

Федеральное агентство по образованию
Тверской государственный технический университет
Кафедра «Автомобильные дороги, основания и фундаменты»

**Определение физико-механических свойств грунтов
при проектировании оснований зданий и сооружений.**

Пособие к лабораторным работам для студентов
специальностей ПГС, ГСХ, АДА, ПОТ

Тверь 2006

УДК 624.131 (076.5)
ББК 38.58

Пособие к лабораторным работам по курсу «Основания и фундаменты» соответствует программам по специальностям 290300 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения, 290500 «Городское строительство и хозяйство», 291000 «Автомобильные дороги и аэродромы», 320800 «Природное обустройство территорий».

В пособии представлено теоретическое обоснование необходимости получения расчетных характеристик грунтов, даны методы и приборы для их оценок, приведена методика статистической обработки результатов испытаний.

Пособие «Определение физико-механических свойств грунтов при проектировании оснований зданий и сооружений» обсуждено на заседании кафедры «Автомобильные дороги, основания и фундаменты» и рекомендовано к печати (протокол №4 от 6.02.2006г.).

Составители: В.А. Миронов, Н.Н. Галкин.

Предисловие

Надежность оснований и фундаментов зависит от правильной оценки инженерно-геологических условий площадки строительства, физико-механических свойств грунтов в основаниях сооружений и достоверности полученных характеристик по результатам опытов.

В пособии представлены как лабораторные, так и полевые методы оценки физико-механических характеристик грунтов.

Использование полевых методов исследования строительных свойств грунтов для оценки несущей способности грунтов и их устойчивости приобрело в последние годы все более широкое распространение. Это объясняется тем, что полевые методы исследования дают возможность: исследовать свойства таких грунтов, образцы которых невозможно отобрать для испытания в лаборатории; более полно оценить строительные свойства грунтов, образцы которых испытаны в лаборатории. Отметим, что лабораторные методы оценки физико-механических свойств грунтов носят «точечный» характер, в то время как при полевом методе исследований определяются их свойства во всем массиве грунта.

Пособие составлено на основе требований СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений», СНиП 11-105-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

При составлении пособия, описании конструкций приборов, методики проведения испытаний, обработке полученных результатов использованы нормативные документы: СП 11-105-97 «Инженерные изыскания для строительства», ГОСТ 30416-96 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения», ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация», ГОСТ 23001-90 «Грунты. Методы лабораторного определения плотности и влажности», ГОСТ 5180-84 «Грунты методы лабораторного определения физических характеристик», ГОСТ 20069-81 «Грунты. Методы полевого испытания статическим зондированием», ГОСТ 21719-80 «Грунты. Методы полевых испытаний на срез в скважинах и массивах». ГОСТ 23741-79 «Грунты. Методы полевых испытаний на срез в горных выработках», ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний», ГОСТ 22733-2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности».

При составлении пособия особое внимание уделялось требованиям ГОСТ 8.326-78 «ГСИ. Метрологическое обеспечение разработки, изготовления и эксплуатации нестандартных средств измерения. Основные положения».

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», а также представляет интерес для специалистов, занимающихся вопросами оценки несущей способности оснований и проектированием фундаментов промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Работа 1.

Определение сопротивления на сдвиг методом вращательного среза.

1. Теоретическая часть

Лабораторные методы исследования свойств грунтов не учитывают особенности макроструктуры, специфику его естественного строения и залегания, а также характер распределения в нем неоднородностей и включений.

Для глинистых грунтов текучей и мягкопластичной консистенции, торфяных и сапропелевых отложений, рыхлых песков из-за сложности, а в некоторых случаях невозможности отбора образцов ненарушенного сложения при бурении скважин испытания на сдвиг лопастными приборами являются практически единственным достоверным методом определения их прочностных свойств.

Погрешности лабораторных испытаний в значительной мере обусловлены нарушением естественной структуры и напряженного состояния образца при его извлечении из природной толщи грунта.

Поэтому результаты испытаний грунта могут быть использованы для прогнозирования несущей способности или осадки грунтовых оснований с определенным приближением.

В отличие от лабораторных, полевые методы изучения механических свойств грунтов дают более объективную информацию и создают необходимые предпосылки для вероятностной оценки исследуемых процессов и явлений.

Наиболее важными параметрами грунтов, определяемыми на месте, являются: угол внутреннего трения, сцепление и модуль деформации, которые позволяют дать полную инженерную оценку основанию с учетом его физических свойств.

Из применяемых в настоящее время в практике России и зарубежных стран методов оценки прочностных свойств грунтов наибольшее распространение получил вращательный срез. Впервые данный метод был предложен в Швеции под названием «Vane test» (лопастные испытания).

В практике инженерно-геологических исследований слабых грунтов в нашей стране широкое применение получили полевые сдвигомеры - крыльчатки СК-8 и СК-10 конструкции Л.С. Амаряна. Сдвигомер-крыльчатка служит для определения удельного сцепления C и сопротивления сдвигу τ слабых грунтов в естественном залегании путем установления максимального крутящего момента при вращении четырехлопастной крыльчатки, погруженной в массив грунта.

Сущность метода заключается в том, что в толщу грунта задавливаются, а затем поворачиваются четырехлопастная крыльчатка.

Сопротивление сдвигу τ грунта оценивается по величине крутящего момента и константы крыльчатки.

Крыльчатка СК-10 дает общее напряжение сдвигу без разделения на сцепление и внутреннее трение.

Для слабых грунтов в условиях естественного залегания внешнее давление, равное природному бытовому давлению, с достаточной для практических целей точностью может быть принято равным нулю, т. е. $\sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0$, следовательно, в этом случае зависимость Кулона примет вид $\tau \approx C$.

Цель работы - определение сопротивления сдвигу (удельного сцепления) грунтов в условиях естественного залегания.

2. Методика проведения работы:

2.1. Описание сдвигомера - крыльчатки СК-10.

Сдвигомер - крыльчатка СК-10 (рис 1.1.) состоит из четырехлопастной крыльчатки 1, которая крепится через переходник с зубчатым зацеплением 2 к наращиваемым штангам 3. Для измерения крутящего момента динамическая рукоятка 5 свободно насажена на бронзовую втулку 4, которая прикреплена к упору 6. Втулка 4 с упором 6 крепится к штангам вилкой 8. Упругая пластина 7 вставлена в пазы упора 6 на цилиндрический штифт. Деформация пластины 7 при повороте рукоятки с призмой 9 фиксируется индикатором часового типа 10, который неподвижен по отношению к упору 6.

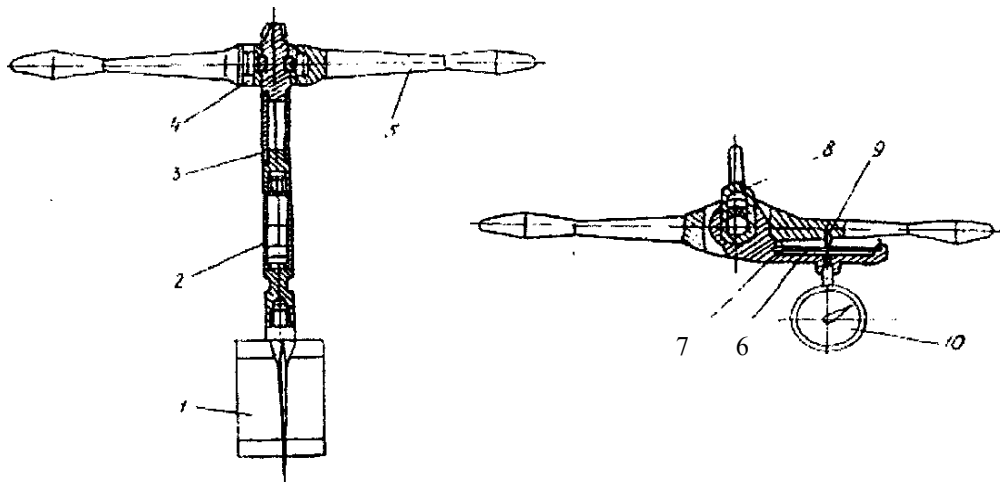


Рис. 1.1. Сдвигомер-крыльчатка СК-10.

2.2. Тарировка прибора.

Перед полевыми исследованиями проводится тарировка упругой пластины 7 измерительной головки различными степенями нагрузок. Строят тарировочный график зависимости деформации Δl_{cp} пластины от величины момента M (рис.1.2.).

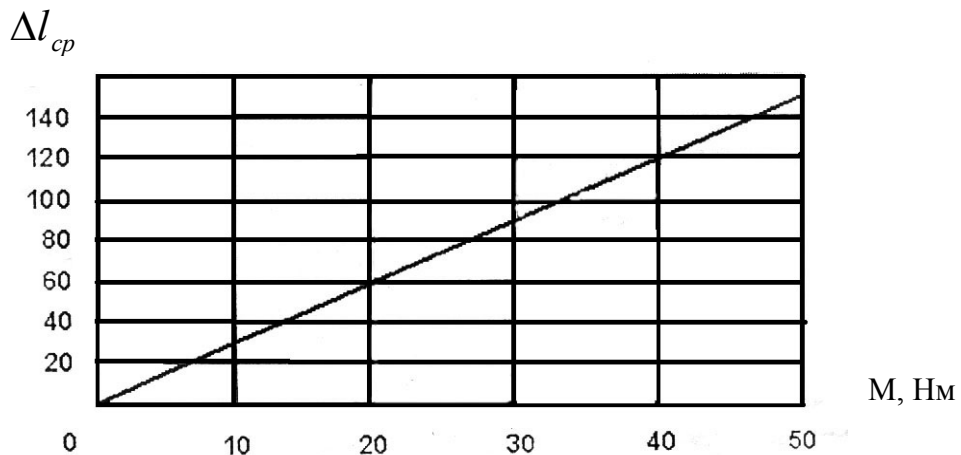


Рис 1.2. График зависимости M от Δl_{cp} .

Тарировку прибора СК-10 (сдвигомер-крыльчатка) проводят в следующей последовательности. Прибор СК-10 в собранном состоянии закрепляется в тис-

ках (закрепление через зажим штанги 3 в тисках) в горизонтальном положении так, чтобы призма 9 опиралась на пластину 7. К отверстию в ручке головки 5 крепится подвеска для грузов. Последовательно изменяя нагрузку на подвеске фиксируют показания индикатора 10 (деформацию упругой пружины). Последовательно увеличивая нагрузку на подвеске, получают данные для построения тарировочного графика зависимости деформации упругой пластины Δl от величины крутящего момента M . Величина момента определяется произведением величины приложенной нагрузки P на плечо L (расстояние от оси крутящей головки до места приложения нагрузки – $M=P \cdot L$). Расстояние от отверстия для подвески груза до центра вращения L составляет 0,2м. Данные тарировки заносят в табл.1.1.

Таблица 1.1. Тарировка прибора СК-10

Величина момента M , Нм	Показания индикатора			
	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_{cp}
10	30	29	28	29
20	63	59	61	61
30	94	92	90	92
40	119	121	115	118
50	147	149	151	149

Выполняют не менее трех испытаний и определяют среднее значение показания индикатора Δl_{cp} . Во всех случаях построение связи между крутящим моментом M и Δl_{cp} приводит к линейной зависимости.

Тангенс угла наклона прямой абсцисс, т.е. $n=\operatorname{tg}\alpha=\Delta l/M$ дает искомое значение постоянной упругой пластины n для данного прибора СК-10.

$$n=\operatorname{tg}\alpha=\Delta l/M=146/50 \cong 3,0 \text{ дел/Н}; \quad (1.1)$$

Тогда формула для расчета сопротивления грунта сдвигу будет иметь вид:

$$\tau = M / K = \Delta l / K \cdot n, \text{ Па (Н/м}^2\text{)}, \quad (1.2)$$

где Δl - показания индикатора, дел.индик.; n -постоянная упругой пластины; K -постоянная крыльчатки, м

Рекомендуется использовать крыльчатки диаметром d , равным 0,054 и 0,075м, высотой 0,10м.

Постоянную крыльчатки K определяют из выражения:

$$K = \frac{\pi d^2}{2} \cdot \left(\frac{d}{a} + h \right) = \frac{3,14 \cdot 0,054^2}{2} \cdot \left(\frac{0,54}{6} + 0,10 \right) \cong 0,000499 \cdot \text{м}^3 = 0,0005 \text{ м}^3, \quad (1.3)$$

где a - постоянный параметр, принимаемый равным 3 при сдвиге на дне скважины или поверхности грунта и 6 в его толщине; $h=0,10$ м - высота крыльчатки; $d=0,054$ м - диаметр крыльчатки.

2.3 Учет трения грунта о штанги.

При вращении прибора СК-10 происходит трение штанг по грунту, которое вносит погрешности в результаты испытания.

Влияние трения учитывается следующим образом. При задавливании крыльчатки до заданной глубины и после проведения вращательного среза при помощи рукояток прибор приподнимается вверх до щелчка. При этом происхо-

дит разъединение четырехлопастной крыльчатки и штанга в переходнике. В таком состоянии прибор снова поворачивают на полный оборот и снимают отсчет Δl_{cp} для учета трения.

Истинное значение τ с учетом трения определяют по формуле:

$$\tau = \frac{\Delta l - \Delta l_{тр}}{K \cdot n}, \text{ Па} \quad (1.4)$$

3. Порядок проведения испытания.

Прибор погружают на заданную глубину и поворачивают по часовой стрелке, записывая максимальный отсчет по индикатору 10 в табл.1.2. Делают не менее 9 параллельных измерений согласно ГОСТ 20522-96 «Грунты. Метод статистической обработки результатов испытаний». Подсчитывают значение сопротивления сдвигу (18 результатов) и заносят в табл.1.3.

Таблица 1.2. Отсчеты по индикатору при различной глубине погружения.

Глубина погружения h, м	Δl_{1-3}	Δl_{4-6}	Δl_{7-9}	Δl_{10-12}	Δl_{13-15}	Δl_{16-18}
0.20	77	51	74	65	58	68
	52	66	71	66	63	67
	48	56	58	51	60	55

Таблица 1.3. Значения сопротивления грунта сдвигу на глубине.

Глубина погружения h, м	Сопротивление грунта сдвигу, τ_i , кПа					
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18
0,20	51,436	34,068	49,432	43,420	38,744	45,42
	34,736	44,088	47,428	44,088	42,084	44,75
	32,064	37,408	38,744	34,068	40,080	36,74

Проводят статистическую обработку результатов измерений.

4. Статистическая обработка результатов испытаний.

Грунт по своей природе – тело неоднородное. Определение какой-либо характеристики по одному образцу дает только частное его значение, поэтому требуется многократное определение данной характеристики и статическая обработка результатов экспериментов. Методами математической статистики обрабатываются данные, полученные для каждого инженерно-геологического элемента (слоя), выделенного по цвету, виду и состоянию грунта или визуально.

Статистическая обработка проводится в соответствии с ГОСТ 20522-96 «Грунты. Метод статистической обработки результатов испытаний»:

а) Статистическую обработку опытных данных начинают с проверки на исключение грубых ошибок. Исключают максимальное или минимальное значение τ_i , для которого выполняется условие;

$$|\bar{\tau} - \tau_i| > \nu \cdot S_{dis} \quad (1.4)$$

где $\bar{\tau}$ - среднеарифметическое значение; ν - статистический критерий, величина которого зависит от количества определений n. Значение ν принимают по табл.1. приложения.

Вычисляют значения $\bar{\tau} - \tau_i$ и заносят в табл.1.4.

Таблица 1.4. Определение значений $|\bar{\tau} - \tau_i|$ и $(\bar{\tau} - \tau_i)^2$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ \bar{\tau} - \tau_i $	10,4	6,3	8,9	6,9	3,1	3,6	8,4	6,4	2,3
$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$	108,16	39,69	79,21	47,61	9,61	12,96	70,56	40,96	5,29
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$ \bar{\tau} - \tau_i $	2,4	3,1	6,9	2,3	1,1	0,9	4,4	3,8	4,3
$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$	5,76	9,61	47,61	5,29	1,21	0,81	19,36	14,44	18,49

S_{dis} - смещенная оценка среднеквадратического отклонения

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{\tau} - \tau_i)^2} = \sqrt{\frac{536,33}{18}} = 5,459 \text{ кПа}; \quad (1.5)$$

$\nu=2,73$ при $n=18$. Тогда $\nu S_{dis} = 14,90$, то есть грубых ошибок, исходя их условия (1.4), нет.

Нормативное (среднее арифметическое) значение $\bar{\tau}_n$ определяют по формуле:

$$\bar{\tau}_n = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i = \frac{738,0}{18} = 41,033 \text{ кПа} \quad (1.6)$$

б) среднее квадратическое отклонение равно:

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{\tau} - \tau_i)^2} = \sqrt{\frac{536,33}{17}} = 5,617 \text{ кПа} \quad (1.7)$$

в) коэффициент вариации составит:

$$V = \frac{S}{\bar{\tau}_n} = \frac{5,617}{41,033} = 0,137; \quad (1.9)$$

г) показатель точности среднего значения коэффициента вариации равен:

$$\rho_a = t_a \cdot \frac{V}{\sqrt{n}} = 1,74 \cdot \frac{0,137}{\sqrt{18}} = 0,0562; \quad (1.10)$$

где $t_a=1,74$ - коэффициент, принимаемый по ГОСТ 20522-96 в зависимости от заданной вероятности $\alpha=0,95$ и числа степеней свободы $(n-1)=17$; (приложение табл.2).

д) коэффициент надежности по грунту:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 - \rho_a} = \frac{1}{1 - 0,0562} = 1,06; \quad (1.11)$$

е) расчетное значение характеристики:

$$\tau = \frac{\bar{\tau}_n}{\gamma_g} = \frac{41,03}{1,06} = 38,71 \text{ кПа} \quad (1.12)$$

В результате статистической обработки результатов испытаний получено расчетное значение характеристики сдвига грунта.

Вывод: в ходе лабораторной работы было определено расчетное сопротивление грунта сдвигу в условиях природного залегания: $\tau = 38,71 \text{ кПа}$.

Вопросы для самопроверки.

1. Какие характеристики грунта определяются с помощью сдвигомера - крыльчатки?
2. Как оценить величину удельного сцепления с помощью сдвигомера - крыльчатки? Запишите закон Кулона для слабых грунтов.
3. Расскажите порядок и цель тарировки сдвигомера - крыльчатки СК-10.
4. Как учитывается трение грунта о штанги?
5. Что такое постоянная крыльчатки и от каких параметров зависит ее величина?
6. Опишите методику определения сопротивления грунта сдвигу с помощью сдвигомера - крыльчатки СК-10.
7. Обоснуйте необходимость статистической обработки характеристики прочности грунта.
8. Расскажите порядок статистической обработки опытных данных.

Работа 2.

Метод испытания грунтов статическим зондированием.

1. Теоретическая часть.

Согласно СП 11-105-97 «Инженерные изыскания для строительства» в состав инженерно-геологических изысканий входят полевые исследования грунтов, включая статическое зондирование.

Исследование грунтов статическим зондированием распространяется на песчаные и глинистые грунты с содержанием частиц крупнее 10мм не более 25% по массе. Для исследования физико-механических свойств торфяных грунтов была создана серия портативных полевых приборов, ярким представителем которых является пенетрометр П-5.

Статическое зондирование является одним из наиболее эффективных методов исследования грунтов в условиях их естественного залегания. Этот метод начали применять в Голландии. Благодаря возможности быстрого и экономического исследования грунтов метод статического зондирования нашел широкое применение во многих странах Европы, а также Австралии, Японии и США. В России статическое зондирование применялось с начала 60-х годов, когда при развернувшемся широкомасштабном строительстве появилась необходимость в достаточно надежном методе оценки несущей способности свай. Отметим, что развернувшееся строительство сооружений проводилось на ранее считавшихся непригодными грунтах, отбор ненарушенных образцов некоторых практически невозможен.

Статическое зондирование пенетрометром П-5 осуществляется задавливанием конусного наконечника в массив грунта (ГОСТ 20069-81).

Сопротивление грунта погружению конуса зонда определяется по формуле:

$$q_c = \frac{P}{A}, \text{ Па} \quad (2.1)$$

где P - усилие, затраченное на погружение конуса, Н; A -площадь поперечного сечения основания конусного наконечника, м^2 .

Прибор П-5 комплектуется 3 сменными наконечниками с площадью 10,20 и 40 см^2 (0,001, 0,002, 0004 м^2). Это позволяет использовать пенетрометр для исследования различных по плотности торфяных и других слабых грунтов.

По данным статического зондирования достоверно определяют практически все физико-механические характеристики грунтов.

1.1. Песчаные грунты:

- зависимость коэффициента пористости e от значения q_c песчаных грунтов:

$$e = 2,8\gamma h / e_{nq_c}, \quad (2.2)$$

где γ - удельный вес грунта, кН/м^3 , h - глубина погружения конуса, м;

- угол внутреннего трения φ и коэффициент трения $\text{tg}\varphi$ вычисляют:

$$\text{tg}\varphi = 0,4e; \quad \varphi = \arctg 0,4e; \quad (2.3)$$

значения угла внутреннего трения φ в зависимости от q_c приведены в таблице 3 приложения;

- плотность сложения песчаных грунтов определяют по таблице 4 приложения.

- модуль деформации песчаных грунтов E по данным статического зондирования определяют по зависимости:

$$E = 3q_c \quad (2.4)$$

В случае испытаний плотных и средней плотности влажных мелких песков аллювиального происхождения:

$$E = 3,4q_c + 13 \text{ МПа} \quad (2.5)$$

Значение модуля деформации песчаных грунтов согласно СП 11-105-97 «Инженерные изыскания для строительства» рекомендуется определять по таблице 5 приложения.

1.2. Пылевато-глинистые грунты:

- в глинах и суглинках аллювиального, флювиогляциального и гляциального (моренные) происхождения существует следующая корреляционная зависимость:

$$I_L = 0,65 - 0,13q_c, \quad (2.6)$$

где q_c - сопротивление погружению конуса, МПа; I_L - показатель текучести глинистого грунта.

В СП 11-105-97 приведены данные зависимости показателя текучести глинистых грунтов от трения грунта по боковой поверхности штанги f_i (таблица 6 приложения);

- трение грунта по боковой поверхности вычисляют:

$$f_i = \frac{\Delta l_{mp}}{A \cdot n}, \quad (2.7)$$

где Δl_{mp} - показания индикатора при погружении штанги, дел. индикатора; A - площадь конуса, м^2 ; n - постоянная характеристика пружины;

- значения модуля деформации для илистых грунтов определяют по зависимости:

$$E = 7q_c \quad (2.8)$$

Для четвертичных глин и суглинков приведенная зависимость будет иметь вид:

$$E = 7,8q_c + 2,0, \text{ МПа} \quad (2.9)$$

В таблице 7 приложения приведены данные нормативных значений модуля деформации E , удельного сцепления C и угла внутреннего трения φ в зависимости от значения q_c .

Цель работы – определение сопротивления грунта погружению конуса, оценка плотности сложения, модуля деформации, характеристик сдвига C и φ песчаных и глинистых грунтов.

2. Методика проведения работы.

2.1. Описание конструкций пенетromетра П-5.

Пенетрометр П-5 (рис. 2.1) состоит из конусного наконечника 1, который крепится через переходник 2 к наращиваемым штангам 3, унифицированными со штангами сдвигомера - крыльчатки СК-10. Динамометрическая рукоятка со-

стоит из упора 5, который крепится к штанге вилкой 4. Рукоятка 7 с направляющей втулкой 6 подвижна по отношению к упору 5 и может смещаться вертикально вниз. При нажатии рукояткой 7 вниз упругая пружина 10 деформируется. Величина ее деформации фиксируется индикатором часового типа 8, установленным с помощью гайки 9.

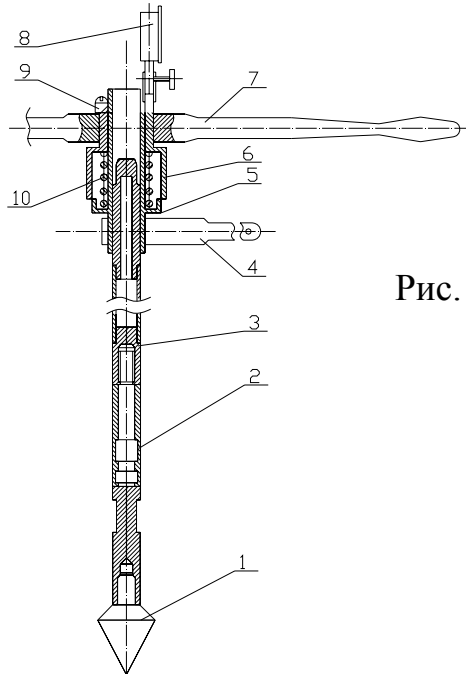


Рис. 2.1. Пенетромтр П-5.

2.2. Тарировка прибора

Перед началом работы необходимо произвести тарировку в лабораторных условиях. Головка прибора с рукояткой и с индикатором часового типа 8 крепится в тисках в вертикальном положении. К отверстиям в рукоятке 7 крепятся подвески для грузов. Последовательно увеличивая нагрузку на подвеске, получают данные для построения тарировочного графика зависимости характеристик упругих свойств пластинки от показаний индикатора.

Запись результатов сводят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1. Тарировка прибора

Ступени нагрузки, Н P	Показания индикатора			
	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_{cp}
20	61	61	58	60
30	92	90	88	90
40	123	119	118	120
50	149	150	151	150

По данным тарировки строят график зависимости деформации пружины Δl_{cp} от нагрузки P , аналогичный тарировочному графику для СК-10 (работа 1, рис.1.2). По оси ординат откладывают показания индикатора, а по оси абсцисс - нагрузку. Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс, т.е. отношение $\Delta l_{cp} / P = n$, есть значение постоянной характеристики пружины.

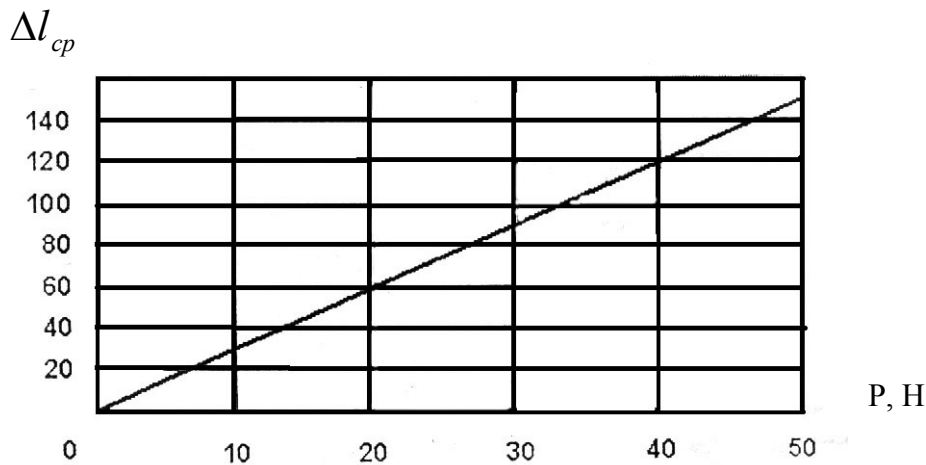


Рис. 2.2. График зависимости P от $\Delta l_{ср}$

Тогда сопротивление грунта погружению конуса равно:

$$q_c = \frac{P}{A} = \frac{\Delta l}{A \cdot n}, \text{ Па} \quad (2.10)$$

где Δl - показания индикатора, дел. индикатора; n - постоянная характеристика пружины, $n=3$; A - площадь конуса, $A=10 \text{ см}^2=10^{-3} \text{ м}^2$.

2.3. Учет трения грунта о штанги.

При погружении прибора в грунт происходит трение штанг о грунт, которое вносит погрешности в результаты испытаний. Влияние трения учитывается следующим образом. При задавливании пенетрометра до заданной глубины и записи показания индикатора Δl прибор резко поднимается вверх до щелчка примерно на 10 см. Конус остается при этом неподвижным. При опускании на свободном ходе (без задавливания конуса) снимают отсчет $\Delta l_{ср}$ учитывающий трение штанг. Истинное значение q_c с учетом трения штанг о грунт определяют по формуле:

$$q_c = \frac{\Delta l - l_{мп}}{A \cdot n} \cdot 10^{-3}, \text{ кПа} \quad (2.11)$$

2.4. Порядок проведения испытаний

Испытания выполняют на двух видах грунтов – слабом и песчаном или глинистом.

а) Прибор с закрепленной головкой и установленным индикатором задавливают в грунт на требуемую глубину.

б) На заданной глубине прибор плавно вдавливают в грунт до тех пор, пока стрелка индикатора не начнет резко отклоняться от среднего значения в ту или другую сторону.

в) Вдавливание прибора приостанавливают, записывают среднее значение показания индикатора (в пределах колебания стрелки на 20 делений). По делениям, нанесенным на стержне прибора, фиксируют глубину погружения.

г) Прибор резко поднимают вверх примерно на 10 см до щелчка и опускают на свободном ходе (без задавливания конуса) для снятия отсчета $\Delta l_{мп}$, учитывающего трение штанг о грунт.

д) Подобным же образом производится измерение последующих слоев на всю требуемую глубину. Опыт повторяется на каждой глубине 6 раз.

Определение q_c слабых грунтов проводится через 0,5 м по глубине 0,5 м по глубине залежи, песчаных или глинистых грунтов 0,2 и 0,4 метра.

3. Обработка результатов испытаний.

Результаты определений Δl , Δl_{mp} и q_c записывают в таблицы 2.2. и 2.3.

Таблица 2.2. Отсчеты по индикатору при различной глубине погружения

Глубина погружения h, м	Δl_{1-3}	Δl_{4-6}	Δl_{7-9}	Δl_{10-12}	Δl_{13-15}	Δl_{16-18}	Δl_{mp}
0,12	160	185	155	170	190	190	0
	185	180	195	200	205	180	0
	180	195	210	205	195	220	0

Таблица 2.3. Значения сопротивления грунта погружению конуса

Глубина погружения h, м	Сопротивление грунта погружению конуса, q_c , кПа					
	q_{1-3}	q_{4-6}	q_{7-9}	q_{10-12}	q_{13-15}	q_{15-18}
0,12	53,3	61,7	51,7	56,7	63,3	63,3
	61,7	60,0	65,0	66,7	68,3	60,0
	60,0	65,0	70,0	68,3	65,0	73,3

4. Статистическая обработка результатов испытаний.

Статистическая обработка проводится в соответствии с ГОСТ 20522-95 «Грунты. Метод статистической обработки результатов определений характеристик), аналогично статистической обработке в работе 1.

4.1. Исключаем грубые ошибки

$$|q_s - \overline{q_{ci}}| > \nu \cdot S_{dis}, \quad (2.12)$$

где q_s - среднее значение; ν - статистический критерий, величина которого зависит от количества определений n.

Смещенная оценка среднеквадратичного отклонения

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\overline{q} - \overline{q_{ci}})^2} = \sqrt{\frac{528,99}{18}} = 5,459 \text{ кПа} \quad (2.13)$$

при n=18 $\nu=2.73$. Тогда $S_{dis} \cdot \nu = 14.80$, то есть грубых ошибок, исходя из условия 2.12, нет.

Таблица 2.4. Определение $[q_c - q_{ci}]$ и $(q_c - q_{ci})^2$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$[q_c - q_{ci}]$	9,7	1,3	11,3	6,3	0,3	0,3	1,3	3,0	2,0
$(q_c - q_{ci})^2$	94,1	1,7	127,7	39,7	0,1	0,1	1,7	9,0	4,0
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$[q_c - q_{ci}]$	3,7	5,3	3,0	3,0	2,0	7,0	5,3	2,0	10,3
$(q_c - q_{ci})^2$	13,7	28,1	9,0	9,0	4,0	49,0	28,1	4,0	106,1

$$\sum [q_c - q_{ci}] = 77,1 \quad \sum (q_c - q_{ci})^2 = 528,99$$

4.2. Вычисляем нормативное (среднее арифметическое) значение

$$\overline{q_{cn}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{ci} = \frac{1133,3}{18} = 63,0 \text{ КПа} \quad (2.14)$$

4.3. Среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{q} - q_{ci})^2} = \sqrt{\frac{528,99}{17}} = 5,58 \text{ КПа} \quad (2.15)$$

4.4. Коэффициент вариации

$$V = \frac{S}{q_{cn}} = \frac{5,58}{63,0} = 0,09 \quad (9\%) \quad (2.16)$$

4.5. Показатель точности среднего значения коэффициента вариации

$$\rho_a = t_a \frac{V}{\sqrt{n}} = 1,74 \frac{0,09}{\sqrt{18}} = 0,04, \quad (2.17)$$

где $t_a = 1,74$ – коэффициент, принимаемый по ГОСТ 20522-96 в зависимости от заданной вероятности $\alpha=0,95$ и числа степеней свободы $(n-1)=17$;

4.6. Коэффициент надежности по грунту

$$\gamma_g = \frac{1}{1-\delta} = \frac{1}{1-0,04} = 1,04 \quad (2.18)$$

4.7. Расчетное значение характеристик

$$q_c = \frac{q_{cn}}{\gamma_g} = \frac{63,0}{1,04} = 60,58 \text{ кПа} \quad (2.19)$$

В результате статистической обработки результатов испытаний получаем расчетное значение характеристик сдвига грунта.

Вывод: в ходе лабораторной работы было определено сопротивление грунта погружению конуса в условиях природного залегания: $q_c = 60,58$ кПа, $E = 441$ кПа, $C = 18$ кПа, $\varphi = 16$ град.

Вопросы для самопроверки.

1. Изложите методику определения сопротивления грунта погружению конуса.
2. Как учитывается трение грунта о штангу при работе пенетрометром П-5?
3. Какие характеристики грунта определяются по величине сопротивления грунта погружению конуса?
4. Расскажите методику тарировки прибора П-5.

Работа 3

Комплексное исследование физико-механических свойств грунтов.

1. Теоретическая часть.

Комплексное изучение механических свойств грунтов в лабораторной практике целесообразно проводить в универсальном приборе СПП-1 (сдвиговой пенетрационный прибор). Используя различные сменные наконечники можно определять следующие параметры образца: модуль деформации, угол внутреннего трения, удельное сцепление, сопротивление сдвигу, сопротивление грунта погружению конуса, плотность сложения и др.

Подробное описание методов получения перечисленных характеристик по данным вращательного среза и статического зондирования приведена в работах 1 и 2. В настоящее время прибор СПП-1 благодаря универсальности и простоте конструктивного исполнения успешно используется в ТГТУ, исследовательских и проектных организациях для получения нормативных характеристик.

Цель работы – определение физико-механических свойств грунтов в лабораторных условиях с использованием стандартных методик полевых приборов СК-10 и П-5.

2. Методика проведения работы и обработка результатов экспериментов.

2.1. Описание прибора СПП-1.

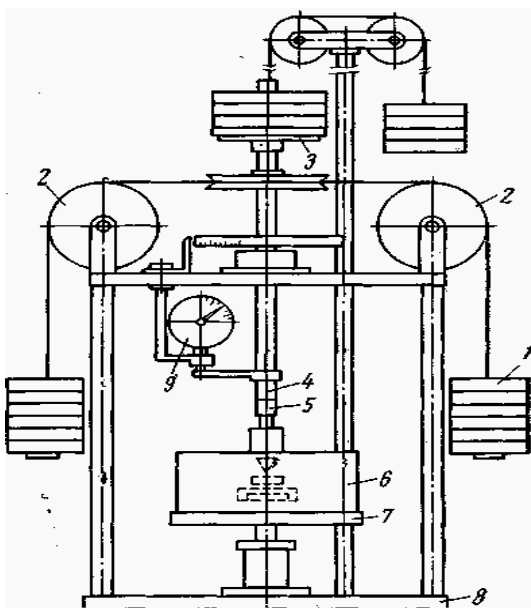


Рис. 3.1. Сдвиговой пенетрационный прибор СПП-1.

Прибор СПП-1 (рис. 3.1) состоит из нижней плиты 12, на которой установлена тарелка 11 с кольцом 10. Исследуемый образец помещается в кольцо 10, которое регулируется по высоте прибора. Рабочие наконечники в виде четырехлопастной крыльчатки 8, конуса 7, штампа 9 крепятся на переходнике 6, который в свою очередь закреплен на штоке 5. Вертикальное перемещение штока 5 производится под действием грузов, устанавливаемых на диске 3, а измерение хода штока осуществляется с помощью индикатора часового типа 4. Вращение штока 5 с рабочим наконечником происходит через ролики 2 под действием грузов 1, подвешенных на тросиках.

2.2. Определение предельного сопротивления сдвигу Θ , сопротивление грунта погружению конуса q_c и модуля деформации.

Для определения механических характеристик методом статического зондирования используется стандартный корпус 7. Корпус 7 опускают до соприкосновения острия с образцом, фиксируют стержень 5, устанавливают стрелку индикатора часового типа 4 в исходное положение, нагружают на диск

3, освобождают от зажима стержень 5. Показания индикатора 4 при быстрых испытаниях снимают по истечении 5 мин. Величины внешней нагрузки выбирают опытным путем, исходя из условий опыта и вида грунта. Обычно конус погружается в грунт до полной высоты (высота конической части конуса) при величине внешней нагрузке 120-180Н.

Предельное напряжение сдвигу определяют при погружении конуса на неполную высоту по формуле П.А. Ребиндера:

$$\Theta = K \cdot \frac{N}{h^2}, \quad (3.1)$$

где N – нагрузка, приложенная на шток конуса; h – глубина погружения конической части конуса в грунт, м; K – постоянная конуса, равная 0,959 и 0,214 для углов при вершине 30 и 60 градусов соответственно. Характеристики конусных наконечников в зависимости от углов при вершине приведены в таблице 8 приложения.

Сопротивление статическому зондированию грунта определяют при погружении конуса на полную высоту по формуле:

$$q_c = \frac{N}{A}, \quad (3.2)$$

где A – площадь основания конуса, м², равная $3,5 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} м при углах 30° и 60° при вершине конуса соответственно (таблица 8 приложения).

По сопротивлению грунта проникновению конуса q_c находят плотность сложения и угол внутреннего трения песчаных грунтов, удельное сцепление и угол внутреннего трения глинистых грунтов, модуль деформации (см. лабораторную работу №2).

Результаты измерений заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Результаты определений механических характеристик суглинка.

На- грузка на ко- нус N , кН	Глубина погруже- ния $h \cdot 10^2$, м	Пре- дельное напря- жение сдвигу Θ , кПа	Среднее значение Θ , кПа	Удельное сопро- тивление проникн. конуса q_c , кПа	Модуль деформа- ции $E = a q_c$, кПа	Характеристики сдвига	
						Удельное сцепление C , кПа	Угол внутрен- него тре- ния φ , град
0,04	0,950	94,8	88,32				
0,08	1,358	92,5					
0,10	1,558	88,2					
0,16	2,013	84,5					
0,20	2,295	81,3					
0,348	3,090	78,0	-	348	2436	18	16

Примечание. Использовали конус с углом при вершине 60°, $K=0,214$, $h=3,09 \cdot 10^{-2}$, $A=1 \cdot 10^{-3}$ м² (таблица 8 приложения).

2.3. Определение характеристик сдвига.

Сцепление грунта C определяется четырехлопастными крыльчатками с диаметром лопастей 25,3 мм и 43,0 мм.

Сопротивление сдвигу τ соответствует сцеплению C из-за отсутствия внешней нагрузки на образец:

$$C \approx \tau = \frac{M_{\max}}{\frac{\pi D^2}{2} \left(\frac{D}{6} + h \right)} = \frac{M_{\max}}{K}, \quad (3.3)$$

где D – диаметр крыльчатки по концам лопастей, $D_1 = 4,3 \cdot 10^{-2}$ м, $D_2 = 3,5 \cdot 10^{-2}$ м; h – высота крыльчатки, соответственно $h_1 = 3,8 \cdot 10^{-2}$ м, $h_2 = 2,8 \cdot 10^{-2}$ м; K – постоянная крыльчатки $K_1 = 38,76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, $K_2 = 24,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $M_{\max}$ – максимальный крутящий момент.

Величину крутящего момента находят из выражения:

$$M_{\max} = N \cdot d, \quad (3.4)$$

где N – вес груза на одной подвеске, Н; d – диаметр блока, м; $d=0,07$ м.

Сцепление или сопротивление сдвигу определяют на приборе СПП-1 следующим образом. Крыльчатый наконечник, закрепленный на стержне 5 погружают в грунт на полную высоту. Верхний торец крыльчатки должен совпадать с поверхностью грунта.

Крутящий момент создается при помощи грузов 1, подвешиваемых на тросики, через ролики 2. Эти тросики закреплены к одному блоку с двух сторон и при наличии грузов 1 создают пару сил, стремящуюся повернуть стержень 5 с крыльчаткой. Угол поворота устанавливают по специальному диску с нанесенными на него рисками. После погружения крыльчатки и заправки тросиков кладут с двух сторон грузики 1. Обычно интервал времени между приложением нагрузок выбирают таким образом, чтобы суммарное время, при котором наступает разрушение образца, превышало или равнялось 5 мин.

При наличии возможности определения сцепления грунта C при помощи вращательного среза угол внутреннего трения определяется по методике В.Г. Березанцева и В.Ф. Разоренова. Сущность этой методики заключается в следующем. Методом статического зондирования определяют θ , а методом вращательного среза – C .

Угловой коэффициент зависимости C и θ составляет:

$$K_{\phi} = \frac{C}{\theta} \quad (3.5)$$

Угловой коэффициент K_{ϕ} связан с углом внутреннего трения φ и определяется по таблице 3.2.

Таблица 3.2. Зависимость угла внутреннего трения от углового коэффициента

K_{ϕ}	0,87	0,78	0,70	0,60	0,48	0,30	0,27	0,16	0,06	0,00
φ_0	0	4	8	12	16	20	24	28	32	35

Промежуточные значения угла внутреннего трения получают методом интерполяции.

Результаты определений характеристик сдвига заносятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3. Результаты определения характеристик сдвига.

№ опыта	Пост. крыл. K_i	Нагрузка на блок $N, Н$	Крутящий момент $M_{max}, Н \cdot м$	Удельное сцепление $C = \tau, кПа$	Угловой коэфф. K_ϕ	Угол внутреннего трения $\phi, град$
1	$38,76 \cdot 10^{-3}$	21,57	1,51	38,36	0,44	15
2	$26,64 \cdot 10^{-3}$	15,86	1,11	41,51	0,47	16

3. Порядок проведения испытаний:

- рабочий конусный наконечник 7 закрепляют в переходнике 6 и перемещают до соприкосновения с поверхностью грунта;
- устанавливают индикатор часового типа на нулевое положение;
- нагружают диск 3 грузами и по глубине погружения конуса вычисляют предельное напряжение сдвига. При погружении конуса на полную высоту определяют сопротивлением грунта погружению конуса;
- по величине q_c рассчитывают модуль деформации, характеристики сдвига и плотность сложения песчаных грунтов;
- в переходник 6 устанавливают четырехлопастную крыльчатку 8;
- подвешивают грузы 1 на тросики и определяют максимальный крутящий момент;
- определяют сопротивление грунта сдвигу и рассчитывают угол внутреннего трения;

Вопросы для самопроверки.

1. По какой зависимости рассчитывают предельное напряжение сдвигу?
2. Как определяется угол внутреннего трения по методике Березанцева В.Г. и Разоренова В.Ф.
3. Характеристики грунта, определяемые на приборе СПП-1.
4. Преимущество и недостаток СПП-1 при оценке физико-механических свойств грунтов.

Работа 4.

Определение модуля деформации грунта плоским штампом.

1. Теоретическая часть.

Использование в России прогрессивного метода расчета оснований, сложенных несколькими грунтами, требует детального изучения сжимаемости грунтов под равномерно распределенной нагрузкой ограниченной площади.

Лабораторные методы исследования сжимаемости на образцах грунта, отобранных из скважин или шурфов не всегда могут ответить требованиям современного строительства. Так при строительстве высотных зданий и сооружений, сооружений с тяжелым технологическим оборудованием, в случае массовой застройки районов современными панельными зданиями, а также при строительстве на грунтах, отбор ненарушенных образцов которых практически невозможен, сжимаемость изучается полевыми методами, наиболее точными из которых являются штамповые испытания грунтов в скважинах и шурфах.

Основной зависимостью осадки круглого штампа S от величины площади загрузки круглого штампа (ωd) и действующего давления является зависимость получения по методу общих упругих деформаций (формула Ф. Шлейхера).

$$S = \frac{\rho \omega d \cdot (1 - \nu^2)}{E}, \quad (4.1)$$

где ρ - удельное давление на грунт; ω - коэффициент формы площади подошвы и площади фундамента (штампа); d - диаметр штампа; ν - коэффициент Пуассона; E - модуль деформации грунта.

Удельное давление на грунт для круглого штампа равно:

$$P = \frac{N}{A} = \frac{N \cdot 4}{\pi d^2}, \quad (4.2)$$

где N - нагрузка на штамп; A - площадь круглого штампа.

Учитывая, что для круглого штампа $\omega=0,79$, а $\pi=3,14$ и проведя необходимые преобразования получим:

$$S = \frac{N(1 - \nu^2)}{dE}, \quad (4.3)$$

Цель работы - определение модуля деформации грунта под действием внешней нагрузки.

2. Методика проведения экспериментов.

Для испытания применяют штампы диаметром 0,05 (5 см) и рабочей площадью A равной 19,64 и 7,07 см².

Испытания проводят на приборе СПП-1, описание которого приведено в работе 3.

Опыт проводится в следующей последовательности. На поверхность грунта устанавливают штамп 9, устанавливают индикатор и снимают начальный отсчет. После приложения каждой ступени нагрузки (не менее 5) и затухания деформации (приращение деформации за 1 мин. не более 0.01 мм) снимают показания индикатора. Результаты показаний заносят в таблицу. Строят график зависимости осадки S от нагрузки N (рис 4.1; 4.2).

Модуль деформации вычисляют на прямолинейном участке графика по формуле

$$E = \frac{N(1-\nu^2)}{S \cdot d}, \quad (4.4)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Величину коэффициента Пуассона принимают в зависимости от вида и состояния грунта равной: для глин и суглинков, твердых и полутвердых – $\nu=0,10\ldots 0,15$; тугопластичных – $\nu=0,20\ldots 0,25$; текучепластичных – $\nu=0,4\ldots 0,45$; для супесей (в зависимости от показателя текучести) $\nu=0,20\ldots 0,30$; для песков (в зависимости от гранулометрического состава) $\nu=0,20\ldots 0,25$.

3. Обработка результатов испытания.

Таблица 4.1. Результаты испытаний плоскими штампами

№ опыта (ступени)	Нагрузка на штамп N, кН	Показания индикатора δ , дел.	Осадка штампа $S \cdot 10^2$, м	Модуль деформации E, кПа
$A = 19.64 \text{ см}^2$				
1	0,02	25	25	1404
2	0,04	38	38	1847
3	0,06	49	49	2148
4	0,08	63	63	2229
5	0,10	72	72	2437
6	0,12	85	85	2477
$A = 7.07 \text{ см}^2$				
1	0,02	27	27	1300
2	0,04	39	39	1800
3	0,06	50	50	2106
4	0,08	65	65	2160
5	0,10	73	73	2404
6	0,12	86	86	2449

На границах зависимости осадки штампа от величины приложенной нагрузки, а также по таблице выделяют участки, где модуль деформации практически не изменяется по величине. Такой участок находится в диапазоне нагрузки на штамп 100-120 Н.

В данном диапазоне и находится истинное значение модуля деформации.

Вопросы для самопроверки.

1. Изложите методику определения модуля деформации с помощью плоских штампов.
2. Приведите зависимость для расчета модуля деформации с помощью круглого плоского штампа.

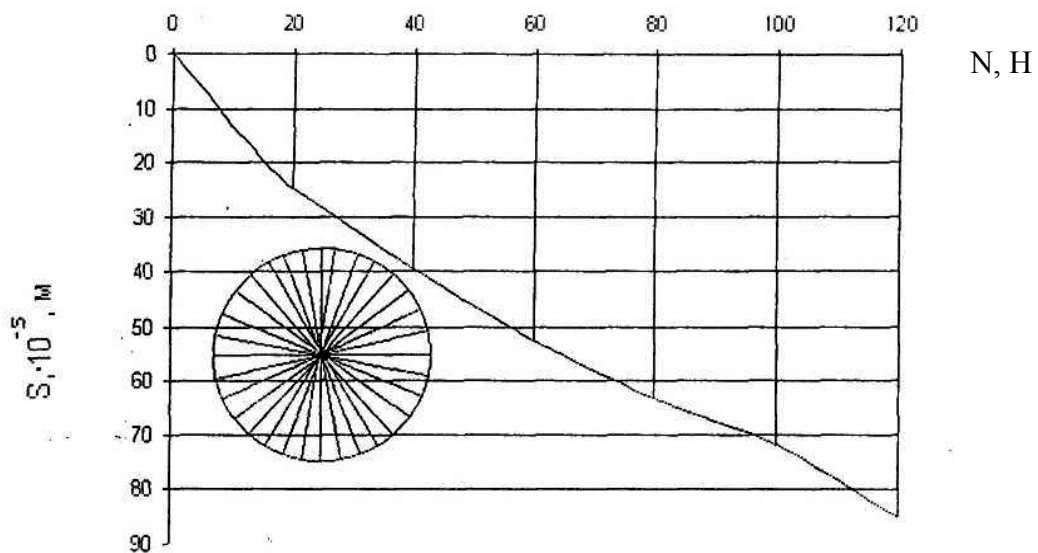


Рис. 4.1 Зависимость осадки от нагрузки при $A = 19.4 \text{ cm}^2$

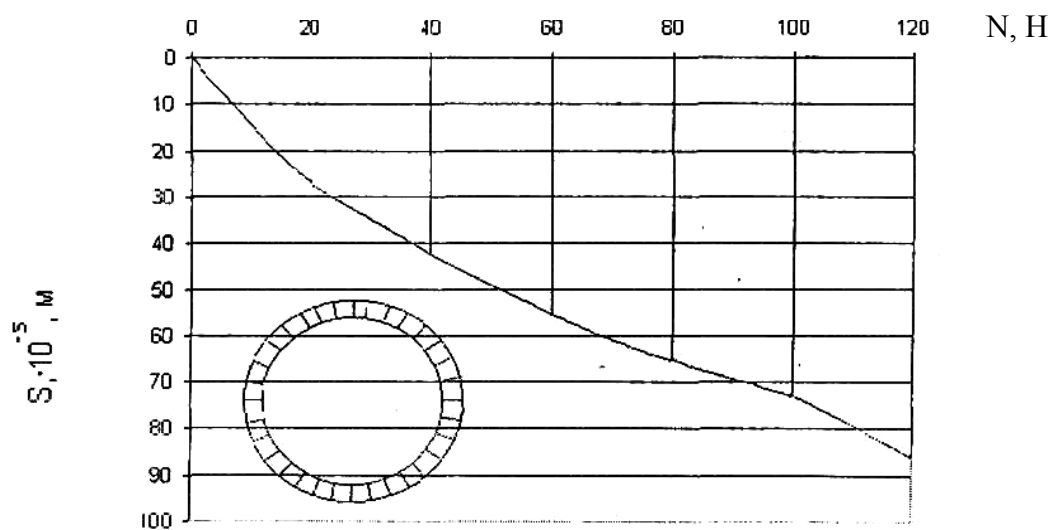


Рис. 4.2 Зависимость осадки от нагрузки при $A = 7.07 \text{ cm}^2$

Работа 5.

Метод испытания грунтов шариковым штампом.

1. Теоретическая часть.

Метод шарикового штампа предложенный Н.А. Цытовичем в 1947 году позволяет для дисперсных связанных грунтов и вязких пород (илистых, глинистых, лессовых., мерзлых и т.п.) весьма просто и удобно определять величину сил сцепления с учетом изменения их во времени. Определение прочности грунтов методом шарикового штампа, аналогично известной пробе Бриннеля, теоретически обосновано А.И. Ишлинским. Данный метод применяется как в лабораторных, так и в полевых условиях. Наибольшее распространение получил при оценке прочностных свойств мерзлых грунтов.

Сущность метода заключается во вдавливании шарикового штампа в грунт под постоянной нагрузкой. Проводится замер деформации грунта под шариковым штампом (осадка шарикового штампа) до полной стабилизации деформации. Причем, автоматически деформация прекратится, когда штамп придет в равновесие. Достигнутое при этом удельное давление и будет длительным сопротивлением грунта. Отметим, что метод шарикового штампа отличается простотой проведения эксперимента, что особенно важно для полевых условий испытаний. Другим достоинством является возможность оценки снижения прочности в процессе опыта и получения ее величины за любой отрезок времени. К недостатку данного метода следует отнести то обстоятельство, что прочность грунта определяется лишь в месте приложения нагрузки. Положение существенно улучшается, тогда испытывают образец в нескольких точках и определяют среднеарифметическое значение отдельных определений. Характерной особенностью испытания грунтов методом шарикового штампа является то, что при повторных опытах с одним и тем же образцом значительные расхождения результатов определения сил сцепления в разных точках образца наблюдаются в начале испытания в течение 5-10 минут для мерзлых минеральных грунтов и 30 минут для мерзлых торфяных грунтов. С течением времени расхождения постепенно сглаживаются и конечные результаты длительной прочности в большинстве случаев получаются одинаковыми. Поэтому метод точечных испытаний, несмотря на указанные недостатки, может с успехом применяться для определения длительной прочности грунтов особенно массивный текстуры с учетом их релаксационных свойств.

Условием прочности любого материала в данной точке, как известно, является достаточная сопротивляемость его сдвигу в этой точке. Поэтому сопротивление сдвигу грунтов является такой механической характеристикой, без знания которой не представляется возможным рассчитать ни предельное сопротивление грунтов в основании сооружений, ни прочность их в различного рода ограждающих конструкциях, ни устойчивость массивов грунтов при действии сдвигающих нагрузок. Величина сцепления в общем сопротивлении сдвигу мерзлых грунтов составляет значительную часть, поэтому необходимо при расчетах учитывать его значение.

Другой характеристикой прочностных свойств грунта, имеющей практическое значение для выбора расчетных давлений в основании сооружений,

оценки прочности грунтов при кратковременных нагрузках, является сопротивление грунта нормальному давлению.

Расчетные давления на мерзлые грунты рекомендуют оценивать по величине предельно длительного значения эквивалентного сцепления из испытаний грунта шариковым штампом. Величина эквивалентного сцепления является комплексной характеристикой связанных грунтов, учитывающих как их сцепление, так, в известной мере, и трение. В случае раздельного учета сцепления и их внутреннего трения в формулу для определения эквивалентного сцепления необходимо вводить множителем коэффициент M , величина которого зависит от угла внутреннего трения φ и составляет $M = 1$, при $\varphi = 5^\circ$; $M = 0,615$, при $\varphi = 10^\circ$; $M = 0,285$, при $\varphi = 20^\circ$.

Однако, введение этой поправки с выделением чистого сцепления и одновременно с учетом трения, определяемого отдельными опытами, значительно осложняет расчеты не внося в них существенных уточнений, особенно при углах внутреннего трения меньше 20° . Поэтому данное уточнение и не получило в настоящее время широкого применения. На основании изложенного величину сцепления, определяемого по методу шариковой пробы, следует считать эквивалентным сцеплением.

Значение нормативного сопротивления грунта нормальному давлению R'' по данным испытаний образцов шариковым штампом определяют по формуле:

$$R'' = 5,7C_\varphi + \gamma^e h, \quad (5.1)$$

где $\gamma^e h$ - пригрузка, величина которой зависит от удельного веса грунта γ^e и мощности грунта h .

Значение эквивалентного сцепления для каждого момента времени определяется по величине погружения в грунт шарикового штампа при действии постоянной нагрузки N рассчитывают по формуле:

$$C_\varphi = 0,18 \frac{N}{\pi D S_{(t)}}, \quad (5.2)$$

где N - усилие передаваемое на штамп, кН; D - диаметр шарикового штампа ($D = 2,2 \text{ см} = 0,022 \text{ м}$); $S_{(t)}$ - деформация грунта под штампом, м., $\pi D S_t$ - площадь отпечатка штампа.

Для того чтобы имела место инвариантность опытов, должно существовать следующее соотношение между стабилизированной осадкой и диаметром шарикового штампа:

$$0,01 < \frac{S}{D} < 0,1, \quad (5.3)$$

При очень малых нагрузках и значениях $S/D < 0,01$ существенное влияние на осадку будут оказывать упругие деформации мерзлого грунта, а при больших нагрузках и значениях $S/D > 0,1$ формула для определения площади отпечатка штампа становится весьма приближенной.

Снижение прочности грунта во времени описывается зависимостью предложенной С.С. Вяловым:

$$C_\varphi = \beta / (\ln t / B), \quad (5.4)$$

где β (кПа), B (с) - параметры определяемые опытным путем; t - время действия нагрузки, с.

Цель работы - определение величины эквивалентного сцепления, построение кривой длительной прочности и определение параметров уравнения длительной прочности грунта.

2. Методика проведения работы.

2.1. Описание прибора.

Определение величины эквивалентного сцепления проводят на приборе Цытовича-Файнцммера (рис. 5.1.), состоящего из следующих основных частей: опорной плиты 1, являющейся основанием прибора; подставки 2 для испытуемого образца грунта 3, заключенного в обойму 4, консоли 5 с грузом 8 на подвеске 7 и контролгрузом 6; индикатора часового типа 9 для замера деформации грунта; подвижного стержня 10 с шариковым штампом 11 и стопорным винтом, направляющей стойки 12 на которой крепится консоль.

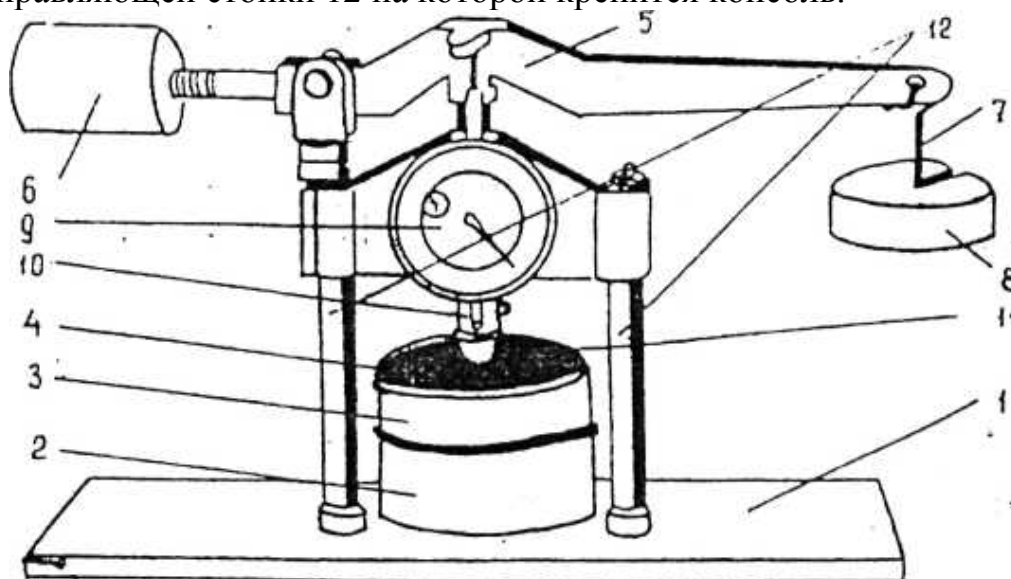


Рис 5.1. Прибор Цытовича-Файнцммера.

2.2. Порядок проведения испытания

Образец грунта с кольцом-пробоотборником устанавливают на подставку прибора. Опускают подвижной стержень с шариковым штампом до контакта с поверхностью образца и закрепляют стержень стопорным винтом.

Индикатор деформаций устанавливают в «нулевое положение», регистрируя начальный отсчет.

Загружают подвеску рычага грузами. Вес груза выбирают из условия:

$$0,005 < \frac{S_{15}}{D} < 0,05, \quad (5.5)$$

где S_{15} — осадка штампа за время $t = 15$ мин, D - диаметр штампа ($D = 0,022$ м).

Передают нагрузку на образец путем ослабления стопорного винта с одновременным включением секундомера. Результаты испытаний записывают в таблицу.

Таблица 5.1. Результаты определения величины эквивалентного сцепления.

Нагрузка на штамп P , кН	Время от начала загрузки, t	Показания индикатора, дел.	Осадка штампа S_t , мм	Сцепление грунта C_ε , кПа	$\frac{1}{C_\varepsilon}$ кПа ⁻¹	$\ln t$, С
0,022	10 с	542	5,42	10,57	0,095	2,30
	20 с	562	5,62	10,19	0,098	3,00
	30 с	571	5,71	10,04	0,100	3,40
	1 мин	596	5,96	9,61	0,104	4,09
	3 мин	635	6,35	9,02	0,111	5,19
	5 мин	642	6,42	8,93	0,112	5,70
	10 мин	651	6,51	8,80	0,114	6,40
	20 мин	673	6,73	8,51	0,117	7,09
	30 мин	676	6,76	8,48	0,118	7,50

3. Обработка результатов испытания.

Нагрузку на штамп N вычисляют по формуле:

$$N = m \cdot 4 \cdot g \text{ (H)} = 0,001 \cdot m \cdot 4 \cdot g \text{ (кН)} = 0,04 \cdot m = 0,04 \cdot 0,55 = 0,022 \text{ кН}, \quad (5.6)$$

где m - масса груза на подвеске рычага, кг; 4 - отношение плеч консоли; $g = 10 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести.

Определяют величину эквивалентного сцепления с точностью до 1 кПа:

$$C_\varepsilon = 0,18 \frac{P}{\pi D S_t} = 0,18 \frac{0,04m}{3,14 \cdot 0,022 \cdot S_t \cdot 10^{-3}} \approx 104 \frac{m}{S_t} \text{ кПа}, \quad (5.7)$$

в формуле (5.7) величина S_t в мм.

Снижение прочности грунта во времени рассчитывают по зависимости:

$$C_\varepsilon = \frac{\beta}{\ln\left(\frac{t}{B}\right)}. \quad (5.8)$$

Принимая $\frac{1}{\beta} = A$, $\ln(t) = X$, $-\frac{1}{\beta} \cdot \ln(t) = F$, $\frac{1}{C_\varepsilon} = y$, приводят уравнение к линейному виду:

$$y = A \cdot x + F \quad (5.9)$$

Параметры β и B определяют непосредственно из графика (рис. 5.2).

$$\beta = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{6,7 - 0}{0,115 - 0,085} = 223,3 \text{ кПа}; \quad (5.10)$$

$$F = -\frac{1}{\beta} \ln B = 0,085 \text{ кПа}^{-1};$$

тогда

$$B = e^{-\beta F} = 2,71^{-223,3 \cdot 0,085} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ С},$$

где e - основание натурального логарифма, равное 2,71.

Используя уравнение (5.8) вычисляют значение длительной прочности грунта (эквивалентного сцепления) за время действия нагрузки 50 лет и сравнивают с мгновенной прочностью грунта (время действия нагрузки 10 с). Строят график снижения прочности грунта во времени (рис 5.3).

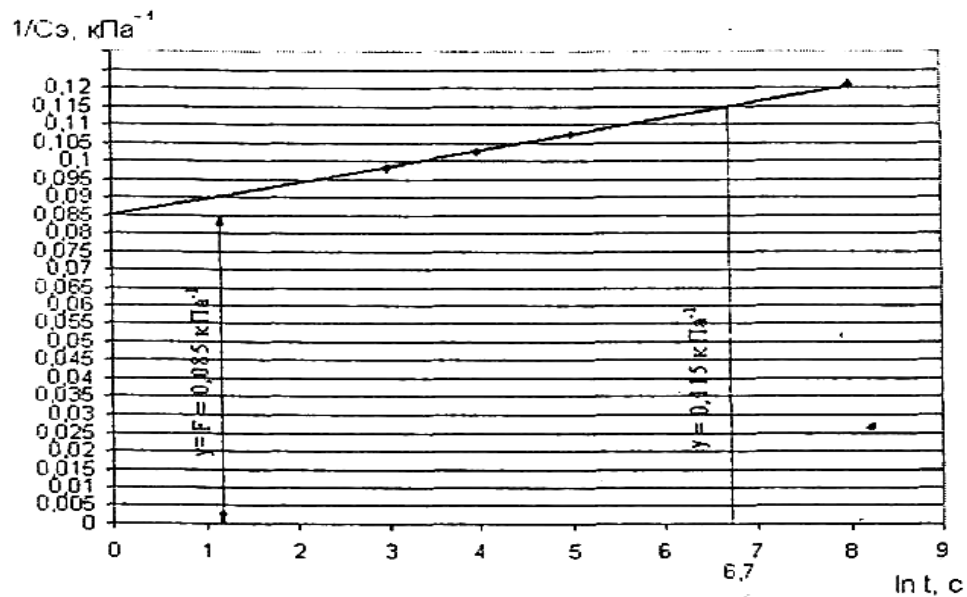


Рис 5.2. Кривая длительной прочности в полулогарифмических координатах

$$C_s^{50} = \frac{\beta}{\ln\left(\frac{t}{B}\right)} = \frac{223,3}{\ln\left(\frac{50 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{6 \cdot 10^{-9}}\right)} = 5,57 \text{ кПа} < C_s^{10c} = 10,57 \text{ кПа}$$

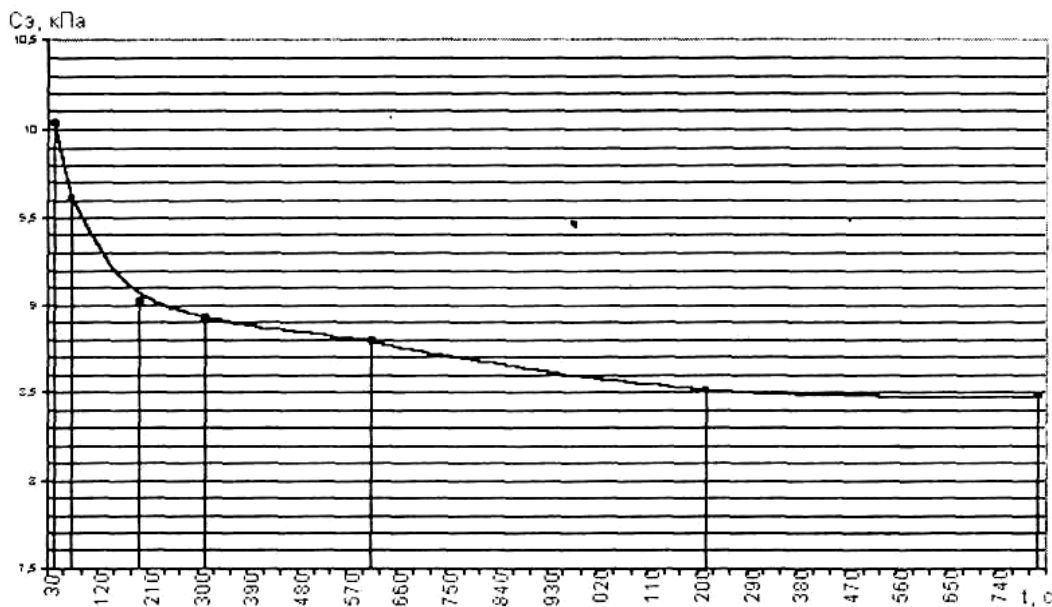


Рис 5.3 График снижения прочности грунта во времени

Вопросы для самопроверки.

1. Область применения метода шарикового штампа.
2. Сущность метода шарикового штампа.
3. Отметьте достоинства и недостатки метода шарикового штампа.
4. Что понимают под эквивалентным сопротивлением и как его рассчитывают?
5. Изложите методику испытания грунтов шариковым штампом.
6. Запишите уравнение кривой длительной прочности и методику определения параметров уравнения.

Работа 6.

Определение коэффициента вязкости грунта.

1. Теоретическая часть.

Ползучесть является одним из частых проявлений реологических свойств физических тел. Характерным признаком ползучести служит длительная слабо-затухающая или не затухающая во времени деформация тела под воздействием приложенной к телу нагрузки, не измененной по величине.

По своей природе глинистые грунты относятся к реологическим телам. Это их свойство находит свое выражение в медленной, длительно не затухающей деформации сколов и откосов, в большинстве случаев непосредственно не вызывающей бурного развития оползневых явлений, но часто к ним приводящих.

Отметим, что здания во многих случаях достаточно безболезненно воспринимают даже значительные деформации в вертикальной плоскости, в результате же неравномерной осадки оказываются весьма чувствительными даже к очень слабым оползневым деформациям.

Метод прогноза развития ползучести во времени основан на линейной зависимости скорости деформации ползучести к величине касательного напряжения сдвига τ (напряжение грунта сдвигу).

Согласно Ньютону скорость вязкого течения v для слоя мощностью h , с учетом закономерности Бингама – Шведова, имеет вид:

$$v = \frac{\tau}{\eta} h, \quad (6.1)$$

где η – коэффициент вязкости грунта.

Как видно для прогноза процесса ползучести и интенсивности во времени смещения сооружений необходимы данные по сопротивлению грунта сдвигу τ и величине коэффициента вязкости грунта η .

Величину коэффициента вязкости устанавливают методом «тяжелого шарика» разработанным З.М. Карауловой. При этом учитывается, что обтекание шарика грунтом происходит только в пределах половины поверхности.

Вязкость - это свойство жидкостей оказывать сопротивление при перемещении элементарных слоев по отношению друг к другу. Вязкость грунта характеризуется коэффициентом вязкости. Коэффициент вязкости пластичных грунтов определяется методом «тяжелого шарика». Коэффициент вязкости η вычисляется по формуле Стокса:

$$\eta = \frac{d}{9v} (\gamma_{\text{ш}} - 0,15\gamma), \text{ кПа} \quad (6.2)$$

где d - диаметр шарика, м; v - установившаяся скорость погружения шарика в грунт, м/с; $\gamma_{\text{ш}}$ - фиктивный удельный вес шарика, кН/м³; γ - удельный вес грунта, кН/м³.

Фиктивный удельный вес шарика определяется по выражению

$$\gamma_{\text{ш}} = \frac{6(P_{\text{ш}} + P)}{\pi d^3}, \quad (6.3)$$

где $P_{\text{ш}}$ - вес шарика, кН ($P_{\text{ш}} = 1 \cdot 10^{-3}$ кН); P - вес дополнительно прикладываемого груза.

Определение вязкости основано на наблюдении за скоростью погружения втопленного в грунт на половину своего диаметра шарика. Погружение осуществляется путем приложения к шарiku внешней нагрузки, что можно рассматривать как фиктивное увеличение плотности материала. Цель исследования - определение коэффициента вязкости.

2. Порядок проведения испытания.

Испытания выполняются на приборе, описанном в работе №5 (рис.5.1). В штоке 10 укрепляется шариковый штамп диаметром 12 мм (0,012 м). Последовательность проведения испытания следующая.

В кольцо 3 отбирается образец грунта. Предварительно кольцо взвешивают.

Кольцо с грунтом взвешивают, и, зная объем кольца и вес грунта находящегося в кольце 3, определяют удельный вес грунта γ .

Рабочее кольцо 3 закрепляют на подставке 2 (см. работу №5) и шариковый штамп перемещают до соприкосновения с поверхностью грунта. Подвижный шток 10 фиксируется стопорным винтом. На подвеску 7 подвешивают груз 8 и устанавливают индикатор часового типа 9 в нулевое положение.

Отпускают стопорный винт подвижного штока 10 и записывают показания индикатора (осадку шарикового штампа S) через следующие промежутки времени: 5, 10, 20, 30 с; 1, 2, 4, 8, 15, 20 мин от начала опыта. Груз 8 подбирают таким образом, чтобы осадка шарика за 30 с составила приблизительно 0,5d шарика.

Опыт повторяют на том же образце грунта, кольцо с грунтом перемещается таким образом, чтобы центр следующего погружения штампа находился на расстоянии 3d от центра предыдущего испытания и стенки кольца. Данные опытов и расчетов заносят в таблицу.

3. Обработка результатов испытания.

Строят кривую $S = f(t)$ (рис. 6.1.), откладывая по оси ординат в принятом масштабе величину осадки S , а по оси абсцисс - соответствующее время достижения этого погружения.

По графической зависимости определяют установившуюся скорость осадки (м/с) $v = \Delta S / \Delta t$. Для этой скорости вычисляют величину вязкости по формуле (6.1).

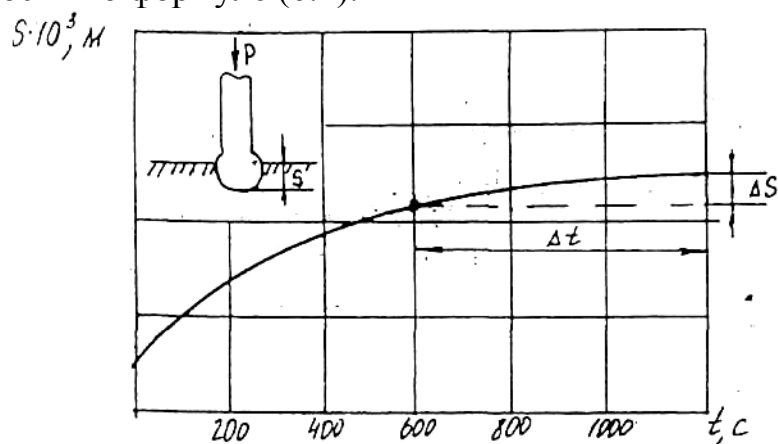


Рис. 6.1. Зависимость осадки тяжелого шарика от времени действия нагрузки t .

Таблица 6.1. Расчет скорости осадки шарикового штампа Диаметр шарика $d = 0,012$ м Вес системы с шариком $P_{\Sigma} = 0,001$ кН. Наименование грунта: суглинок .

Физические характеристики грунта	Время от начала загрузки $t, \text{С}$	Показания индикатора $\delta, \text{дел.}$	Осадка шарикового штампа $S, \text{м}$	Скорость погружения $v, \text{м/с}$
Удельный вес грунта $\gamma = 19,8 \text{ кН/м}^3$	0	0	0	0
	5	590	$590 \cdot 10^{-5}$	$118 \cdot 10^{-3}$
Удельный вес частиц грунта $\gamma_{\Sigma} = 27,1 \text{ кН/м}^3$	10	595	$595 \cdot 10^{-5}$	$59,5 \cdot 10^{-5}$
	20	598	$598 \cdot 10^{-5}$	$29,9 \cdot 10^{-5}$
	30	601	$601 \cdot 10^{-5}$	$20,03 \cdot 10^{-5}$
Влажность грунта $\omega = 0,19$	60	602	$602 \cdot 10^{-5}$	$10,0 \cdot 10^{-5}$
	120	604	$604 \cdot 10^{-5}$	$5,03 \cdot 10^{-5}$
Вес дополнительно прикладываемого груза $P = 6,05 \text{ кН}$	240	606	$606 \cdot 10^{-5}$	$2,53 \cdot 10^{-5}$
	480	608	$608 \cdot 10^{-5}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$
	900	610	$610 \cdot 10^{-5}$	$6,78 \cdot 10^{-6}$
	1200	613	$613 \cdot 10^{-5}$	$5,10 \cdot 10^{-6}$

Прямолинейный участок в интервале времени $t=900$ с. и $t=1200$ с.

Средняя скорость погружения тяжелого шарика (скорость вязкого течения) равна:

$$v_{cp} = \frac{6,78 + 5,10}{2} \cdot 10^{-6} = 5,94 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$$

Определяем фиктивный удельный вес тяжелого шарика по формуле 6.3

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{6(0,001 + 0,048)}{3,14 \cdot 0,012^3} = 54156,9 \text{ кН/м}^3 = 54,2 \text{ МН/м}^3$$

Коэффициент вязкости определяем по зависимости 6.2.

$$\eta = \frac{0,012}{9 \cdot 4,76 \cdot 10^{-8}} (54156,9 - 0,15 \cdot 19,8) = 18,2 \text{ МПа} \cdot \text{с}.$$

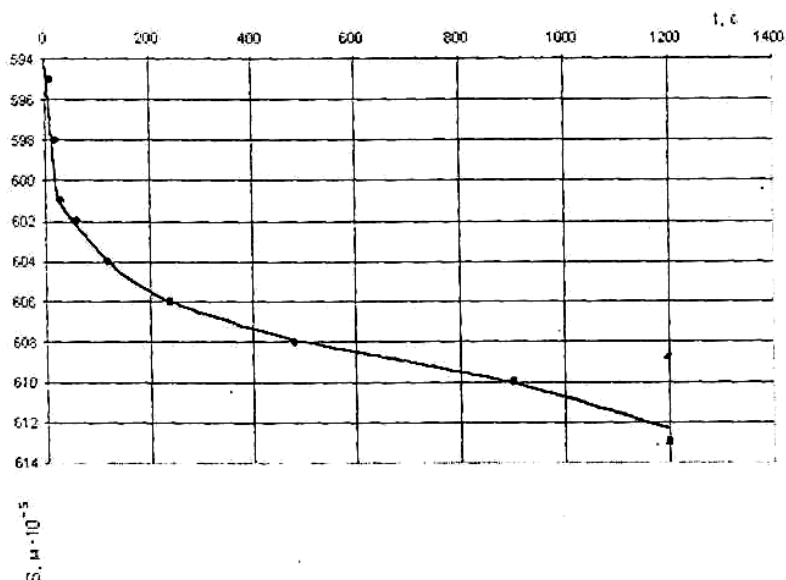


Рис. 6.2. Графическая зависимость развития осадки во времени.

Вопросы для самопроверки.

1. С какой целью определяют характеристики вязкости грунта ?
2. Чем характеризуется вязкость грунта ?
3. На каком участке кривой $S=f(t)$ снимают данные для расчета коэффициента вязкости грунта ?
4. Каким методом оценивалась вязкость грунта и как рассчитывать коэффициент вязкости ?

Работа 7.

Определение оптимальной влажности грунта методом стандартного уплотнения.

1. Теоретическая часть.

При возведении земляного полотна автомобильных дорог необходимо обеспечивать его устойчивость и прочность. Это достигается уплотнением земляного полотна до стандартной плотности при оптимальной влажности.

Оптимальной называется такая влажность грунта, при которой достигается заданное его уплотнение при наименьшей затрате уплотняющей работы.

Уплотнение маловлажных грунтов трудоемко, так как грунтовые агрегаты (комки грунта) при этом обладают высокой прочностью, между частицами грунта развивается трение, препятствующее их взаимному перемещению в процессе уплотнения. Насыщенные водой грунты тоже трудно поддаются уплотнению, так как кратковременное уплотняющее давление (удар трамбовки, проход катка и т.д.) воспринимается главным образом поровой водой, которая не успевает отжаться из грунта, а скелет грунта включиться в работу.

При оптимальной влажности можно достичь наибольшего уплотнения, поскольку в этом случае комки грунта разрушаются относительно легко, частицы грунта, имея на контактах смазку в виде пленок воды, смещаются относительно друг друга и более компактно укладываются в объеме грунта. При оптимальной влажности часть порового объема заполнена воздухом, который сжимается и не препятствует уплотнению.

Оптимальная влажность зависит от состава грунта, характера уплотняющего воздействия, его интенсивности и количества затраченной на уплотнении работы. Например, оптимальная влажность супесей составляет 9 -15%, суглинков 15 - 22% и т.д. Чем интенсивнее уплотняющее воздействие, тем ниже оптимальная влажность.

Согласно СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» уплотнение грунтов при укладке в тело насыпи автодороги должно производиться при оптимальной влажности. Если влажность ниже оптимальной, приходится прибегать к искусственному увлажнению грунта; выше оптимальной - просушиванию.

Показателем степени уплотнения грунта служит величина плотности скелета грунта. Пробы грунта различной влажности уплотняются определенным образом в специальном «приборе стандартного уплотнения». Определяется плотность грунта, полученных образцов и вычисляется плотность скелета грунта от влажности, по которому определяется оптимальная влажность.

Цель работы - определение максимальной плотности скелета грунта и его оптимальной влажности.

2. Методика проведения работы.

2.1. Устройство прибора стандартного уплотнения.

Прибор стандартного уплотнения (рис. 7.1.) состоит из рабочего разъемного цилиндра 7 с насадкой 4. Рабочий цилиндр закреплен в поддоне 9 с помощью зажимных винтов 8.

Для уплотнения грунта 6, который закладывается в рабочий цилиндр, используется трамбовка 2, которая сбрасывается по направляющей штанге 5 с высоты h и ударяет по Пуансону 6. Для ограничения высоты подъема трамбовки на штанге 5 установлена стопорная головка 1.

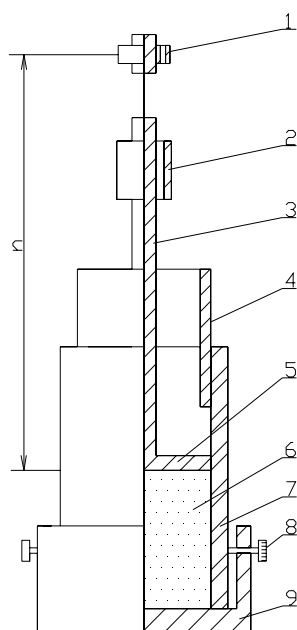


Рис. 7.1. Прибор стандартного уплотнения.

2. 2. Порядок проведения испытаний:

а) перед началом испытаний образец грунта высушивается в воздухе, измельчается в ступе пестиком с резиновым наконечником, пропускается через сито 5 мм, определяется гигроскопическая влажность грунта ω_H , принимаемая по таблице 9 (Приложение). В лабораторной работе разрешается принимать $\omega_H = 1,8 - 4,5\%$;

б) в металлическую чашку отвешивают пробу воздушно - сухого грунта (гигроскопическая влажность ω_H которого известна), просеянного через сито с диаметром отверстий 5 мм, в количестве 3 кг;

в) определяется количество воды, которое необходимо добавить к исходной навеске грунта для получения следующих влажностей: 4,6,8,10,12,14% и т.д. используя формулу

$$\Delta\theta = \frac{m_H}{1 + \omega_H} (\omega_T - \omega_H), \quad (7.1)$$

где m_H - масса грунта, подлежащего увлажнению; ω_T и ω_H - соответственно требуемая и исходная гигроскопические влажности грунта, в долях единицы.

При массе грунта 3 кг для увеличения влажности 2....3% необходимо добавить в грунт 50 граммов воды;

г) в емкость с грунтом с помощью мензурки добавляется требуемое количество воды с одновременным тщательным перемешиванием до равномерного увлажнения (влажность грунта 4%);

д) рабочий объем цилиндра прибора заполняется увлажненным грунтом на одну треть от высоты рабочего цилиндра;

е) в цилиндр вставляется пуансон со штоком и трамбовкой;

ж) производится стандартное уплотнение: трамбовка сбрасывается с полной высоты штока 40 раз;

з) снимается шток с трамбовкой и в цилиндр добавляется грунт до двух третей его высоты. Производится уплотнение аналогично предыдущему;

и) на рабочий цилиндр устанавливается насадка и добавляется грунт. Укладка грунта прекращается, когда поверхность грунта будет превышать кромку разъемного цилиндра на 10 мм. Грунт уплотняется;

к) после окончания уплотнения с цилиндра снимается шток с трамбовкой, насадку и выступающий грунт осторожно срезают ножом по поверхности кромки. Определяется объем грунта;

л) производится разборка прибора для извлечения образца грунта. Над чашкой технических весов образец грунта осторожно извлекается из разъемного цилиндра, при этом грунт должен целиком попасть в чашку весов. Образец взвешивается, результаты заносятся в таблицу.

Таблица. Результаты определения оптимальной влажности грунта

№ п/п	Влажность грунта в дол.ед.	Кол-во воды содержащейся в навеске θ , г/см ³	Кол-во добавляемой воды $\Delta \theta$, кг (см ³)	Масса образца грунта после уплотнения m , кг	Объем грунта после уплотнения, V , м ³	Плотность грунта после стандартного уплотнения, ρ , кг/м ³	Плотность скелета грунта ρ_a , кг/м ³
1	0,04						
2	0,06						
3	0,08						
4	0,10						
5	0,12						
6	0,14						
7	0,16						
8	0,18						
9	0,20						

Вычисляются плотность грунта ρ и плотность скелета грунта по формулам

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3; \quad (7.2)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \omega}, \text{ кг/м}^3; \quad (7.3)$$

где m - масса образца грунта, кг; V - объем грунта (объем разъемного цилиндра), ω - влажность грунта в долях единицы;

м) грунт из чашки весов пересыпается в емкость и добавляется необходимое количество воды до влажности грунта 6%. Опыт повторяют;

н) с увеличением влажности грунта до оптимальной влажности плотность скелета песчаного грунта будет возрастать, при влажности, превышающей оптимальную влажность, - убывать. Испытания проводят до тех пор, пока после роста плотности скелета грунта с увеличением влажности она не начинает уменьшаться, т.е. влажность грунта больше оптимальной влажности.

3. Обработка результатов испытаний.

По полученным данным строится график зависимости плотности скелета грунта от влажности при уплотнении.

3.1. По наивысшей точке графика (рис. 7.2.) у связанных грунтов определяют значение максимальной плотности $\rho_{d \max}$ и соответствующее ему значение оптимальной влажности $\omega_{\text{опт}}$

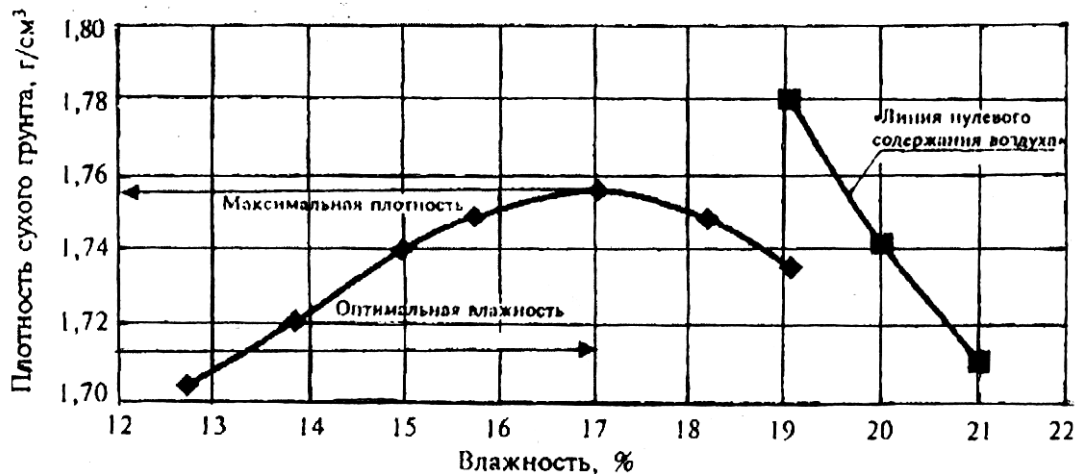


Рис. 7.2. Зависимость плотности сухого грунта от влажности для связанных грунтов.

Для контроля правильности испытания связанных грунтов строят «линию нулевого содержания воздуха», показывающую изменение плотности сухого грунта от влажности при полном насыщении его пор водой.

Пары чисел ρ_{di} и ω_i для построения «линии нулевого содержания воздуха», при плотности частиц грунта ρ_s определяют, задаваясь значением влажности по формуле:

$$\rho_{di} = \frac{\rho_s}{1 + \omega \frac{\rho_s}{\rho_w}}, \quad (7.4)$$

где ρ_w - плотность воды, равная 1 г/см^3 , ρ_s - плотность частиц грунта, определяемая по ГОСТ 5180-84, г/см^3 .

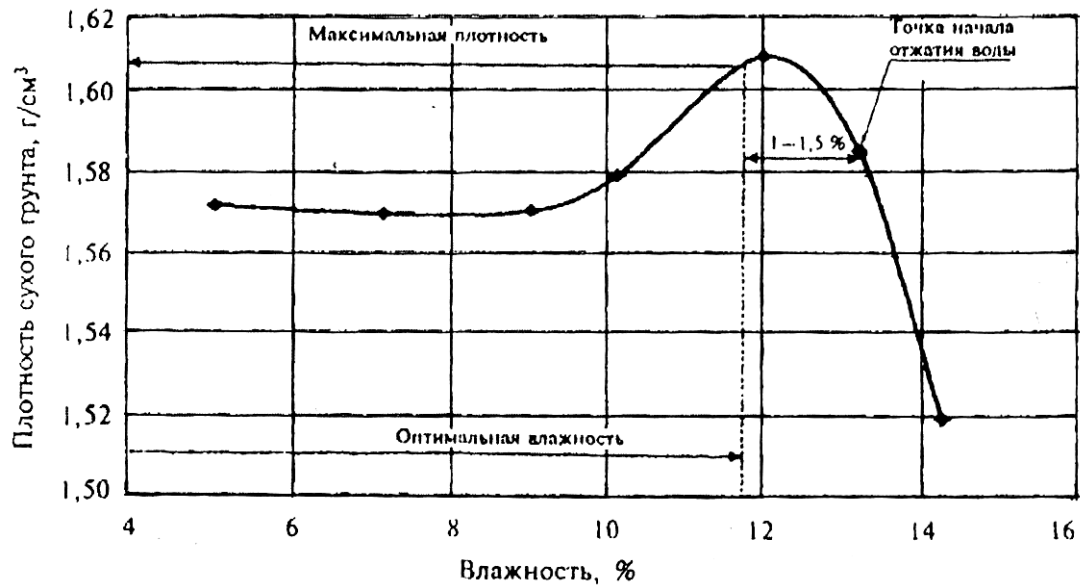
Разрешается применять следующие значения плотности частиц грунта; для супеси – $2,70 \text{ г/см}^3$; суглинка – $2,71 \text{ г/см}^3$; глины – $2,74 \text{ г/см}^3$.

Нисходящая часть графика стандартного уплотнения не должна пересекать «линию нулевого содержания воздуха».

Допускается принимать пары чисел ρ_{di} и ω_i по таблице 10 (Приложение).

3.2. Для несвязанных грунтов график стандартного уплотнения может не иметь заметно выраженного максимума (рис. 7.3.). В этом случае значения оптимальной влажности принимают на $1,0\%$ - $1,5\%$ менее влажности ω_i , при ко-

торой происходит отжатие воды. Значение максимальной плотности принимают по соответствующей ей ординате. При этом 1,0% принимают для песков гравелистых, крупных и средней плотности; 1,5% - для мелких и пылеватых песков.



Вопросы для самопроверки.

1. Что называется оптимальной влажностью?
2. С какой целью определяется величина оптимальной влажности?
3. Изложите методику проведения испытаний и устройство прибора стандартного уплотнения.
4. Как определить количество воды необходимое для изменения влажности грунта?
5. По каким формулам рассчитывается плотность грунта и плотность скелета грунта?

Приложение

Таблица 1. Значения критерия v при двусторонней доверительной вероятности $d = 0,95$

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 2. Значения коэффициента t_a

Число степеней свободы K	Значения коэффициента t_a при односторонней доверительной вероятности α , равной					
	0,85	0,90	0,95	0,975	0,98	0,99
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

Таблица 3. Зависимость φ от значения q_c

q_c , МПа	Значение угла внутреннего трения песчаных грунтов φ , град, при глубине зондирования, м	
	2 м	5 м и более
1,5	28	26
3,0	30	28
5,0	32	30
8,0	34	32
12,0	36	34
18,0	38	36
26,0	40	38

Примечание 1. Значение угла внутреннего трения φ в интервале глубин от 2 до 5 м определяется интерполяцией.

Таблица 4 Плотность сложения песчаных грунтов

Вид песков	Плотность сложения песков		
	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Пески крупные и средней крупности независимо от влажности	$q_c > 15$	$15 \geq q_c > 5$	$q_c < 5$
Пески мелкие не зависимо от влажности	$q_c > 12$	$12 \geq q_c \geq 4$	$q_c < 4$
Пески пылеватые: а) маловлажные и влажные	$q_c > 10$	$10 \geq q_c \geq 3$	$q_c < 3$
б)водонасыщенные	$q_c > 7$	$7 \geq q_c \geq 2$	$q_c < 2$

Таблица 5. Определение модуля деформации песчаных грунтов

Пески	Нормативный модуль деформации песчаных грунтов E при q_c МПа									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Все генетические типы, кроме аллювиальных и флювиогляциальных	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Аллювиальные и флювиогляциальные	17	20	22	25	28	30	33	36	38	41

Таблица 6. Значения показателя текучести I_L в зависимости от трения грунта о боковую поверхность штанги f_i .

q_c , МПа	Показатель текучести I_L глинистых грунтов при f_i , МПа										
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,30	0,40	$\geq 0,50$
1	0,50	0,39	0,33	0,29	0,26	0,23	0,20	0,16	-	-	-
2	0,37	0,27	0,20	0,16	0,12	0,10	0,06	0,02	-0,05	-	-
3	0,22	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	-0,03	-0,06	-
5	0,09	0,04	0,01	0,00	-0,02	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13
8	0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,11	-0,13	-0,14	-0,15
10	-	-0,05	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,13	-0,14	-0,16	-0,17
12	-	-	-0,09	-0,11	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14	-0,16	-0,17	-0,18
15	-	-	-	-0,13	-0,14	-0,15	-0,16	-0,17	-0,18	-0,19	-0,20
20	-	-	-	-	-0,17	-0,18	-0,18	-0,19	-0,20	-0,20	-0,21

Таблица 7. Нормативное значение модуля деформации E , φ и C по данным статического зондирования.

q_c , МПа	Нормативное значение модуля деформации E , угла внутреннего трения φ , и удельного сцепления C суглинков и глин (кроме грунтов ледниково-го комплекса)				
	E , МПа	Суглинки		Глины	
		φ , МПа	C , МПа	φ , МПа	C , МПа
0,5	3,5	16	14	14	25
1	7	19	17	17	30
2	14	21	23	18	35
3	21	23	29	20	40
4	28	25	35	22	45
5	35	26	41	24	50
6	42	27	47	25	55

Таблица 8. Параметры конусных наконечников.

Наименование параметров	Угол при вершине конуса, град.		
	30°	45°	60°
Постоянный параметр K	0,959	0,416	0,214
Высота конуса $H \cdot 10^2$, м	3,92	3,33	3,09
Площадь основания $A \cdot 10^4$, м ²	3,50	6,00	10,00

Таблица 9. Гигроскопическая влажность грунта.

Грунты	Влажность грунта для первого испытания, %
Песок гравелистый, крупный, средней крупности	4
Песок мелкий и пылеватый	6
Супесь, суглинок легкий	6 – 8
Суглинок тяжелый, глина	10 - 12

Таблица 10. Значения пар чисел влажности ω_i и плотности сухого грунта ρ_d для построения «линии нулевого содержания воздуха» (справочное)

Влажность ω_i , %	Плотность сухого грунта ρ_{di} , г/см ³ , при плотности частиц грунта ρ_s				
	2,58	2,65	2,69	2,70	2,74
2	2,45	2,64			
3	2,40	2,45			
4	2,33	2,40			
5	2,29	2,34			
6	2,23	2,29			
7	2,16	2,23			
8	2,14	2,19			
9	2,09	2,14			
10	2,05	2,09	2,11	2,13	2,15
11	2,01	2,05	2,07	2,08	2,11
12	1,97	2,01	2,03	2,04	2,06
13	1,93	1,07	1,99	2,00	2,02
14	1,90	1,93	1,95	1,96	1,98
15	1,86	1,90	1,91	1,92	1,94
16	1,83	1,86	1,88	1,89	1,91
17	1,79	1,83	1,84	1,85	1,87
18	1,76	1,80	1,81	1,82	1,83
19	1,73	1,76	1,78	1,78	1,80
20	1,70	1,73	1,74	1,75	1,77
21	1,67	1,70	1,71	1,73	1,74
22	1,65	1,67	1,69	1,69	1,71
23	1,62	1,65	1,65	1,66	1,68
24	1,60	1,62	1,63	1,64	1,65
25	1,57	1,59	1,60	1,61	1,63
26	1,54	1,57	1,58	1,59	1,60
27	1,52	1,54	1,55	1,56	1,57
28	1,50	1,52	1,53	1,54	1,55
29	1,48	1,50	1,51	1,51	1,53
30	1,45	1,48	1,49	1,49	1,50

Содержание.

Предисловие.....	3
Работа 1.Определение сопротивления на сдвиг методом вращательного среза	4
Работа 2. Метод испытания грунтов статическим зондированием.....	10
Работа 3. Комплексное исследование физико – механических свойств грунтов.....	16
Работа 4. Определение модуля деформации грунта плоским штампом.....	20
Работа 5. Метод испытания грунтов шариковым штампом.....	23
Работа 6. Определение коэффициента вязкости грунта.....	29
Работа 7. Определение оптимальной влажности грунта методом стандартного уплотнения.....	33
Приложение.....	38

Определение физико-механических свойств грунтов
при проектировании оснований зданий и сооружений.

Пособие к лабораторным работам для студентов специальностей ПГС,
ГСХ, АДА, ПОТ

Редактор
Технический редактор

Подписано в печать

Формат

Физ. печ. л.

Тираж экз.

Усл. печ. л.

Заказ №

Бумага писчая

Уч.-изд. л.

Цена руб. коп

Издательство ТГТУ