяют согласно таблице Б.8.

Таблица Б.8

Подгруппа грунтов		Структура	Текстура
Магматические	Интрузивные	Мелко-, средне- и крупнокристаллическая	Массивная, порфировая, миндалекаменная
	Эффузивные	Стекловатая, неполнокристаллическая	
Метаморфические		Такая же, как у магматических грунтов	Гнейсовая, сленцеватая, слоистосланцеватая, тонкослоистая, массивная, и др.
Осадочные		Мелко-, средне- и крупнокристаллическая	Массивная, слоистая

1.9 По температуре грунты подразделяют согласно таблице Б.9.

Таблица Б.9

Разновидность грунтов	Температура грунта t , $^{\circ}\text{C}$
Немерзлый	≥ 0
Мерзлый	< 0

2. Класс природных дисперсных грунтов

2.1 По гранулометрическому составу крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.10.

Таблица Б.10

Разновидность грунтов	Размер зерен, частиц d , мм	Содержание зерен, частиц, % по массе
Крупнообломочные:	> 200	> 50
- валунный (при преобладании неокатанных частиц - глыбовый)		
- галечниковый (при неокатанных гранях - щебенистый)	> 10	> 50
- гравийный (при неокатанных гранях – дресвяный)	> 2	> 50
Пески:		
- гравелистый	> 2	> 25
- крупный	$> 0,50$	> 50
- средней крупности	$> 0,25$	> 50
- мелкий	$> 0,10$	≥ 75
- пылеватый	$> 0,10$	< 75

Примечание - При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40% или глинистого заполнителя более 30% от общей массы воздушно-сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляется наименование вида заполнителя и указывается характеристика его состояния. Вид заполнителя устанавливается после удаления из крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм.

2.2 По степени неоднородности гранулометрического состава C_u , крупнообломочные грунты и пески подразделяют на:

- однородный грунт $C_u \leq 3$;
- неоднородный грунт $C_u > 3$.

2.3 По числу пластичности I_p глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.11.

Таблица Б.11

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности
Супесь	1-7
Суглинок	7-17
Глина	> 17

Примечание - Илы подразделяют по значениям числа пластичности, указанным в таблице, на супесчаные, суглинистые и глинистые.

2.4 По гранулометрическому составу и числу пластичности I_p глинистые группы подразделяют согласно таблице Б.12.

Таблица Б.12

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p , %	Содержание песчаных частиц (2-0,5 мм), % по массе
Супесь:		
- песчанистая	1-7	≥ 50
- пылеватая	1-7	< 50
Суглинок:		
- легкий песчанистый	7-12	≥ 40
- легкий пылеватый	7-12	< 40
- тяжелый песчанистый	12-17	≥ 40
- тяжелый пылеватый	12-17	< 40
Глина:		
- легкая песчанистая	17-27	≥ 40
- легкая пылеватая	17-27	< 40
- тяжелая	> 27	Не регламентируется

2.5 По наличию включений глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.13.

Таблица Б.13

Разновидность глинистых грунтов	Содержание частиц крупнее 2 мм, % по массе
Супесь, суглинок, глина с галькой (щебнем)	15-25
Супесь, суглинок, глина галечниковые (щебенистые) или гравелистые (дресвяные)	25-50

2.6 По показателю текучести I_L глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.14.

Таблица Б.14

Разновидность глинистых грунтов		Показатель текучести I_L
Супесь	Твердая	< 0
	Пластичная	0-1
	Текучая	> 1
Суглинки и глины	Твердые	< 0
	Полутвердые	0 - 0,25
	Тугопластичные	0,25 - 0,50
	Мягкопластичные	0,50 - 0,75
	Текучепластичные	0,75-1,00
	Текучие	$> 1,00$

2.7 По относительной деформации набухания без нагрузки ε_{sw} глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.15.

Таблица Б.15

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация набухания без нагрузки ε_{sw} , д. е.
Ненабухающий	< 0,04
Слабонабухающий	0,04-0,08
Средненабухающий	0,08-0,012
Сильнонабухающий	> 0,12

2.8 По относительной деформации просадочности ε_{sl} глинистые грунты подразделяют согласно таблице Б.16.

Таблица Б.16

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация просадочности ε_{sl} , д. е.
Непросадочный	< 0,01
Просадочный	$\geq 0,01$

2.9 По коэффициенту водонасыщения S_r крупнообломочные грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.17.

Таблица Б.17

Разновидность грунтов	Коэффициент водонасыщения S_r , д. е.
Малой степени водонасыщения	0-0,50
Средней степени водонасыщения	0,50-0,80
Насыщенные водой	0,80-1,00

2.10 По коэффициенту пористости e пески подразделяют согласно таблице Б.18.

Таблица Б.18

Разновидность песков	Коэффициент пористости e		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	< 0,55	< 0,60	< 0,60
Средней плотности	0,55-0,70	0,6-0,75	0,60-0,80
Рыхлый	> 0,70	> 0,75	> 0,80

2.11 По степени плотности I_D пески подразделяют согласно таблице Б.19.

Таблица Б.19

Разновидность песков	Степень плотности I_D
Слабоуплотненный	0-0,33
Среднеуплотненный	0,33-0,66
Сильноуплотненный	0,66-1,00

2.12 По коэффициенту выветрелости K_{wt} крупнообломочные грунты подразделяют согласно таблице Б.20.

Таблица Б.20

Разновидность крупнообломочных грунтов	Коэффициент выветрелости K_{wt} , д. е.
Невыветрелый	0-0,50
Слабовыветрелый	0,50-0,75
Сильновыветрелый	0,75-1,00

2.13 По коэффициенту истираемости K_{fr} крупнообломочные грунты подразделяют согласно таблице Б.21.

Таблица Б.21

Разновидность крупнообломочных грунтов	Коэффициент истираемости K_{fr} , д. е.
Очень прочный	< 0,01
Прочный	0,10-0,20
Средней прочности	0,20-0,30
Малопрочный	0,30—0,40
Пониженной прочности	> 0,40

2.14 По относительному содержанию органического вещества I_r глинистые грунты и пески подразделяют согласно таблице Б.22.

Таблица Б.22

Разновидность грунтов	Относительное содержание органического вещества I_r , д. е.	
	глинистые грунты	пески
Сильнозаторфованный	0,50-0,40	-
Среднезаторфованный	0,40-0,25	-
Слабозаторфованный	0,25-0,10	-
С примесью органических веществ	0,10-0,05	0,10-0,03

2.15 По относительному содержанию органического вещества I_r сапропели подразделяют согласно таблице Б.23.

Таблица Б.23

Разновидность сапропелей	Относительное содержание органического вещества I_r , д. е.
Минеральная	0,10-0,30
Среднеминеральная	0,30-0,50
Слабоминеральная	> 0,50

2.16 По степени разложения D_{DP} торфы подразделяют согласно таблице Б.24.

Таблица Б.24

Разновидность торфов	Степень разложения D_{DP} , %
Слаборазложившийся	< 20
Среднеразложившийся	20-45
Сильноразложившийся	> 45

2.17 По степени зольности D_{as} торфы подразделяют согласно таблице Б.25.

Таблица Б.25

Разновидность торфов	Степень зольности D_{as} , д. е.
Нормальнозольный	< 20
Высокозольный	$\geq$ 20

2.18 По степени засоленности D_{sal} дисперсные грунты подразделяют согласно таблице Б.26.

Таблица Б.26

Разновидность грунтов	Степень засоленности грунтов D_{sal} , %					
	Суглинок	Супесь	Песок	Крупнообломочный грунт		
				Содержание песчаного заполнителя 40% и более	Содержание заполнителя в виде суглинка 30% и более	Содержание заполнителя в виде суглинка 30% и более
Незасоленный	< 10	< 5	< 3	< 3	< 10	< 5
Слабозасоленный	10-15	5-8	3-7	-	-	-
Среднезасоленный	15-29	8-12	7-10	-	-	-
Сильнозасоленный	20-25	12-15	10-15	-	-	-
Избыточнозасоленный	> 25	> 15	> 15	-	-	-

2.19 По относительной деформации пучения $\varepsilon_{\text{п}}$ грунты подразделяют согласно таблице Б.27.

Таблица Б.27

Разновидность грунтов	Относительная деформация пучения $\varepsilon_{\text{п}}$, д. е.	Характеристика грунтов
Практически непучинистый	$< 0,01$	Глинистые при $I_L \leq 0$. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, пески мелкие и пылеватые при $S_r \leq 0,6$, пески мелкие и пылеватые, содержащие менее 15% по массе частиц мельче 0,05 мм (независимо от значения S_r). Крупнообломочные грунты с заполнением до 10%
Слабопучинистый	0,01-0,035	Глинистые при $0 < I_L \leq 0,25$. Пески пылеватые и мелкие при $0,6 < S_r \leq 0,8$. Крупнообломочные с заполнением (глинистым, песком мелким и пылеватым) от 10 до 30% по массе
Среднепучинистый	0,035-0,07	Глинистые при $0,25 < I_L \leq 0,5$. Пески пылеватые и мелкие при $0,8 < S_r \leq 0,95$. Крупнообломочные с заполнением (глинистым, песком мелким и пылеватым) более 30% по массе
Сильнопучинистый и чрезмернопучинистый	$> 0,07$	Глинистые при $I_L > 0,50$. Пески пылеватые и мелкие при $S_r > 0,95$

2.20 По температуре t грунты подразделяют согласно таблице Б.28.

Таблица Б.28

Разновидность грунтов	Температура грунта t , °C
Немерзлый (талый)	≥ 0
Охлажденный	< 0

3. Класс природных мерзлых грунтов

3.1 По льдистости за счет видимых ледяных включений i_i , грунты подразделяют согласно таблице Б.29.

Таблица Б.29

Разновидность грунтов	Льдистость за счет видимых ледяных включений i_i , д. е.	
	Скальные и полускальные грунты	Дисперсные грунты
Слабольшедистый	< 0,01	< 0,20
Льдистый	0,01-0,05	0,20-0,40
Сильнольдистый	> 0,05	0,40-0,60
Очень сильнольдистый	-	0,60-0,90

3.2 По температурно-прочностным свойствам грунты подразделяют согласно таблице Б.30.

Таблица Б.30

Вид грунтов		Разновидность грунтов		
		Твердомерзлый ($\delta_p \leq 0,1 \text{ кПа}^{-1}$) при $t < T_h, ^\circ\text{C}$	Пластичномерзлый ($\delta_p > 0,1 \text{ кПа}^{-1}$) при $t, ^\circ\text{C}$	Сыпучемерзлый при $t < 0, ^\circ\text{C}$
Виды скальных и полускальных грунтов		$T_h = 0$	-	-
Крупнообломочный грунт		$T_h = 0$	$T_h < t < T_{bf}$ При $S_r < 0,8$	$S_r \leq 0,15$
Песок гравелистый, крупный и средней крупности		$T_h = -0,1$		
Песок мелкий и пылеватый		$T_h = -0,3$	$T_h < t < T_{bf}$ при $S_r < 0,8$	при $S_r \leq 0,15$
Глинистый грунт	Супесь	$T_h = -0,6$		
	Суглинок	$T_h = -1,0$		
	Глина	$T_h = -1,5$		
Заторфованный грунт		$T_h' = -0,7(I_p + T_h)$	$T_h < t < T_{bf}$	-
Торф		-	$t < 0$	-

Примечание: T_h - температурная граница твердомерзлого состояния минеральных грунтов, T_h' - то же, для заторфованных грунтов.

3.3 По степени засоленности D_{sal} (для морского типа засоления - NaCl, Na_2SO_4 более 90%) грунты подразделяют согласно таблице Б.31.
Таблица Б.31

Разновидность грунтов	Суммарное содержание легкорастворимых солей, % массы сухого грунта	
	песок	глинистый грунт
Слабозасоленный	0,05-0,10	0,20-0,50
Среднезасоленный	0,10-0,20	0,50-1,00
Сильнозасоленный	> 0,20	> 1,00

3.4 По криогенной текстуре грунты подразделяют согласно таблице Б.32.

Таблица Б.32

Вид грунтов	Криогенная текстура
Все виды скальных грунтов	Трещинная, пластовая, полостная
Все виды полускальных грунтов	Массивная
Глинистые грунты	Массивная, слоистая, сетчатая, атакситовая
Все виды органо-минеральных грунтов	
Все виды органических грунтов	Порфировидная, слоистая, сетчатая, атакситовая
Крупнообломочные грунты	Массивная, слоистая, сетчатая, базальная

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ГОСТ 5180-84 ГРУНТЫ. МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Настоящий стандарт распространяется на грунты без жестких структурных связей и устанавливает методы лабораторного определения их физических характеристик — влажности и плотности при исследованиях грунтов для строительства.

Стандарт не распространяется на крупнообломочные грунты.

Основные термины, применяемые в настоящем стандарте, и их пояснения приведены в справочном приложении 1.

1. Общие положения

1.1. Отбор, упаковку, транспортирование и хранение образцов грунта ненарушенного сложения (монолитов) и нарушенного сложения следует производить в соответствии с ГОСТ 12071-84.

1.2. Подготовка к испытаниям и определение плотности мерзлых грунтов должны проводиться в помещении с отрицательной температурой воздуха, на не подвергавшихся оттаиванию образцах. Перед испытаниями образцы должны быть выдержаны при заданной отрицательной температуре не менее 6 ч.

1.3. Метод определения характеристики выбирается в зависимости от свойств грунта в соответствии с табл. 1.

1.4. Оборудование и материалы, необходимые для определения физических характеристик грунтов, приведены в обязательном приложении 2.

1.5. Физические характеристики следует определять не менее чем для двух параллельных проб, отбираемых из исследуемого образца грунта.

1.6. Значение характеристик вычисляют как среднее арифметическое из результатов параллельных определений. Разница между параллельными определениями не должна превышать значений, указанных в обязательном приложении 3. Если разница превышает допустимую, количество определений следует увеличить.

1.7. При обработке результатов испытаний плотность вычисляют с точностью до 0,01 г/см³ влажность до 30 % - с точностью до 0,1%, влажность 30 % и выше - с точностью до 1 %.

Таблица 1

Определяемая характеристика грунта		Раздел на- стояще- го стан- дарта	Метод определения	Грунты (область применимости метода)
Влаж- ность	Влажность, в том числе гигроскопическая	2	Высушивание до постоянной массы	Все грунты
	Суммарная влажность	3	Средней пробой	Мерзлые слоистой и сетчатой криогенной текстуры
	Влажность границы текучести	4	Пенетрация конусом	Пылевато-глинистые
	Влажность границы раскатывания	5	Раскатывание в жгут	То же
		Приложение 12	Прессование	То же
Плот- ность	Плотность грунта	6	Режущим кольцом	Легко поддающиеся вырезке или не сохраняющие свою форму без кольца, сыпучемерзлые и с массивной криогенной текстурой
		7	Взвешивание в виде парафинированных образцов	Пылевато-глинистые немерзлые, склонные к крошению или трудно поддающиеся вырезке
		8	Взвешивание в нейтральной жидкости	Мерзлые
	Плотность сухого грунта	9	Расчетный	Все грунты
	Плотность частиц грунта	10	Пикнометрический с водой	Все грунты, кроме засоленных и набухающих
		11	То же, с нейтральной жидкостью	Засоленные и набухающие
		Приложение 13	Метод двух пикнометров	Засоленные

1.8. Погрешность измерения массы (взвешивания) не должна превышать:

при массе от 10 до 1000 г 0,02 г

» » от 1 до 5 кг 5 г

1.9. Данные о месте отбора образцов грунтов и результаты определений их физических характеристик записывают в журналах, форма которых приведена в рекомендуемых приложениях 4-10.

2. Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы

2.1. Влажность грунта следует определять как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

2.2. Подготовка к испытаниям

2.2.1. Пробу грунта для определения влажности отбирают массой 15-50 г, помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывают крышкой.

2.2.2. Пробы грунта для определения гигроскопической влажности грунта массой 10-20 г отбирают способом квартования из грунта в воздушно-сухом состоянии растертого, просеянного сквозь сито с сеткой № 1 и выдержанного открытым не менее 2 ч при данной температуре и влажности воздуха.

2.3. Проведение испытаний

2.3.1. Пробу грунта в закрытом стаканчике взвешивают.

2.3.2. Стаканчик открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф. Грунт высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. Загипсованные грунты высушивают при температуре $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$.

2.3.3. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные - в течение 5 ч.

Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных - в течение 2 ч.

2.3.4. Загипсованные грунты высушивают в течение 8 ч. Последующие высушивания производят в течение 2 ч.

2.3.5. После каждого высушивания грунт в стаканчике охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до температуры помещения и взвешивают.

Высушивание производят до получения разности масс грунта со стаканчиком при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

2.3.6. Если при повторном взвешивании грунта, содержащего органические вещества, наблюдается увеличение массы, то за результат

взвешивания принимают наименьшую массу.

2.4. Обработка результатов

2.4.1. Влажность грунта w , %, вычисляют по формуле

$$w = 100(m_1 - m_0) / (m_0 - m), \quad (1)$$

где m - масса пустого стаканчика с крышкой, г;

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

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

Допускается выражать влажность грунта в долях единицы.

3. Определение суммарной влажности мерзлого грунта

3.1. Подготовка к испытаниям

3.1.1. Образец мерзлого грунта со слоистой или сетчатой криогенной текстурой массой 1-3 кг (имеющий не менее трех ледяных и минеральных прослоек каждого направления) помещают в предварительно высушенную, взвешенную и пронумерованную тару. Допускается оттаивание образцов грунта в плотно завязанных полиэтиленовых пакетах во время транспортирования и хранения.

3.2. Проведение испытаний

3.2.1. Образец грунта в таре взвешивают, дают ему оттаять и доводят до однородного состояния, близкого к границе текучести для пылевато-глинистых грунтов, или полного водонасыщения для песчаных грунтов, перемешивая его металлическим шпателем и добавляя дистиллированную воду или осторожно сливая избыток воды после ее осветления.

3.2.2. Грунт в таре вновь взвешивают и отбирают из него пробы для определения влажности перемешанного грунта в соответствии с требованиями пп. 2.3 и 2.4.

3.3. Обработка результатов

3.3.1. Суммарную влажность w_{tot} , %, мерзлого грунта вычисляют по формуле

$$w_{tot} = \frac{m_3 - m_2}{m_4 - m_2} (100 + w) - 100, \quad (2)$$

где m_2 — масса тары, г;

m_3 — масса образца грунта (с тарой), г;

m_4 — масса перемешанного грунта (с тарой), г;

w — влажность перемешанного грунта, %.

4. Определение границы текучести

4.1. Границу текучести следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирующий конус погружается под действием собственного веса за 5 с на глубину

10 мм.

4.2. Подготовка к испытаниям

4.2.1. Для определения границы текучести используют монолиты или образцы нарушенного сложения, для которых требуется сохранение природной влажности.

Для грунтов, содержащих органические вещества, границу текучести определяют сразу после вскрытия образца.

Для грунтов, не содержащих органических веществ, допускается использование образцов грунтов в воздушно-сухом состоянии.

4.2.2. Образец грунта природной влажности разминают шпателем в фарфоровой чашке или нарезают ножом в виде тонкой стружки (с добавкой дистиллированной воды, если это требуется), удалив из него растительные остатки крупнее 1 мм, отбирают из размельченного грунта методом квартования пробу массой около 300 г и протирают сквозь сито с сеткой № 1.

Пробу выдерживают в закрытом стеклянном сосуде не менее 2 ч.

4.2.3. Образец грунта в воздушно-сухом состоянии растирают в фарфоровой ступке или в растирочной машине, не допуская дробления частиц грунта и одновременно удаляя из него растительные остатки крупнее 1 мм, просеивают сквозь сито с сеткой № 1, увлажняют дистиллированной водой до состояния густой пасты, перемешивая шпателем, и выдерживают в закрытом стеклянном сосуде согласно п. 4.2.2.

4.2.4. Для удаления избытка влаги из образцов илов производят обжатие грунтовой пасты, помещенной в хлопчатобумажную ткань между листами фильтровальной бумаги, под давлением (пресс, груз). Грунтовую пасту из илов не допускается выдерживать в закрытом стеклянном сосуде.

4.2.5. Добавлять сухой грунт в грунтовую пасту не допускается.

4.3. Проведение испытаний

4.3.1. Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают шпателем и небольшими порциями плотно (без воздушных полостей) укладывают в цилиндрическую чашку к балансирному конусу. Поверхность пасты заглаживают шпателем вровень с краями чашки.

4.3.2. Балансирный конус, смазанный тонким слоем вазелина, подводят к поверхности грунтовой пасты так, чтобы его острие касалось пасты. Затем плавно отпускают конус, позволяя ему погружаться в пасту под действием собственного веса.

4.3.3. Погружение конуса в пасту в течение 5 с на глубину 10 мм показывает, что грунт имеет влажность, соответствующую границе текучести.

4.3.4. При погружении конуса в течение 5 с на глубину менее 10

мм, грунтовую пасту извлекают из чашки, присоединяют к оставшейся пасте, добавляют немного дистиллированной воды, тщательно перемешивают ее и повторяют операции, указанные в пп. 4.3.1-4.3.3.

4.3.5. При погружении конуса за 5 с на глубину более 10 мм грунтовую пасту из чашки перекалывают в фарфоровую чашку, слегка подсушивают на воздухе, непрерывно перемешивая шпателем и повторяют операции, указанные в пп. 4.3.1-4.3.3.

4.3.6. По достижении границы текучести (п. 4.3.3) из пасты отбирают пробы массой 15-20 г для определения влажности в соответствии с требованиями пп. 2.3 и 2.4.

5. Определение границы раскатывания

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

5.2. Подготовка к испытаниям

5.2.1. Подготовку грунта производят в соответствии с пп. 4.2.1 - 4.2.5 или используют часть грунта (40 - 50 г), подготовленного для определения текучести.

5.3. Проведение испытаний

5.3.1. Подготовленную грунтовую пасту тщательно перемешивают, берут небольшой кусочек и раскатывают ладонью на стеклянной или пластмассовой пластинке до образования жгута диаметром 3 мм. Если при этой толщине жгут сохраняет связность и пластичность, его собирают в комок и вновь раскатывают до образования жгута диаметром 3 мм. Раскатывать следует, слегка нажимая на жгут, длина жгута не должна превышать ширины ладони. Раскатывание продолжают до тех пор, пока жгут не начинает распадаться по поперечным трещинам на кусочки длиной 3-10 мм.

5.3.2. Кусочки распадающегося жгута собирают в стаканчики, накрываемые крышками. Когда масса грунта в стаканчиках достигнет 10 -15 г, определяют влажность в соответствии с требованиями пп. 2.3 и 2.4.

6. Определение плотности грунта методом режущего кольца

6.1. Плотность грунта определяется отношением массы образца грунта к его объему.

6.2. Подготовка к испытаниям

6.2.1. Согласно требованиям табл. 2 выбирают режущее кольцо-пробоотборник.

6.2.2. Кольца-пробоотборники изготавливают из стали с антикоррозионным покрытием или из других материалов, не уступающих по твердости и коррозионной стойкости.

6.2.3. Кольца нумеруют, измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до 0,1 см³.

Таблица 2

Наименование и состояние грунтов	Размеры кольца-пробоотборника			
	Толщина стенки, мм	Диаметр внутренний d , мм	Высота h	Угол заточки наружного режущего края
Немерзлые пылевато-глинистые грунты	1,5-2,0	≥ 50	$0,8d \geq h > 0,3d$	Не более 30°
Немерзлые и сыпуче-мерзлые песчаные грунты	2,0-4,0	≥ 70	$d \geq h > 0,3d$	То же
Мерзлые пылевато-глинистые грунты	3,0-4,0	≥ 80	$h = d$	45°

6.2.4. Пластинки с гладкой поверхностью (из стекла, металла и т. д.) нумеруют и взвешивают.

6.3. Проведение испытаний

6.3.1. Кольцо-пробоотборник смазывают с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки.

6.3.2. Верхнюю зачищенную плоскость образца грунта выравнивают, срезая излишки грунта ножом, устанавливают на ней режущий край кольца и винтовым прессом или вручную через насадку слегка вдавливают кольцо в грунт, фиксируя границу образца для испытаний. Затем грунт снаружи кольца обрезают на глубину 5-10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1-2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания грунта, легким нажимом пресса или насадки насаживают кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. После заполнения кольца грунт подрезают на 8-10 мм ниже режущего края кольца и отделяют его.

Грунт, выступающий за края кольца, срезают ножом, зачищают поверхность грунта вровень с краями кольца и закрывают торцы пластинами.

При пластичном или сыпучем грунте кольцо плавно, без переко-

сов вдавливают в него и удаляют грунт вокруг кольца. Затем зачищают поверхность грунта, накрывают кольцо пластинкой и подхватывают его снизу плоской лопаткой.

6.3.3. Кольцо с грунтом и пластинками взвешивают.

6.4. Обработка результатов

6.4.1. Плотность грунта ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_0 - m_2) / V, \quad (3)$$

где m_1 — масса грунта с кольцом и пластинками, г;

m_0 - масса кольца, г;

m_2 - масса пластинок, г;

V - внутренний объем кольца, см³.

7. Определение плотности грунта методом взвешивания в воде

7.1. Подготовка к испытаниям

7.1.1. Вырезают образец грунта объемом не менее 50 см³ и придают ему округлую форму, срезая острые выступающие части.

7.1.2. Образец обвязывают тонкой прочной нитью со свободным концом длиной 15-20 см, имеющим петлю для подвешивания к серьге весов.

7.1.3. Парафин, не содержащий примесей, нагревают до температуры 57-60°С.

7.2. Проведение испытаний

7.2.1. Обвязанный нитью образец грунта взвешивают.

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

7.2.3. Охлажденный парафинированный образец взвешивают.

7.2.4. Затем парафинированный образец взвешивают в сосуде с водой. Для этого над чашей весов устанавливают подставку для сосуда с водой так, чтобы исключить ее касание к чаше весов (или снимают подвес с чашей с серьги, уравновесив весы дополнительным грузом). К серьге коромысла подвешивают образец и опускают в сосуд с водой. Объем сосуда и длина нити должны обеспечить полное погружение образца в воду. При этом образец не должен касаться дна и стенок сосуда.

Примечание. Допускается применять метод обратного взвешивания. На чашу циферблатных весов устанавливают сосуд с водой и взвешивают его. Затем в жидкость догружают образец, подвешенный к

штативу, и вновь взвешивают сосуд с водой и погруженным в нее образцом.

7.2.5. Взвешенный образец вынимают из воды, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают для проверки герметичности оболочки. Если масса образца увеличилась более чем на 0,02 г по сравнению с первоначальной, образец следует забраковать и повторить испытание с другим образцом.

7.3. Обработка результатов

7.3.1. Плотность грунта ρ , г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m\rho_p\rho_w}{\rho_p(m_1 - m_2) - \rho_w(m_1 - m)}, \quad (4)$$

где m - масса образца грунта до парафинирования, г;

m_1 - масса парафинированного образца грунта, г;

m_2 - результат взвешивания образца в воде - разность масс парафинированного образца и вытесненной им воды, г;

ρ_p - плотность парафина, принимаемая равной 0,900 г/см³;

ρ_w - плотность воды при температуре испытаний, г/см³.

Примечание. Плотность парафина следует уточнять для каждой партии парафина. Плотность воды, в зависимости от температуры, следует принимать по справочному приложению 11.

7.3.2. При применении метода обратного взвешивания плотность грунта вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m\rho_p\rho_w}{\rho_p(m_4 - m_3) - \rho_w(m_1 - m)}, \quad (5)$$

где m , ρ_p , ρ_w - то же, что и в формуле (4);

m_3 - масса сосуда с водой, г;

m_4 - масса сосуда с водой и погруженным в нее парафинированным образцом, г.

8. Определение плотности мерзлого грунта методом взвешивания в нейтральной жидкости

8.1. Подготовка к испытаниям

8.1.1. Образец грунта и нейтральная жидкость (керосин, лигроин и др.) должны иметь отрицательную температуру.

8.1.2. Образец грунта отбирают округлой формы массой 100-150 г и обвязывают нитью (п. 7.1.2). Для грунтов с сетчатой или слоистой криогенной структурой масса образца может быть увеличена.

8.1.3. Определяют плотность нейтральной жидкости ареометром при температуре испытания.

8.2. Проведение испытаний

8.2.1. Обязанный нитью образец грунта взвешивают.

8.2.2. Затем образец взвешивают, погрузив его в нейтральную жидкость. Взвешивание производят в соответствии с указаниями п. 7.2.4.

8.3. Обработка результатов

8.3.1. Плотность грунта ρ , г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho = \rho_{nl}m/(m - m_1), \quad (6)$$

где m - масса образца (до погружения), г;

m_1 - результат взвешивания образца в нейтральной жидкости - разность масс образца и вытесненной им жидкости, г;

ρ_{nl} - плотность нейтральной жидкости при температуре испытаний, г/см³.

Примечание. При применении метода обратного взвешивания плотность грунта вычисляют по формуле

$$\rho = \rho_{nl}m/(m_4 - m_3), \quad (7)$$

где m и ρ_{nl} - то же, что и в формуле (6);

m_3 - масса сосуда с нейтральной жидкостью, г,

m_4 - масса сосуда с нейтральной жидкостью и погруженным в нее образцом, г.

9. Определение плотности сухого грунта расчетным методом

9.1. Для определения плотности сухого грунта предварительно определяют влажность грунта и его плотность при этой влажности в соответствии с требованиями разд. 2, 3 и 6-8 настоящего стандарта.

9.2. Плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_d = \rho/(1 + 0,01w), \quad (8)$$

где ρ - плотность грунта, г/см³;

w - влажность грунта, %.

10. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом

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

10.2. Подготовка к испытаниям

10.2.1. Образец грунта в воздушно-сухом состоянии размельчают в фарфоровой ступке, отбирают методом квартования среднюю пробу массой 100-200 г и просеивают сквозь сито с сеткой № 2, остаток на сите растирают в ступке и просеивают сквозь то же сито.

10.2.2. Из перемешанной средней пробы берут навеску грунта из

расчета 15 г на каждые 100 мл емкости пикнометра и высушивают до постоянной массы в соответствии с требованиями п. 2.2 и 2.3. Навеску заторфованного грунта или торфа следует отбирать из средней пробы из расчета 5 г сухого грунта на каждые 100 мл емкости пикнометра, которая в этом случае должна быть не менее 200 мл.

Допускается использовать грунт в воздушно-сухом состоянии, определив его гигроскопическую влажность.

10.2.3. Дистиллированную воду следует прокипятить в течение 1 ч и хранить в закупоренной бутылки.

10.3. Проведение испытаний

10.3.1. Пикнометр, наполненный на $\frac{1}{3}$ дистиллированной водой, взвешивают. Затем через воронку всыпают в него высушенную пробу грунта и снова взвешивают.

10.3.2. Пикнометр с водой и грунтом взбалтывают и ставят кипятить на песчаную баню. Продолжительность спокойного кипячения (с момента начала кипения) должна составлять: для песков и супесей - 0,5 ч, для суглинков и глин - 1 ч.

10.3.3. После кипячения пикнометр следует охладить и долить дистиллированной водой до мерной риски на горлышке, а если пикнометр с капилляром в пробке - до шейки пикнометра.

Пикнометр охлаждают до комнатной температуры в ванне с водой. Температуру пикнометра определяют по температуре воды в ванне, измеряемой с точностью до $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ термометром, расположенным в средней части ванны между пикнометрами.

10.3.4. После охлаждения пикнометра следует поправить положение мениска воды в нем, добавляя из капельницы дистиллированную воду. В пикнометре с мерной рисккой низ мениска должен совпадать с ней. Возможные капли воды выше риски удаляют фильтровальной бумагой. Пикнометр с капилляром доливают примерно до середины шейки пикнометра, закрывают пробку и удаляют выступившую из капилляра воду фильтровальной бумагой. Проверяют отсутствие пузырьков воздуха под пробкой и при их наличии вновь доливают воду.

Пикнометр вытирают снаружи и взвешивают.

10.3.5. Далее выливают содержимое пикнометра, ополаскивают его, наливают в него дистиллированную воду и выдерживают в ванне с водой при той же температуре. Затем выполняют операции, указанные в п. 10.3.4, и взвешивают пикнометр с водой.

Примечание. При большом количестве испытаний следует заранее определить объемы пикнометров (до мерной риски) и их массы с водой при различных температурах, находящихся в интервале темпе-

ратур испытаний. Объем пикнометра V_n , см^3 , вычисляют по формуле

$$V_n = (m_2 - m_n) / \rho_w, \quad (9)$$

где m_2 - масса пикнометра с дистиллированной водой (или нейтральной жидкостью - см. разд. 11) при температуре тарировки, г;

m_n - масса пустого пикнометра, г;

ρ_w - плотность воды (или нейтральной жидкости) при той же температуре, г/см^3 .

Массу пикнометра с дистиллированной водой или нейтральной жидкостью m_2 , г, при температуре испытаний вычисляют по формуле

$$m_2 = m_n + \rho_w V_n, \quad (10)$$

где ρ_w - плотность воды (или нейтральной жидкости) при температуре испытаний.

10.4. Обработка результатов

Плотность частиц грунта ρ_s , г/см^3 , вычисляют по формуле

$$\rho = \rho_w m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \quad (11)$$

где m_0 - масса сухого грунта, г;

m_1 - масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г;

m_2 - масса пикнометра с водой при той же температуре, г;

ρ_w - плотность воды при той же температуре, г/см^3 .

Примечание. Массу сухого грунта то определяют как разность результатов двух взвешиваний, выполненных по указаниям п. 10.3.1.

В случае использования грунта в воздушно-сухом состоянии m_0 вычисляют по формуле

$$m_0 = m / (1 + 0,01 w_g), \quad (12)$$

где m - масса пробы воздушно-сухого грунта, г;

w_g - гигроскопическая влажность грунта, %.

11. Определение плотности частиц грунта пикнометрическим методом с нейтральной жидкостью

11.1. Подготовка к испытаниям

11.1.1. Подготовка пробы грунта производят в соответствии с указаниями пп. 10.2.1 и 10.2.2.

11.1.2. Нейтральная жидкость (например, керосин) должна быть обезвожена и профильтрована. Керосин обезвоживают путем взбалтывания его с силикагелем по ГОСТ 3956-76, прокаленным в муфельной печи при температуре 500°C в течение 4 ч. Силикагель берут из расчета 250 г на 1 л керосина.

Плотность керосина после обезвоживания и очистки должна быть

установлена с помощью ареометра.

11.2. Испытания проводят в соответствии с указаниями пп. 10.3.1-10.3.4, применяя обезвоженный керосин вместо дистиллированной воды и вакуумирование вместо кипячения: степень разряжения при вакуумировании следует определять по началу выделения пузырьков воздуха; вакуумирование следует продолжать до прекращения выделения пузырьков, но не менее 1 ч. При всех взвешиваниях температура керосина должна быть постоянной, в пределах $\pm 1^\circ\text{C}$.

11.3. Обработка результатов

Плотность частиц засоленного или набухающего грунта ρ_s , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_s = \rho_{nl} m_0 / (m_0 + m_2 - m_1), \quad (13)$$

где m_0 - масса сухого грунта, г;

m_1 - масса пикнометра с керосином и грунтом, г;

m_2 - масса пикнометра с керосином, г;

ρ_{nl} - плотность керосина при температуре испытания, г/см³.

Приложение 1

Справочное

ТЕРМИНЫ И ИХ ПОЯСНЕНИЯ

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

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

Граница текучести w_L - влажность грунта, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний.

Граница раскатывания (пластичности) w_p - влажность грунта, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний.

Плотность грунта ρ - масса единицы объема грунта.

Плотность сухого грунта ρ_d - отношение массы грунта за вычетом массы воды и льда в его порах к его первоначальному объему.

Плотность частиц грунта ρ_s - масса единицы объема твердых (скелетных) частиц грунта.

Приложение 2
Обязательное

Оборудование и материалы, необходимые для определения физических характеристик грунтов

№ п/п	Оборудование и материалы	Номер раздела стандарта										
		Влажность				Плотность					При- ложе- ние 12	При- ложе- ние 13
		2	3	4	5	6	7	8	10	11		
1	Шкаф сушильный или вакуумный сушильный	+	+	+	+				+	+	+	+
2	Термометр по ГОСТ 2823–73Е со шкалой от 0 до 200°С, с ценой де- ления 2°С	+	+	+	+				+	+	+	+
3	Эксикатор по ГОСТ 23932–79Е с кальцием хлори- стым по ГОСТ 4460–77, прока- ленным в муфель- ной печи	+	+	+	+				+	+	+	+
4	Стаканчики стек- лянные по ГОСТ 23932–79Е или алюминиевые ВС- 1 с крышками	+	+	+	+				+	+	+	+
5	Шпатели метал- лические	+	+	+	+				+	+	+	+
6	Нож с прямым лезвием	+	+	+	+	+	+	+			+	
7	Щипцы тигельные	+	+	+	+				+	+	+	+
8	Весы лаборато- рные по ГОСТ 24104–80Е с ги- рями по ГОСТ 7328–82Е	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	Весы настольные циферблатные по ГОСТ 24104–80Е с гирями по ГОСТ 7328–82Е		+									

10	Ступка фарфоровая и пестик по ГОСТ 9147–80Е	+		+	+				+	+	+	+
11	Набор сит по ГОСТ 3584–73	+		+	+				+	+	+	+
12	Чашка фарфоровая по ГОСТ 9147–80Е или таз пластмассовый, эмалированный		+	+	+						+	
13	Кольца-пробоотборники (см. п. 3.1.2)					+						
14	Лопатка плоская		+	+	+	+			+	+	+	+
15	Штангенциркуль по ГОСТ 166–80					+						
16	Пресс винтовой					+						
17	Насадка для вдавливания колец					+						
18	Пластинки гладкие (стекло, металл и т. д.)				+	+						
19	Вазелин технический			+		+						
20	Консистентная смазка (тавот и т. п.)			+		+						
21	Стаканы лабораторные 0,5 и 1 л						+	+				
22	Подставки разные			+			+	+				
23	Термометр по ГОСТ 2823–73Е со шкалой от 0 до 50°С, с ценой деления 0,5°С						+	+	+	+		+
24	Парафин						+					
25	Игла, нить, леска						+					
26	Бумага фильтровальная			+	+		+				+	+
27	Набор ареометров по ГОСТ 18481–81Е с ценой деления 0,001 г/см ³ , от 15 до 35°С							+		+		

28	Нейтральная жидкость (керосин, лигроин и т. д.)							+		+		
29	Пикнометры по ГОСТ 22524–77Е								+	+		+
30	Баня песчаная								+			
31	Ванна с водой								+	+		+
32	Пипетка или капельница								+	+		+
33	Вакуумный шкаф со стеклянной дверкой или насос с вакуумной тарелкой и колпаком									+		
34	Балансирный конус*			+								
35	Секундомер СМ-60			+							+	
36	Вода дистиллированная		+	+	+		+		+		+	+
37	Воронка стеклянная								+	+		+
38	Сосуд стеклянный (банка) с крышкой			+							+	
39	Ткань хлопчатобумажная			+							+	
40	Пресс рычажный или гидравлический до 3 т										+	

* Балансирный конус представляет собой металлический пенетрационный конус (угол при вершине 30°) с двумя противовесами, жестко закрепленными на нем так, что центр тяжести устройства в рабочем положении опущен ниже вершины конуса для устойчивости при измерениях. Конус имеет кольцевую риску в 10 мм от вершины и общую массу (76±0,2) г. Комплектуется чашкой для грунтовой пасты и подставкой.

Приложение 3

Обязательное

Допустимая разница Δ результатов параллельных определений

	Влажность грунта w , %				
	1-5	> 5-10	> 10-50	> 50-100	> 100
Δ , %	0,2	0,6	2,0	4,0	5,0
	Влажность грунта на границе текучести w_L , %				
	до 80			80 и более	
Δ , %	2,0			4,0	
	Влажность грунта на границе раскатывания w_p , %				
	до 40			40 и более	
Δ , %	2,0			4,0	
	Плотность грунта ρ , г/см ³				
	Песчаные грунты			Пылевато-глинистые грунты	
Δ , г/см ³	0,04			0,03	
	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³				
	До 2,75			2,75 и более	
Δ , г/см ³	0,02			0,03	

Приложение 4

Рекомендуемое

Журнал определения влажности грунта

№№ п/п	Дата	Ла- бора- тор- ный но- мер об- разца	Но- мер выра- ботки	Глу- бина отбо- ра об- разца грун- та, м	Но- мер ста- кан- чика	Мас- са ста- кан- чика с кры- шкой m , г	Мас- са влаж- ного грун- та со ста- кан- чи- ком и кры- шкой m_0 , г	Масса вы- сушенного грунта со стаканчи- ком и крышкой m_0 , г		Влажность w , %	
								1-е взве- ши- вание	2-е взве- ши- вание	от- дель- ной про- бы	сред- няя
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Приложение 5
Рекомендуемое

Журнал определения суммарной влажности мерзлого грунта методом средней пробы

№№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер выработки	Глубина отбора образца грунта, м	Номер тары	Масса тары m_2 , г	Масса образца грунта с массой тары m_3 , г	Масса перемешанного грунта и тары m_4 , г	Номер стаканчика
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Продолжение «Журнал определения суммарной влажности мерзлого грунта методом средней пробы»

Масса стаканчика с крышкой m , г	Масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой m_1 , г	Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой m_0 , г		Влажность перемешанного грунта w , %		Влажность грунта w_{tot} , %
		1-е взвешивание	2-е взвешивание	отдельной пробы	средняя	
11	12	13	14	15	16	17

Приложение 6
Рекомендуемое

Журнал определения границ текучести и раскатывания пылеватоглинистых грунтов

№ № п/п	Да- та	Лабо- ратор- ный номер образца	Номер выра- ботки	Глу- бина отбора образ- ца грун- та, м	Граница текучести						
					Номер ста- канчи- ка	Масса стакан- чика с крыш- кой m , г	Масса влажно- го грун- та со стакан- чиком и крыш- кой m_1 , г	Масса высу- шенного грунта со стаканчиком и крышкой m_0 , г		Граница текучести w_L , %	
								1-е взве- ши- вание	2-е взве- шива- ние	отдель- ной пробы	сред- няя
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

*Продолжение «Журнал определения границ текучести и раскаты-
вания пылевато-глинистых грунтов»*

Граница раскатывания						Число пластич- ности I_p , % $I_p=w_L-w_p$	Приме- чания	
Номер стакан- чика	Масса стакан- чика с крыш- кой m , г	Масса влажного грунта со стакан- чиком и крыш- кой m_1 , г	Масса высушенно- го грунта со ста- канчиком и крыш- кой m_0 , г		Граница раскаты- вания w_p , %			
			1-е взвешивание	2-е взвешивание	отдель- ной пробы			средняя
13	14	15	16	17	18	19	20	21

Приложение 7
Рекомендуемое

Журнал определения плотности грунта методом режущего кольца

№№ п/п	Дата	Лабора- торный номер образца	Номер выра- ботки	Глубина отбора образца грунта, м	Номер кольца	Номер пласти- нок		Масса кольца с грунтом и пластинками m_1 , г
						верхней	нижней	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

*Продолжение «Журнал определения плотности грунта методом
режущего кольца»*

Масса кольца m_0 , г	Масса пластинок, г		Масса грунта, г	Объем грунта V , см ³	Плотность грунта ρ , г/см ³	
	верхней	нижней			образца	средняя
10	11	12	13	14	15	16

Приложение 8
Рекомендуемое

*Журнал определения плотности грунта методом взвешивания в
воде парафинированных образцов*

№№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца грунта	Номер выработки	Глубина отбора образца грунта, м
1	2	3	4	5

Продолжение «Журнал определения плотности грунта методом

взвешивания в воде парафинированных образцов»

Масса, г				Плотность, ρ , г/см ³	
грунта до парафинирования	парафинированного грунта	парафинированного грунта в воде	контрольное взвешивание парафинированного грунта	образца	средняя
6	7	8	9	10	11

Приложение 9
Рекомендуемое

Журнал определения плотности грунта методом взвешивания образца в нейтральной жидкости

№№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер выработки	Глубина отбора образца грунта, м	Масса, г	
					образца в воздухе	образца в нейтральной жидкости
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение «Журнал определения плотности грунта методом взвешивания в воде парафинированных образцов»

Температура жидкости, °С	Плотность нейтральной жидкости $\rho_{нл}$, г/см ³	Плотность ρ , г/см ³	
		образца	средняя
8	9	10	11

Приложение 10
Рекомендуемое

Журнал определения плотности частиц грунта пикнометрическим методом

№№ п/п	Дата	Лабораторный номер образца	Номер выработки	Глубина отбора образца, м	Номер пикнометра	Масса, г	
						пикнометра, заполненного водой (керосином) на $\frac{1}{3}$ его емкости	пикнометра, заполненного водой (керосином) на $\frac{1}{3}$ его емкости и грунтом
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение «Журнал определения плотности частиц грунта пикнометрическим методом»

Масса, г			Температура воды, (керосина), °С	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	
пикнометра с водой (керосином) и грунтом	пикнометра с водой (ке- росином)	сухого грунта		образца	средняя
9	10	11	12	13	14

Приложение 11
Справочное

Плотность воды при различных температурах

Температура, °С	Плотность, г/см ³	Температура, °С	Плотность, г/см ³
0-12	1,000	24-27	0,997
12-18	0,999	29-30	0,996
19-23	0,998	31-33	0,995

Приложение 12
Рекомендуемое

**Определение границы раскатывания (пластичности)
методом прессования**

1. Границу раскатывания допускается определять как влажность грунтовой пасты, устанавливающуюся после прессования ее в контакте с целлюлозой (фильтровальной бумагой) под давлением 2 МПа (20 кгс/см²) до завершения водоотдачи грунта.

2. Проведение испытаний

2.1. Шаблон толщиной 2 мм с отверстием 5 см укладывают на хлопчатобумажную ткань и заполняют грунтовой пастой, подготовленной по пп. 4.2.1- 4.2.5 настоящего стандарта. Избыток пасты срезают ножом вровень с поверхностью шаблона. Шаблон удаляют, а полученный образец покрывают сверху такой же тканью.

2.2. Снизу и сверху подготовленного образца укладывают по 20 листов фильтровальной бумаги размером 9х9 см. Подготовленный образец помещают между деревянными или металлическими пластинка-

ми и создают с помощью пресса давление на образец 2 МПа (20 кгс/см²) в течение 10 мин.

2.3. Затем проводят контроль завершения водоотдачи грунта. Для этого снимают давление пресса, вынимают образец и, удалив фильтровальную бумагу и ткань, сгибают образец пополам.

Границу раскатывания считают достигнутой, если образец на сгибе дает трещину.

2.4. При отсутствии трещины определение повторяют на новой порции пасты, увеличив длительность прессования на 10 мин по сравнению с длительностью предыдущего испытания. Повторные прессования повторяют до тех пор, пока не будет достигнута граница раскатывания грунта в соответствии с п. 2.3 настоящего приложения.

2.5. По достижении границы раскатывания сразу определяют влажность образца в соответствии с указаниями пп. 2.2 и 2.3 настоящего стандарта.

2.6. Для контроля применимости метода для грунтов, поступающих в лабораторию, не менее 20% общего числа образцов из каждого инженерно-геологического элемента следует испытывать параллельно методом раскатывания согласно указаниям разд. 5 настоящего стандарта. Метод прессования допускается применять только при получении сопоставимых результатов контрольных определений.

Приложение 13
Рекомендуемое

Определение плотности частиц засоленных грунтов в воде

1. Подготовку образцов грунта к испытаниям следует проводить в соответствии с указаниями пп. 10.2.1 и 10.2.2 настоящего стандарта.

2. Проведение испытаний

2.1. Выполняют операции, указанные в пп. 10.3.1-10.3.3 настоящего стандарта.

2.2. С помощью резиновой груши следуют осторожно отсасывать осветленную жидкость из верхней части пикнометра в малый пикнометр, объем которого не должен превышать 60—80% объема основного пикнометра. Положение мениска в малом пикнометре устанавливают согласно п. 10.3.4 настоящего стандарта, добавляя в него по каплям осветленный солевой раствор из большого пикнометра, при этом не допуская взмучивания осадка в большом пикнометре.

Малый пикнометр с жидкостью следует вытереть насухо и взвесить.

2.3. Солевой раствор из малого пикнометра и суспензию из боль-

шого пикнометра выливают, прополаскивают их дистиллированной водой, наливают дистиллированную воду и выдерживают в ванне с водой.

2.4. Далее выполняют операции, указанные в п. 10.3.4 настоящего стандарта, и взвешивают пикнометры с водой.

3. Обработка результатов

3.1. Плотность частиц засоленного грунта ρ_{sz} , г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho_{sz} = M_0 \left(\frac{M_3 + M_0 - M_2}{\rho_w} + \frac{(m_4 - m_3)(M_3 - M_1)}{\rho_z (m_3 - m_1)} \right),$$

где M_0 — масса грунта в пикнометре, г;

M_1 — масса большого пикнометра (пустого), г;

M_2 — масса большого пикнометра с водой и грунтом, г;

M_3 — масса большого пикнометра с водой, г;

m_1 — масса малого пикнометра (пустого), г;

m_3 — масса малого пикнометра с водой, г;

m_4 — масса малого пикнометра с солевым раствором, г;

ρ_z — плотность растворимых солей (допускается принимать $\rho_z = 2,20$ г/см³);

ρ_w — плотность воды при температуре испытания, г/см³.

**ВЫДЕРЖКИ ИЗ ГОСТ 20522-96
ГРУНТЫ. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ**

1. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает применяемые при инженерно-геологических изысканиях, проектировании и строительстве методы статистической обработки результатов испытаний грунтов, составляющих различные грунтовые объекты (основания сооружений, склоны, массивы, вмещающие подземные сооружения, грунтовые сооружения и их элементы и т. д.).

Методы применяют для статистической обработки результатов определений физических и механических (прочностных и деформационных) характеристик всех грунтов, а также при выделении основных грунтовых единиц – инженерно-геологических и расчетных грунтовых элементов (разделы 3 и 4).

2. Определения

В настоящем стандарте применяют следующие термины.

Вероятность – числовая характеристика степени возможности появления какого-либо определенного события в тех или иных определенных условиях, которые могут повторяться неограниченное число раз, выражается в долях единицы или процентах.

Вероятности, с которыми характеристики грунтов, трактуемые, как случайные величины, принимают те или иные значения, образуют распределение вероятностей, для установления которого по выборочным данным оценивают один или несколько параметров распределения.

Доверительный интервал – интервал, вычисленный по выборочным данным, который с заданной вероятностью (доверительной) покрывает неизвестное истинное значение оцениваемого параметра распределения.

Доверительная вероятность – вероятность того, что доверительный интервал покроет неизвестное истинное значение параметра, оцениваемого по выборочным данным.

Односторонняя доверительная вероятность – вероятность того, что неизвестное истинное значение параметра не выйдет за пределы нижней (или верхней) границы доверительного интервала.

Среднее значение (выборочное) – среднее арифметическое из частных значений, образующих выборку независимых друг от друга и от

пространственных координат величин.

Коэффициент вариации – мера отклонения опытных данных от выборочного среднего значения, выражаемая в долях единицы или процентах, вычисляется по формуле (5).

Сравнительный коэффициент вариации – мера изменчивости величины, зависящая от начала отсчета выборки, вычисляется по формуле (А. 1) приложения А.

Метод наименьших квадратов – метод статистической оценки функциональной зависимости путем установления таких ее параметров, при которых сумма квадратов отклонений опытных данных от этой зависимости является минимальной.

Среднеквадратическое отклонение – мера отклонения опытных данных от выборочного среднего значения или от функциональной зависимости, выражаемая в абсолютных единицах, вычисляется по формулам (4), (12).

Число степеней свободы – число независимых наблюдений, равное числу определений n характеристики минус число оцениваемых статистических параметров.

Инженерно-геологический элемент (ИГЭ) – основная грунтовая единица при инженерно-геологической схематизации грунтового объекта, определяемая положениями 3.4.

Расчетный грунтовый элемент (РГЭ) – основная грунтовая единица, выделяемая с учетом применяемого при проектировании грунтового объекта расчетного или экспериментального метода, определяемая положениями 3.4.

3. Общие положения

3.1. Статистическую обработку результатов испытаний проводят для оценки неоднородности грунтов, выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и вычисления нормативных и расчетных значений характеристик грунтов.

3.2. Неоднородность грунта оценивается с помощью коэффициента вариации характеристик грунта (5.4). Для сравнения неоднородности по разным характеристикам может применяться сравнительный коэффициент вариации, определяемый по приложению А.

3.3. Статистическую обработку проводят для частных значений характеристик грунтов или фиксируемых в отдельных испытаниях величин, которые составляют случайную выборку.

При наличии закономерного изменения характеристики в каком-либо направлении (чаще всего с глубиной) статистическая обработка проводится для определения параметров аналитической зависимости, аппроксимирующей опытные точки линейной или кусочно-линейной

функцией.

3.4. Статистическую обработку результатов испытаний выполняют для ИГЭ или РГЭ.

За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения и вида при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно), либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. В последнем случае должны выполняться требования 4.5. ИГЭ наделяют постоянными нормативными и расчетными значениями характеристик. Комплекс ИГЭ образует инженерно-геологическую модель объекта.

За РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения и вида, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик при проектировании грунтового объекта по условиям применяемого расчетного или экспериментального метода могут быть постоянными или закономерно изменяющимися по направлению (чаще всего по глубине). РГЭ может включать часть одного или несколько ИГЭ. Комплекс РГЭ образует расчетную геомеханическую модель объекта.

Примечание – Объем, местоположение и конфигурацию ИГЭ и РГЭ устанавливают с учетом геологических данных и сведений об объекте строительства.

3.5. Для всех характеристик грунта вычисляют нормативные, а для характеристик, используемых в расчетах, и расчетные значения.

Нормативные значения характеристик определяют как среднестатистические, получаемые осреднением их частных значений, или отвечающие осредненным по частным значениям аппроксимирующим зависимостям между измеряемыми в опытах величинами (или функционально с ними связанными величинами), или зависимостям каких-то из этих величин от координат по одному из направлений.

Расчетное значение получают делением нормативного значения на коэффициент надежности по грунту.

3.6. Коэффициент надежности по грунту должен устанавливаться с учетом изменчивости и числа определений характеристики (числа испытаний) при заданной доверительной вероятности.

Примечания.

1. По указаниям норм проектирования различных видов сооружений при вычислении расчетного значения характеристики могут вводиться и другие коэффициенты, учитывающие влияние факторов, которые не могут быть учтены статистическим путем.

2. Для отдельных характеристик грунтов по указаниям норм проектирования различных видов сооружений их расчетные значения мо-

гут быть приняты равными нормативным значениям.

3.7. Значения доверительной вероятности при вычислении расчетного значения характеристики грунта принимают в соответствии с рекомендациями норм проектирования различных видов сооружений.

3.8. Опытные данные, для которых проводится статистическая обработка, должны быть получены единым методом испытания.

3.9. Применяемые в настоящем стандарте методы статистической обработки используют нормальный или логарифмически нормальный закон распределения вероятностей.

3.10. Настоящие методы применяют при числе определений характеристик грунтов или фиксируемых в опытах величин не менее шести.

4. Выделение инженерно-геологического элемента (ИГЭ) и расчетного грунтового элемента (РГЭ)

4.1. Исследуемые грунты предварительно разделяют на ИГЭ с учетом их происхождения, текстурно-структурных особенностей и вида.

Характеристики грунтов в каждом предварительно выделенном ИГЭ анализируют с целью установить и исключить значения, резко отличающиеся от большинства значений, если они вызваны ошибками в опытах или принадлежат другому ИГЭ.

4.2. Окончательное выделение ИГЭ проводят на основе оценки характера пространственной изменчивости характеристик грунтов и их коэффициента вариации, а также сравнительного коэффициента вариации. При этом необходимо установить, изменяются характеристики грунтов в пределах предварительно выделенного ИГЭ случайным образом или имеет место их закономерное изменение в каком-либо направлении (чаще всего с глубиной).

Для анализа используют физические характеристики, а при достаточном количестве и механические.

Примечание – Для выделения ИГЭ наряду с физическими и механическими характеристиками грунтов могут использоваться фиксируемые в опытах величины или показатели, получаемые с помощью зондирования и других экспресс-методов.

4.3. Для оценки характера пространственной изменчивости характеристик их наносят на инженерно-геологические разрезы в точках их определения, строят графики рассеяния, а также графики зондирования. Для выявления закономерного изменения характеристик строят точечные графики изменения их значений по направлению или применяют положения 1 и 2 приложения Д.

4.4. Если установлено, что характеристики грунтов изменяются в

пределах предварительно выделенного ИГЭ случайным образом, этот элемент принимают за окончательный независимо от значений коэффициента вариации (5.4) характеристик.

За единый инженерно-геологический элемент могут быть приняты грунты, представленные часто сменяющимися тонкими (менее 20 см) слоями и линзами грунтов различного вида. Слои и линзы, сложенные рыхлыми песками, глинистыми грунтами с показателем текучести более 0,75, илами, сапропелями, заторфованными грунтами и торфами, следует рассматривать как отдельные инженерно-геологические элементы независимо от их толщины.

4.5. При наличии закономерного изменения характеристик грунтов в каком-либо направлении (чаще всего с глубиной) следует решить вопрос о необходимости разделения предварительно выделенного ИГЭ на два или несколько новых ИГЭ.

Дополнительное разделение ИГЭ не проводят, если выполняется условие

$$V < V_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где V – коэффициент вариации (5.4);

$V_{\text{доп}}$ – допустимое значение V , принимаемое равным для физических характеристик 0.15, а для механических (см. 4.2) – 0.30.

Если коэффициенты вариации превышают указанные значения, дальнейшее разделение ИГЭ проводят так, чтобы для вновь выделенных ИГЭ выполнялось условие (1).

Разделение ИГЭ может быть проведено на основе сравнения средних значений характеристик грунта во вновь выделенных ИГЭ в соответствии с приложением Б.

4.6. При проведении дополнительного разделения первоначально выделенного ИГЭ (4.5), определяя границы вновь выделяемых ИГЭ, необходимо учитывать:

- наличие тенденции к скачкообразному изменению характеристик грунтов;
- положение уровня подземных вод;
- наличие зон просадочных, набухающих и засоленных грунтов и грунтов с примесью органических веществ;
- наличие в скальных грунтах зон разной степени выветрелости и разгрузки;
- наличие в элювиальных грунтах зон разной степени выветрелости;
- наличие зон грунтов разной консистенции;
- наличие в вечномёрзлых грунтах зон разной степени льдистости и цементации льда.

4.7. Выделение РГЭ проводят на основе выделенных при инженерно-геологической схематизации ИГЭ применительно к конкретному методу расчета объекта (экспериментального метода) с наделением его конкретными характеристиками, необходимыми для возможности использования этого метода. При этом РГЭ в общем случае могут не совпадать с ИГЭ по одному или нескольким показателям (по форме, размерам, местоположению, характеристикам и их значениям).

В РГЭ могут быть также объединены два соседних ИГЭ, представленных грунтами разного происхождения, но одного вида, если выполняются требования приложения Б.

4.8. При выделении РГЭ, в пределах которых значения характеристик принимаются закономерно (не скачкообразно) изменявшимися по направлению (например, по глубине) оценку этой изменчивости производят с использованием положений 1 и 2 приложения Д, а критерием возможности выделения РГЭ является условие (1), в котором коэффициент вариации вычисляется по формуле (Д.3) приложения Д. Если условие (1) не выполняется, то проводят разделение РГЭ так, чтобы выполнялось условие (1).

5. Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов, представленных одной величиной

5.1. Определение нормативных X_n и расчетных X значений характеристик грунтов для ИГЭ и РГЭ в случае принятия для последнего постоянных значений X_n и X следует проводить в соответствии с 5.2–5.7. Для РГЭ при закономерном изменении характеристик по направлению (чаще всего по глубине) их нормативные и расчетные значения следует определять в соответствии с 5.8.

5.2. Нормативное значение X_n всех физических (влажности, плотности, пластичности и т. п.) и механических характеристик грунтов (модуля деформации, предела прочности на одноосное сжатие, относительных просадочности и набухания и т. п.) принимают равным среднеарифметическому значению $\bar{X}$ и вычисляют по формуле

$$X_n = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2)$$

где n – число определений характеристики;

X_i – частные значения характеристики, получаемые по результатам отдельных i -х опытов.

Примечание – Для физических характеристик грунтов, вычисляемых по формулам (коэффициент пористости, число пластичности и др.) в зависимости от величин, определяемых опытным путем, и для компрессионного модуля деформации (приложение В) их нормативные

значения могут быть установлены исходя из нормативных значений измеренных в опытах величин.

5.3. Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок, оставшихся после анализа опытных данных в соответствии с 4.1. Исключают то частичное (максимальное или минимальное) значение X_i , для которого выполняется условие

$$|X_n - X_i| > vS, \quad (3)$$

где v – статистический критерий, принимаемый в зависимости от числа определений n характеристики по таблице Ж.1 приложения Ж;

S – среднеквадратическое отклонение характеристики, вычисляемое по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - X_i)^2} \quad (4)$$

Если какое-либо значение характеристики исключено, следует для оставшихся опытных данных заново вычислить X_n по формуле (2) и S по формуле (4).

5.4. Вычисляют коэффициент вариации V характеристики и показатель точности ее среднего значения ρ_α по формулам:

$$V = \frac{S}{X_n}, \quad (5)$$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где t_α – коэффициент, принимаемый по таблице Ж.2 приложения Ж в зависимости от заданной односторонней доверительной вероятности α и числа степеней свободы $K = n - 1$.

5.5. Вычисляют коэффициент надежности по грунту γ_g по формуле

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha}. \quad (7)$$

Примечание – Знак перед величиной ρ_α принимают таким, чтобы обеспечивалась большая надежность основания или сооружения.

5.6. Вычисляют расчетное значение X характеристики грунта по формуле

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}. \quad (8)$$

Примечание – В формулах (6)–(8) вместо α , а также в качестве индекса для X могут быть указаны значения доверительной вероятности

сти.

5.7. Если коэффициент вариации V характеристики (5.4) превышает 0,4, ее нормативное и расчетное значение может быть вычислено с использованием логарифмически нормального закона распределения по приложению Г.

5.8. При закономерном изменении характеристики по направлению (например, по глубине h) ее нормативные $X_n(h)$ и расчетные $X(h)$ значения могут быть вычислены в пределах РГЭ по приложению Д. При этом при определении подлежащих исключению из выборки частных значений X_i (5.3) необходимо в формуле (3) заменить X_n на $X_n(h)$, а S вычислить по формуле (Д.2) приложения Д.

6. Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления грунтов

6.1. Нормативные и расчетные значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c по результатам опытов на одноплоскостной срез вычисляют путем статистической обработки частных значений $\operatorname{tg}\varphi_i$ и c_i (6.2–6.5) или путем статистической обработки всех пар опытных значений сопротивления срезу τ_i и нормального напряжения σ_i как единой совокупности (6.6–6.12). Второй из указанных способов должен использоваться согласно соответствующим нормам проектирования для систем, включающих гидротехнические и (или) энергетические сооружения.

Примечания.

1. Число определений частных значений $\operatorname{tg}\varphi_i$ и c_i в первом способе и число определений пар τ_i и σ_i во втором способе должно быть не менее шести.

2. Методика статистической обработки результатов испытаний грунтов при трехосном сжатии приведена в приложении Е.

6.2. При статистической обработке частных значений $\operatorname{tg}\varphi_i$ и c_i для каждой i -й точки испытания грунта в пределах ИГЭ вычисляют по методу наименьших квадратов частные значения $\operatorname{tg}\varphi_i$ и c_i по результатам не менее трех определений сопротивления грунта срезу τ_i при различных значениях нормального напряжения σ_i в пределах одинакового диапазона σ_i :

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{k \sum_{i=1}^k \tau_i \sigma_i \quad \sum_{i=1}^k \tau_i \sum_{i=1}^k \sigma_i}{k \sum_{i=1}^k (\sigma_i)^2 \quad \sum_{i=1}^k \sigma_i}^2, \quad (9)$$

$$c_i = \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^k \tau_i - \operatorname{tg} \varphi_j \sum_{i=1}^k \sigma_i \right), \quad (10)$$

где k – число определений τ в каждой точке ИГЭ.

Если при вычислении по формуле (10) получается $c_j < 0$, то принимают $c_j = 0$, а $\operatorname{tg} \varphi_j$ вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_j = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}. \quad (11)$$

6.3. По найденным значениям $\operatorname{tg} \varphi_j$ и c_j вычисляют нормативные значения $\operatorname{tg} \varphi_n$ и c_n по формуле (2) и среднеквадратические отклонения $S_{\operatorname{tg} \varphi}$ и S_c по формуле (4).

6.4. Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях $\operatorname{tg} \varphi_j$ и c_j в соответствии с 5.3. Пару значений $\operatorname{tg} \varphi_j$ и c_j исключают, если хотя бы для одного из них выполняется условие (3). При этом для оставшихся опытных данных следует заново вычислить значения $\operatorname{tg} \varphi_n$, c_n , $S_{\operatorname{tg} \varphi}$ и S_c .

6.5. Вычисляют для $\operatorname{tg} \varphi$ и c коэффициент вариации V , показатель точности ρ_α , коэффициент надежности по грунту γ_g и их расчетные значения по формулам (5)–(8).

Примечание – Если по формуле (6) для $\operatorname{tg} \varphi$ или c получится $\rho_\alpha > 1$, расчетное значение этой характеристики следует принять равным нулю.

6.6. При статистической обработке всех n пар опытных значений τ_i и σ_i как единой совокупности нормативные значения $\operatorname{tg} \varphi_n$ и c_n вычисляют по формулам (9) и (10), в которых значения $\operatorname{tg} \varphi_j$, c_j и k необходимо заменить на $\operatorname{tg} \varphi_n$, c_n и n соответственно.

Если при этом получится $c_n < 0$, то принимают $c_n = 0$, а $\operatorname{tg} \varphi_n$ вычисляют вновь по формуле (11), в которой необходимо заменить $\operatorname{tg} \varphi_j$ и k на $\operatorname{tg} \varphi_n$ и n соответственно.

6.7. Вычисляют среднеквадратическое отклонение сопротивления срезу S_τ по формуле

$$S_\tau = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \left(\tau_i \operatorname{tg} \varphi_n + c_n - \tau_i \right)^2}. \quad (12)$$

Примечание – В формуле (12) следует заменить $n-2$ на $n-1$, если по 6.6 принято $c_n = 0$, а $\operatorname{tg} \varphi_n$ вычислен по формуле (11).

6.8. Выполняют статистическую проверку для исключения возможных ошибок в значениях τ_i в соответствии с 5.3.

Исключают наиболее отклоняющееся от нормативной зависимости $\tau_n = c_n + \sigma \operatorname{tg} \varphi_n$ значение τ_i для которого выполняется условие (3). При этом в условие (3) следует подставить вместо X_i проверяемое значение τ_i вместо X_n – соответствующее τ_i значение τ_n и вместо S – значение S_τ из (12).

Если какое-либо значение τ_i – будет исключено, следует заново вычислить значения $\operatorname{tg} \varphi_n$, c_n и S_τ по оставшимся опытным данным.

6.9. Расчетные значения $\operatorname{tg} \varphi$ и c вычисляют с учетом заданного диапазона нормальных напряжений $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, который принимается по указаниям норм проектирования различных видов сооружений. При отсутствии таких указаний следует принимать $\sigma_{\min}$ и $\sigma_{\max}$ равными минимальному и максимальному нормальным напряжениям, имевшим место при испытании грунта на срез.

Вычисляемые значения $\operatorname{tg} \varphi$ и c должны сопровождаться сведениями о принятом диапазоне нормальных напряжений.

6.10. Нормативные значения сопротивления грунта срезу τ'_n , τ''_n вычисляют по формуле (13) и значения полудлин совместных доверительных интервалов δ'_τ и δ''_τ по формуле (14) при значениях нормального напряжения $\sigma = \sigma_{\min}$ и $\sigma = \sigma_{\max}$:

$$\tau_n = c_n + \sigma \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (13)$$

$$\delta_\tau = \frac{V_{\alpha, \lambda} S_\tau}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{n(\bar{\sigma} - \bar{\sigma})^2}{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}}, \quad (14)$$

где $V_{\alpha, \lambda}$ – коэффициент, принимаемый по таблице Ж.3 приложения Ж в зависимости от заданной односторонней доверительной вероятности α , параметра λ , вычисляемого по формуле (16), и числа степеней свободы $K = n - 2$;

σ_i – опытные значения нормального напряжения;

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i. \quad (15)$$

6.11. Параметр λ , учитывающий значения диапазона $[\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ вычисляют по формуле

$$\lambda = \sqrt{0,5 \left[1 - \frac{1 + nGD}{\sqrt{(+nG^2)(+nD^2)}} \right]}, \quad (16)$$

$$\text{где } G = \frac{\sigma_{\min} - \bar{\sigma}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}}, \quad (17)$$

$$D = \frac{\sigma_{\max} - \bar{\sigma}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}}. \quad (18)$$

6.12. Вычисляют расчетные значения сопротивления срезу τ' и τ'' по формуле (19) при нормальных напряжениях $\sigma = \sigma_{\min}$ и $\sigma = \sigma_{\max}$, коэффициенты надежности по грунту $\gamma_{g, \text{tg}\phi}$ и $\gamma_{g, c}$ для $\text{tg}\phi$ и c по формуле (20) и расчетные значения $\text{tg}\phi$ и c по формуле (8):

$$\tau = \tau_n - \delta_\tau, \quad (19)$$

$$\gamma_{g, \text{tg}\phi} = \gamma_{g, c} = \frac{\tau'_n + \tau''_n}{\tau' + \tau''}. \quad (20)$$

Если $\frac{\tau'}{\sigma_{\min}} < \frac{\tau''}{\sigma_{\max}}$, то вместо формулы (20) следует использовать формулу (21)

$$\gamma_{g, \text{tg}\phi} = \gamma_{g, c} = \frac{(\tau'_n + \tau''_n) \sigma_{\max}}{\tau'' (\sigma_{\min} + \sigma_{\max})}. \quad (21)$$

Приложение А (рекомендуемое)

Вычисление сравнительного коэффициента вариации

Сравнительный коэффициент вариации V_c вычисляют по формуле

$$V_c = \frac{S}{X_n - X_{\min}}, \quad (\text{A.1})$$

где X_n и S – то же, что и в формулах (2) и (4);

$X_{\min}$ – наименьшее значение в выборке опытных данных X_i после статической проверки на исключение ошибок (5.3).

Приложение Б (рекомендуемое)

Проверка необходимости дополнительного разделения ИГЭ и возможности объединения двух ИГЭ в РГЭ

1. Для проверки необходимости дополнительного разделения предварительно выделенного ИГЭ на два новых элемента вычисляют

значение критерия t по формуле

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (\text{Б.1})$$

где $\bar{X}_1$ и $\bar{X}_2$ – среднеарифметические значения характеристики в двух новых ИГЭ;

S_1 и S_2 – соответствующие им среднеквадратические отклонения;

n_1 и n_2 – число определений характеристики в каждом новом элементе.

2. Для проверки возможности объединения двух ИГЭ в один РГЭ вычисляют значения критериев F и t по формулам (Б.2) и (Б.1)

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (\text{Б.2})$$

3. Дополнительное разделение ИГЭ необходимо, если $t \geq t_\alpha$.

Два ИГЭ объединяют в один РГЭ, если одновременно выполняются условия $F < F_\alpha$ и $t < t_\alpha$.

Значение t_α принимают по таблице Ж.2 приложения Ж при двусторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ для числа степеней свободы $K = n_1 + n_2 - 2$.

Значение F_α принимают по таблице Ж.4 приложения Ж при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ для числа степеней свободы $K_1 = n_1 - 1$ и $K_2 = n_2 - 1$.

Приложение В (рекомендуемое)

Вычисление нормативного и расчетного значений модуля деформации с использованием аналитической аппроксимации компрессионной кривой

1. Компрессионные зависимости относительной деформации ε образцов грунта (коэффициента пористости) от нормального напряжения σ , полученные в пределах окончательно выделенного ИГЭ, обрабатываются вместе путем аппроксимации той или иной аналитической зависимостью (логарифмической, гиперболической и другими подходящими нелинейными зависимостями). При этом нелинейную зависимость необходимо предварительно линеаризовать путем замены переменных.

Примечание – Аппроксимация может быть произведена для участка компрессионной кривой в заданном диапазоне нормальных напряжений σ .

2. При использовании, например, логарифмической зависимости типа

$$\varepsilon = a_0 + a_1 \ln \sigma, \quad (\text{B.1})$$

входящие в нее параметры a_0 и a_1 вычисляют по формулам (9) и (10), в которых необходимо заменить $\operatorname{tg} \varphi_j$, c_j , τ_i , σ_i и k на a_1 , a_0 , ε_i , $\ln \sigma_i$ и n соответственно, где n – общее число определений ε_i по всем компрессионным кривым в данном ИГЭ.

3. Для найденной нормативной зависимости (B.1) и заданного диапазона напряжений $[\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ вычисляют по формулам механики грунтов нормативные значения коэффициента сжимаемости и модуля деформации.

4. Расчетные значения модуля деформации вычисляют по формуле (8), при этом коэффициент γ_g устанавливают так же, как указано в 6.10–6.12, используя формулы (13)–(21). В этих формулах необходимо заменить τ'_n , τ''_n , δ_v , S_v , σ , $\bar{\sigma}$, σ_i , $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, τ' , τ'' , и $\gamma_{g, \operatorname{tg} \varphi}$ на ε'_n , ε''_n , δ_ε , S_ε , $\ln \sigma$, $\ln \bar{\sigma}$, $\ln \sigma_i$, $\ln \sigma_{\min}$, $\ln \sigma_{\max}$, ε' , ε'' , $\gamma_{g, \varepsilon}$ соответственно.

Приложение Г (рекомендуемое)

Вычисление нормативных и расчетных значений характеристик грунтов с использованием логарифмически нормального закона распределения

1. Для всех значений опытных данных находят по таблицам их десятичный логарифм $\lg X_i$. Если среди значений, преобразуемых логарифмированием, имеются значения между 0 и 1, то все данные рекомендуются умножить на 10 в соответствующей степени, чтобы все значения были больше 1 и не получалось отрицательных чисел. При этом полученное нормативное и расчетное значение характеристики (пункт 5) следует поделить на 10 в соответствующей степени.

2. Параметры $\bar{a}$ и S вычисляют по формулам:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg X_i, \quad (\text{Г.1})$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lg X_i - \bar{a})^2}. \quad (\text{Г.2})$$

3. Логарифм нормативного значения характеристики вычисляют по формуле

$$\lg X_n = \bar{a} + 1,151 S^2. \quad (\text{Г.3})$$

4. Вычисляют полудлину доверительного интервала Δ по формуле

$$\Delta = u_{\alpha} + \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 2,65S^2}, \quad (\Gamma.4)$$

где u_{α} – значение, принимаемое по таблице Г.1 в зависимости от односторонней доверительной вероятности α .

Таблица Г.1

α	0,85	0,90	0,95	0,975	0,99
u	1,03	1,28	1,65	1,96	2,33

5. Логарифм расчетного значения X характеристики вычисляют по формуле

$$\lg X = \lg X_n \pm \Delta. \quad (\Gamma.5)$$

Значения X_n и X находят в результате операции антилогарифмирования.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Вычисление нормативного и расчетного значений характеристики при ее закономерном изменении с глубиной

1. При закономерном изменении характеристики X с глубиной h связь между X и h в пределах РГЭ аппроксимируют линейной или кусочно-линейной зависимостью

$$X(h) = ah + b, \quad (\Gamma.1)$$

где a и b – параметры линейной зависимости или отдельных участков кусочно-линейной зависимости.

Параметры a и b вычисляют по формулам (9) и (10), в которых значения $\text{tg}\varphi_j$, c_j , τ_i , σ_i и k необходимо заменить на a , b , X_i , h_i и n соответственно, где X_i – опытные значения характеристики в точках h_i , n – число определений X_i .

2. Нормативные значения $X_n(h)$ характеристики на различных глубинах h_i определяют по зависимости (Д.1), подставляя в нее значения h_i .

3. Вычисляют среднеквадратическое отклонение характеристики S_x и коэффициент вариации V по формулам (Д.2) и (Д.3):

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (\text{Д.2})$$

$$V = \frac{S_x}{\bar{X}}, \quad (\text{Д.3})$$

где $\bar{X}$ – среднеарифметическое из частных значений X_i .

4. Нормативные значения X'_n и X''_n характеристики вычисляют по формуле (Д.1) при значениях $h_{\min}$ и $h_{\max}$, соответствующих границам РГЭ в случае линейной зависимости или границам участков в случае кусочно-линейной зависимости.

5. Расчетные значения $X(h)$ характеристики вычисляют по формуле (8), при этом коэффициент γ_g устанавливают также, как указано в 6.10–6.12, используя формулы (14)–(21). В этих формулах необходимо заменить δ_τ , S_τ , σ , $\bar{\sigma}$, σ_i , $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, τ , τ_n , τ'_n , τ''_n , τ' , τ'' и δ_x , S_x , h , $\bar{h}$, h_i , $h_{\min}$, $h_{\max}$, X , X_n , X'_n , X''_n , X' , X'' соответственно.

Приложение Е (обязательное)

Вычисление нормативных и расчетных значений угла внутреннего трения и удельного сцепления по результатам испытаний грунтов при трехосном сжатии

1. При статистической обработке $\text{tg}\varphi$ и c (6.2–6.5) частные значения $\text{tg}\varphi_j$ и c_j вычисляют по формулам:

$$\text{tg } \varphi_i = \frac{N_i}{2\sqrt{N_i}}, \quad (\text{Е.1})$$

$$c_i = \frac{M_i}{2\sqrt{N_i}}, \quad (\text{Е.2})$$

где N_j и M_j – коэффициенты, вычисляемые по формулам (9) и (10) с заменой в них $\text{tg}\varphi_j$, c_j , τ_i и σ_i на N_j , M_j , $\sigma_{1,i}$ и $\sigma_{3,i}$, а σ_1 и σ_3 – главные напряжения при разрушении образца грунта.

Дальнейшую статистическую обработку проводят в соответствии с 6.3–6.5.

2. При статистической обработке всех n пар опытных значений $\sigma_{1,i}$ и $\sigma_{3,i}$ как единой совокупности (6.6–6.12) вычисляют:

- нормативные значения коэффициентов N и M по формулам (9)–(11), заменяя в них σ_i на $\sigma_{3,i}$ и τ_i на $\sigma_{1,i}$;
- нормативные значения $\text{tg}\varphi_n$ и c_n по формулам (Е.1) и (Е.2), за-

меняя в них $\operatorname{tg}\varphi_j$, c_j , N_j , и M_j на $\operatorname{tg}\varphi_n$, c_n , N и M соответственно;

– коэффициент надежности по грунту γ_g с использованием формул (12)–(21), заменяя в них τ'_n , τ''_n , δ'_τ , δ''_τ , $\operatorname{tg}\varphi_n$, $\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$, $\bar{\sigma}$, σ_i , τ_i , S_τ соответственно на $\sigma'_{1,n}$, $\sigma''_{1,n}$, $\delta'_{\sigma 1}$, $\delta''_{\sigma 1}$, M , N , $\sigma_{3,\min}$, $\sigma_{3,\max}$, σ_3 , $\sigma_{3,i}$, $\sigma_{1,i}$, $S_{\sigma 1}$;

– расчетные значения $\operatorname{tg}\varphi$ и c по формуле (8).

Приложение Ж (обязательное)

Статистические таблицы

Таблица Ж.1 – Значения критерия v при двусторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$

Число определений n	Значение критерия v	Число определений n	Значение критерия v	Число определений n	Значение критерия v
3	1,41	19	2,75	35	3,02
4	1,71	20	2,78	36	3,03
5	1,92	21	2,80	37	3,04
6	2,07	22	2,82	38	3,05
7	2,18	23	2,84	39	3,06
8	2,27	24	2,86	40	3,07
9	2,35	25	2,88	41	3,08
10	2,41	26	2,90	42	3,09
11	2,47	27	2,91	43	3,10
12	2,52	28	2,93	44	3,11
13	2,56	29	2,94	45	3,12
14	2,60	30	2,96	46	3,13
15	2,64	31	2,97	47	3,14
16	2,67	32	2,98	48	3,14
17	2,70	33	3,00	49	3,15
18	2,73	34	3,01	50	3,16

Таблица Ж.2 – Значения коэффициента t_α

Число степеней свободы К	Значения коэффициента t_α при односторонней доверительной вероятности α , равной					
	0,85 (0,70)	0,90 (0,80)	0,95 (0,90)	0,975 (0,95)	0,98 (0,96)	0,99 (0,98)
1	2	3	4	5	6	7
3	1,25	1,64	2,35	3,18	3,45	4,54
4	1,19	1,53	2,13	2,78	3,02	3,75
5	1,16	1,48	2,01	2,57	2,74	3,36
6	1,13	1,44	1,94	2,45	2,63	3,14
7	1,12	1,41	1,90	2,37	2,54	3,00
8	1,11	1,40	1,86	2,31	2,49	2,90
9	1,10	1,38	1,83	2,26	2,44	2,82
10	1,10	1,37	1,81	2,23	2,40	2,76
11	1,09	1,36	1,80	2,20	2,36	2,72
12	1,08	1,36	1,78	2,18	2,33	2,68
13	1,08	1,35	1,77	2,16	2,30	2,65
14	1,08	1,34	1,76	2,15	2,28	2,62
15	1,07	1,34	1,75	2,13	2,27	2,60
16	1,07	1,34	1,75	2,12	2,26	2,58
17	1,07	1,33	1,74	2,11	2,25	2,57
18	1,07	1,33	1,73	2,10	2,24	2,55
19	1,07	1,33	1,73	2,09	2,23	2,54
20	1,06	1,32	1,72	2,09	2,22	2,53
25	1,06	1,32	1,71	2,06	2,19	2,49
30	1,05	1,31	1,70	2,04	2,17	2,46
40	1,05	1,30	1,68	2,02	2,14	2,42
60	1,05	1,30	1,67	2,00	2,12	2,39

Примечание – В скобках приведены значения двусторонней доверительной вероятности α .

Таблица Ж.3 – Значения коэффициента V_α ($\alpha = 0,95$)

λ K	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	2,94	2,98	3,02	3,05	3,09	3,11	3,14	3,16	3,17	3,18	3,19
4	2,61	2,64	2,67	2,70	2,72	2,74	2,75	2,76	2,77	2,78	2,78
5	2,44	2,47	2,49	2,51	2,53	2,54	2,55	2,56	2,57	2,57	2,57
6	2,34	2,36	2,38	2,40	2,41	2,43	2,44	2,44	2,45	2,45	2,45
7	2,27	2,29	2,31	2,33	2,34	2,35	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
8	2,22	2,24	2,26	2,27	2,28	2,29	2,30	2,30	2,31	2,31	2,31
9	2,18	2,20	2,22	2,23	2,24	2,24	2,25	2,26	2,26	2,26	2,26
10	2,15	2,17	2,19	2,20	2,21	2,22	2,22	2,22	2,23	2,23	2,23
11	2,13	2,15	2,16	2,17	2,18	2,19	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
12	2,11	2,13	2,14	2,15	2,16	2,17	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
13	2,09	2,11	2,12	2,14	2,15	2,15	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
14	2,08	2,10	2,11	2,12	2,13	2,14	2,14	2,14	2,15	2,15	2,15
15	2,07	2,08	2,10	2,11	2,12	2,12	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
16	2,06	2,07	2,09	2,10	2,11	2,11	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12
17	2,05	2,06	2,08	2,09	2,10	2,10	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
18	2,04	2,06	2,07	2,08	2,09	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
19	2,03	2,05	2,06	2,07	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
20	2,03	2,04	2,06	2,07	2,08	2,08	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09
25	2,00	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
30	1,99	2,00	2,02	2,03	2,03	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
40	1,97	1,99	2,00	2,01	2,01	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
60	1,95	1,97	1,98	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Таблица Ж.4 – Значения критерия F_α при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$

K_1	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	30	40	60
K_2														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70	4,68	4,64	4,60	4,56	4,50	4,46	4,43
6	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,96	3,92	3,87	3,81	3,77	3,74
7	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,52	3,49	3,44	3,38	3,34	3,30
8	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31	3,28	3,23	3,20	3,15	3,08	3,05	3,01
9	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,02	2,98	2,93	2,86	2,82	2,79
10	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91	2,86	2,82	2,77	2,70	2,67	2,62
11	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,82	2,79	2,74	2,70	2,65	2,57	2,53	2,49
12	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72	2,69	2,64	2,60	2,54	2,46	2,42	2,38
13	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,63	2,60	2,55	2,51	2,46	2,38	2,34	2,30
14	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,56	2,53	2,48	2,44	2,39	2,31	2,27	2,22
15	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,51	2,48	2,43	2,39	2,33	2,25	2,21	2,16
16	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,45	2,42	2,37	2,33	2,28	2,20	2,16	2,11
17	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,45	2,41	2,38	2,33	2,29	2,23	2,15	2,11	2,06
18	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,29	2,25	2,19	2,11	2,07	2,02
19	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,34	2,31	2,26	2,21	2,15	2,07	2,02	1,98
20	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31	2,28	2,23	2,18	2,12	2,04	1,99	1,95
22	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,26	2,23	2,18	2,13	2,07	1,98	1,93	1,89
24	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,22	2,18	2,13	2,09	2,02	1,94	1,89	1,84
26	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15	2,10	2,05	1,99	1,90	1,85	1,80
28	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12	2,06	2,02	1,96	1,87	1,81	1,77
30	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09	2,04	1,99	1,93	1,84	1,79	1,74
40	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00	1,95	1,90	1,84	1,74	1,69	1,64
50	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,98	1,95	1,90	1,85	1,78	1,69	1,63	1,58
60	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,92	1,87	1,82	1,75	1,65	1,59	1,53
Примечание – K_1 и K_2 – число степеней свободы соответственно числителя и знаменателя.														

Ключевые слова: грунты, статистическая обработка результатов испытаний, инженерно-геологические изыскания, проектирование, строительство, инженерно-геологический элемент, нормативное значение характеристики грунта, расчетное значение характеристики грунта.