

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

**Кафедра инженерной
геологии, оснований
и фундаментов**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Геотехника» для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 08.03.01
«Строительство» всех форм обучения

НОВОСИБИРСК 2024

Методические указания разработаны
ст. преподавателем Т.А. Якушкиной
и канд. техн. наук, доцентом С.В. Линовским.

Утверждены учебно-методической комиссией
института строительства
4 июля 2024 года

Рецензенты:

- О.А. Коробова, д-р техн. наук, профессор
кафедры инженерной геологии, оснований
и фундаментов НГАСУ (Сибстрин);
- В.С. Молчанов, канд. техн. наук, профессор
кафедры инженерной геологии, оснований
и фундаментов НГАСУ (Сибстрин)

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
Термины и определения.....	5
Лабораторная работа № 1. Определение характеристик деформируемости грунта по результатам компрессионных испытаний.....	7
Лабораторная работа № 2. Определение показателей прочности грунта по результатам испытаний в приборе одноплоскостного среза (сдвига)	15
Лабораторная работа № 3. Определение деформируемости грунта методом испытания штампом	23
Лабораторная работа № 4. Определение показателей просадочности грунта при его замачивании методом «двух кривых»	30
Список литературы.....	40

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих методических указаниях изложены рекомендации по исследованию свойств и определению механических характеристик (показатели деформируемости и прочности) дисперсных грунтов, обработке результатов экспериментов с целью получения количественных значений основных характеристик грунтов и их классификации.

Предназначены к использованию при выполнении работ в специализированных учебных лабораториях кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов (ИГОФ) в период группового проведения занятий со студентами, а также могут быть применены обучающимися в качестве вспомогательного материала при освоении дисциплины «Геотехника» в ходе промежуточной аттестации (зачеты, экзамены) по указанному курсу.

Грунты могут использоваться в качестве материала для создания зданий (сооружений) или их отдельных строительных элементов; средой для размещения в них сооружений; материалом оснований зданий (сооружений).

Грунты по природе структурных связей подразделяют на скальные, дисперсные и мерзлые, которые, в свою очередь, делятся на подклассы, типы, подтипы, виды, подвиды и разновидности. Отдельно выделяется типизация техногенных грунтов для всех классов с делением по таким же классификационным ступеням (уровням), начиная с подтипа. Разновидности всех грунтов выделяются по количественным показателям их вещественного состава, строения и свойств.

В курсах «Геотехника», «Механика грунтов», «Инженерная геология» принято разделять свойства и характеристики грунтов на две категории:

- 1) физические – характеристики, определяющие наименование грунта и его физическое состояние;
- 2) механические – характеристики, описывающие свойства и поведение грунта под воздействием различного рода нагрузок и являющиеся основными показателями для расчета несущей способности и деформируемости грунтовых оснований зданий (сооружений).

Настоящие методические указания содержат краткие сведения об основных понятиях курса «Геотехника» и предписания для выполнения обучающимися лабораторных работ под руководством преподавателя в учебной лаборатории «Механика грунтов» кафедры ИГОФ в часы, установленные расписанием занятий или в дополнительно определенное кафедрой время.

Задача – изучение и освоение студентами основных методов экспериментального определения механических характеристик деформируемости и прочности дисперсных грунтов.

Цель – определение показателей деформируемости и прочности грунта.

Расчетная продолжительность каждой лабораторной работы два академических часа (1 ч 30 мин).

Общая (рекомендуемая) последовательность выполнения лабораторной работы:

1) вводный инструктаж от ведущего занятия преподавателя о правилах безопасного выполнения лабораторной работы, информирование о ее целях и задачах, изложение алгоритма проведения эксперимента и т.п.;

2) составление каждым студентом основы (формы) отчета – конспекта лабораторной работы, включающего в себя:

- титульный лист с указанием наименования вуза и кафедры, названия и номера лабораторной работы, фамилии и инициалов студента, номера учебной группы (графа «Выполнил»), фамилии и инициалов преподавателя, ведущего занятие (графа «Проверил»), даты (число, месяц, год) проведения работы;
- текстовую часть записки, отражающую цель (задачи) исследования и содержащую краткие сведения об определяемых механических характеристиках (характеристике) и их (ее) практическом значении, перечень используемых приборов и оборудования с необходимыми схемами, краткую методику выполнения работы, таблицы для внесения результатов эксперимента и их обработки (журнал наблюдений), координатные оси графиков, предполагаемых к построению по результатам работы (при необходимости), свободное место для выполнения промежуточных (черновых) расчетов и написания выводов по итогам выполненной работы;

- форму для подготовки отчета по каждой лабораторной работе, которая может быть получена до начала эксперимента копированием со страницы кафедры ИГОФ сайта вуза (раздел «Учебно-методическая работа»^{*});

3) выполнение эксперимента (индивидуально, в составе подгруппы, группы) с фиксацией численных значений изменяемых параметров;

4) приведение в порядок места проведения испытаний и используемого оборудования (снятие нагрузки, утилизация отработанных образцов грунта, очистка стола и т.п.);

5) обработка данных, полученных в результате экспериментальных исследований, заполнение таблицы (журнала наблюдений), построение графиков (при необходимости);

6) формулировка и написание выводов (вывода) по итогам работы;

7) представление завершеного отчета-конспекта лабораторной работы преподавателю:

- при правильно выполненной работе, достоверности полученных результатов и необходимом уровне ответов на поставленные преподавателем вопросы лабораторная работа засчитывается как выполненная («Зачтена»);

- при неудовлетворительной организации работы подгруппы, недостоверных (некорректных) результатах или их неудовлетворительной защите, незавершенном составлении отчета-конспекта лабораторная работа не засчитывается («Не зачтена»), и преподаватель имеет право требовать ее повторного проведения или устранения недостатков в дополнительное время.

Пропущенные студентами лабораторные работы, проводимые по расписанию, должны быть отработаны в дополнительные дни в порядке, установленном кафедрой (преподавателем кафедры) ИГОФ.

^{*} Гиперссылка имеется в конце текстовой части каждой работы настоящих методических указаний.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ [1, 2]

1. **Грунт** – любая горная порода, почва, осадок и техногенные минеральные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и часть геологической среды и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью.

2. **Глинистый грунт** – связный грунт, обладающий свойствами пластичности за счет содержания минеральных частиц глинистой и минеральной фракций.

3. **Деформируемость грунта** – изменение формы и объема при воздействии внешних усилий и в отдельных случаях от собственного веса грунта, не приводящих к разрушению, зависящие от вида грунта, его структуры, пористости, состава, влажности и других факторов.

4. **Дисперсный грунт** – грунт, в котором преобладают механические, физические и физико-химические структурные связи.

5. **Массив грунта (грунтовый массив)** – объем грунта, находящийся в основании здания (сооружения) или вмещающий его, размеры которого не меньше зоны влияния здания (сооружения), или выделяемый для решения специальных задач.

6. **Несвязный грунт** – дисперсный грунт с преобладанием механических структурных связей, сыпучий в сухом состоянии.

7. **Осадки** – вертикальные составляющие деформаций основания, происходящие в результате внешних воздействий и в отдельных случаях от собственного веса грунта, не сопровождающиеся изменением его структуры.

8. **Основание здания (сооружения)** – массив грунта, взаимодействующий со зданием (сооружением).

9. **Песчаный грунт (песок)** – минеральный несвязный грунт, содержащий по массе более 50 % частиц размером от 0,05 до 2 мм.

10. **Просадки** – вертикальные составляющие деформаций основания, происходящие в результате уплотнения грунта и коренного изменения структуры грунта под воздействием как

внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов, таких, например, как замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т.п.

11. Просадочный грунт – грунт, который под действием внешней нагрузки и/или собственного веса при замачивании водой (или действия других факторов) имеет относительную деформацию просадочности $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$.

12. Прочность – степень сопротивления грунта разрушающему воздействию на него внешних сил.

13. Связный грунт – дисперсный грунт с преобладанием физических и физико-химических структурных связей.

14. Сжимаемость дисперсных грунтов – наиболее характерное свойство грунтов, заключающееся в способности грунта, в отличие от массивных горных пород, изменять под влиянием внешних воздействий и в отдельных случаях от собственного веса грунта свое строение (упаковку твердых частиц) за счет уменьшения пористости.

15. Скальный грунт – грунт, в котором преобладают структурные связи химической природы.

16. Сопротивление сдвигу – наименьшее касательное напряжение, при котором грунт, находящийся при нормальном давлении, срезается (разрушается).

17. Штапловые испытания грунта – полевой метод исследования деформационных свойств дисперсного грунта посредством создания нагрузки (давления) на него специальными штапами (площадь подошвы – 600, 2500 или 5000 см²) и регистрации осадок, соответствующих этим нагрузкам, с целью измерения модуля деформации грунта, а также определения относительной просадочности и начального просадочного давления грунта.

Лабораторная работа № 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Цель работы – определение характеристик деформируемости грунта: коэффициента уплотнения (сжимаемости) грунта m_0 (1/МПа), модуля деформации грунта E (МПа).

Общие представления об определении показателей деформируемости грунта в условиях компрессионного сжатия

Одним из видов общей деформируемости грунта является сжимаемость, т.е. способность грунта уменьшаться в объеме под действием внешней нагрузки и в некоторых случаях под действием собственного веса. Основной фактор, обуславливающий сжимаемость грунта, – его уплотнение. Деформации уплотнения происходят вследствие уменьшения объема пор грунтов за счет более компактного размещения частиц при приложении сжимающих усилий, возникновения взаимных микросдвигов частиц, уменьшения толщины водно-коллоидных пленок и сопровождаются отжатием воды (при ее наличии) из пор грунта.

Показатели деформируемости грунта необходимо знать для расчета совместных осадок оснований и фундаментов зданий (сооружений). Существуют несколько методов определения модуля деформации грунта и коэффициента уплотнения (сжимаемости) в соответствии с ГОСТами [3, 4 и др.], один из которых – метод испытаний грунта в компрессионных условиях [3].

Компрессия (компрессионное испытание) – одноосное сжатие образца вертикальной нагрузкой при условии отсутствия его бокового расширения. Компрессионное испытание грунтов проводится в компрессионном приборе (рис. 1.1, *а–в*), рабочей частью которого является одометр (рис. 1.1, *з*). Суть испытания заключается в ступенчатом нагружении образца грунта, помещенного в одометр, вертикальным давлением при невозможности бокового (горизонтального) перемещения (препятствует

жесткое металлическое кольцо) образца грунта; измерении изменения высоты образца на каждой ступени нагружения после стабилизации деформаций и вычисления показателей деформируемости (m_0 и E).



Рис. 1.1. Компрессионные приборы КПр-1 (а), КП-1 (б), автоматизированный (в) и одометр (г)

Приборы и оборудование, используемые для испытаний образцов грунта

- учебный компрессионный прибор конструкции Знаменского КП-1 (рис. 1.1, б);
- образец грунта, обладающий природной влажностью и ненарушенной структурой, рабочей площадью $A = 40 \text{ см}^2$, высотой $h = 20 \text{ мм}$, заключенный в режущее металлическое кольцо указанных размеров;
- индикатор деформаций часового типа с ценой деления шкалы 0,01 мм и пределом измерения до 10 мм;

– набор лабораторных гирь весом по 20 Н (общий вес 120 Н).

Последовательность проведения испытаний (рис. 1.2)

1. Образец грунта (1), размещенный в режущем кольце (2) и снабженный бумажными фильтрами по нижней (3) и верхней (4) граням, устанавливается и закрепляется гильзой (5) на перфорированном днище (6) поддона (7) одометра компрессионного прибора.

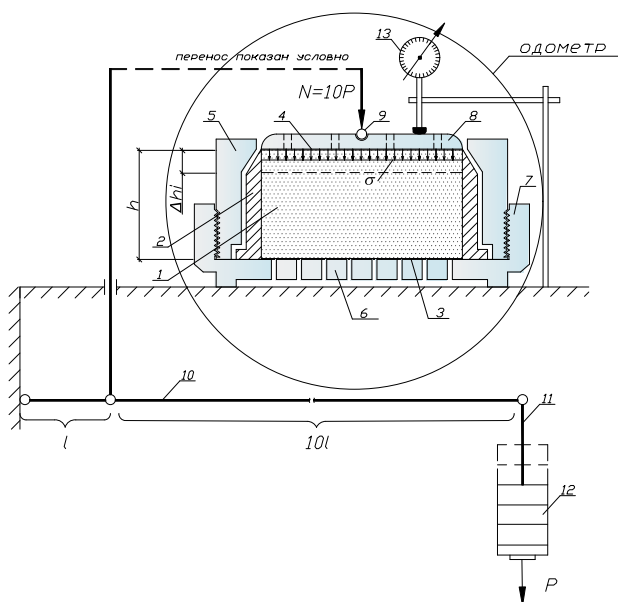


Рис. 1.2. Принципиальная схема учебного компрессионного прибора КП-1:

- 1 – грунтовый образец; 2 – режущее кольцо;
3, 4 – фильтровальная бумага; 5 – гильза; 6 – перфорированное днище; 7 – поддон; 8 – загрузочный перфорированный штампик;
9 – центрирующий шарик; 10 – рычажная система;
11 – подвеска; 12 – гири; 13 – индикатор деформаций часового типа

2. На верхнюю грань образца грунта устанавливается перфорированный загрузочный штампик (8) с центрирующим шариком (9), который соединяется с рычажной системой (10), снабженной подвеской (11) для размещения гирь (12). Посредством винтового устройства обеспечивается контакт центрирующего шарика с элементом рычажной системы и осуществляется выведение основного загрузочного рычага в рабочее положение – горизонтально с возможностью перемещения вниз в направляющей прорези корпуса прибора.

3. На опорный столик верхней штанги рычажной системы размещается индикатор деформаций часового типа (13) с выведенным в верхнее положение штифтом прибора для возможности измерения последующих деформаций уплотнения образца грунта (движения загрузочного штампа вниз).

4. Регистрируется начальный отсчет по индикатору деформаций, который заносится в журнал наблюдений (первая строка табл. 1.1, соответствующая нулевой нагрузке на подвеске прибора). Для упрощения последующих вычислений рекомендуется посредством вращения регулировочного винта штифта индикатора деформаций и/или обода его циферблата установить начальный отсчет равным нулю (0,00 мм).

5. Установкой подвески с гирей на рычаг прибор загружается первой ступенью нагрузки ($20 \text{ Н} \cong 2 \text{ кгс}$). После стабилизации (затухания) деформации (осадки) образца в журнал наблюдений вносится новое показание индикатора. Следует учесть, что подвеска имеет собственный вес $10 \text{ Н} (\cong 1 \text{ кгс})$, и для достижения требуемой нагрузки первой ступени на нее необходимо установить гирю весом 10 Н . В связи с длительным временным интервалом, требующимся для полной стабилизации деформаций (осадок) образца грунта после каждой ступени нагружения (например, в соответствии с ГОСТ [3] для глинистых грунтов она измеряется приращением осадки на $0,01 \text{ мм}$ за 16 ч), и ограниченным временем, отведенным на выполнение лабораторной работы, в учебных целях допускается принимать стабилизацию деформаций условной, заканчивающейся через 2–5 мин (по ука-

занию преподавателя) после приложения очередной ступени нагрузки.

6. Прибор загружается последовательно очередными ступенями увеличивающейся нагрузки с шагом на подвеске 20 Н (что соответствует изменению вертикального давления на образец на 0,05 МПа) до максимального давления $\sigma = 0,30$ МПа с записью показаний индикатора после стабилизации деформаций каждой ступени в журнал наблюдений. Следует иметь в виду, что индикатор фиксирует полные деформации, включающие упругие деформации элементов самого компрессионного прибора, а истинные значения деформаций образца грунта могут быть получены посредством вычитания значений упругих деформаций прибора (поправок) из общих деформаций, зафиксированных индикатором. Без существенных погрешностей в учебном эксперименте эти поправки рекомендуется не учитывать.

7. По завершении испытаний (полный вес подвески с гирями составляет 120 Н) с целью вычисления показателей сжимаемости грунта (m_0 и E) выполняется обработка исходных данных в форме табл. 1.1. Строится график зависимости изменения коэффициента пористости грунта (e) от прикладываемого на образец давления (σ) – компрессионная кривая ($e = f(\sigma)$). Формулируется вывод о степени деформируемости грунта в соответствии с ГОСТ 25100-2020 [1, прил. В (рекомендуемое)].

Таблица 1.1

Журнал наблюдений

Вес гирь P_i , Н	Вертикальные напряжения $\sigma_i = 10P_i/A$ при $A = 40 \text{ см}^2$, МПа	Абсолют- ная дефор- мация Δh_i , мм	Относи- тельная де- формация $\varepsilon_i = \Delta h_i/h_0$	Изменение коэффици- ента порис- тости $\Delta e_i =$ $= \varepsilon_i (1 + e_0)$	Коэффици- ент порис- тости $e_i = e_0 - \Delta e_i$	Коэффици- ент уплот- нения $m_{0,i} =$ $= (e_i - e_{i+1}) /$ $(\sigma_{i+1} - \sigma_i)$	Модуль де- формации $E_i =$ $= (1 + e_0) / m_{0,i}$	Степень деформи- руемости грунта по ГОСТ [1], табл. 1.2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0							
20	0,05							
40	0,10							
60	0,15							
80	0,20							
100	0,25							
120	0,30							

Таблица 1.2

Разновидность дисперсных грунтов
в зависимости от модуля деформации E
[1, прил. В (рекомендуемое)]

Разновидность грунтов	Модуль деформации, МПа
Очень сильно деформируемые	$E \leq 5$
Сильнодеформируемые	$5 < E \leq 10$
Среднедеформируемые	$10 < E \leq 50$
Слабдеформируемые	$E > 50$

Примечание. Модуль деформации E определяется по результатам испытания методом штампа по ГОСТ 20276.1-2020 [4] или другими методами с пересчетом на испытания штампом.

Обработка результатов испытаний (табл. 1.1)

1. На основании внесенных в графу 1 сведений о весе гирь на подвеске прибора (P , Н) рассчитываются вертикальные давления на образец грунта для каждой ступени нагружения по формуле $\sigma_i = 10P_i / A$ МПа (где 10 – коэффициент увеличения нагрузки за счет соотношения плеч рычажной системы, A – площадь поперечного сечения образца грунта ($A = 40 \text{ см}^2$)) и заносятся в графу 2.

2. Вычисляются величины относительных деформаций образца грунта для каждой ступени загрузки с использованием ранее полученных значений абсолютных деформаций Δh_i , мм (графа 3) и известной начальной высоты образца грунта $h_0 = 20$ мм по формуле $\varepsilon_i = \Delta h_i / h_0$ (графа 4).

3. Рассчитываются изменения коэффициента пористости (графа 5) $\Delta e_i = \varepsilon_i (1 + e_0)$ и коэффициент пористости (графа 6) $e_i = e_0 - \Delta e_i$. Начальный коэффициент пористости e_0 определяется перед началом испытаний, в учебных целях может быть условно принят $e_0 = 0,75$.

4. По значениям σ_i (графа 2) и e_i (графа 6) строится график зависимости $e_i = f(\sigma_i)$ – компрессионная кривая. Принципиальный вид графика показан на рис. 1.3.

5. Вычисляется коэффициент уплотнения (сжимаемости) $m_{0,i}$ для каждого интервала давлений $(\sigma_i - \sigma_{i+1})$ (графа 7) по формуле $m_{0,i} = (e_i - e_{i+1})/(\sigma_{i+1} - \sigma_i)$, где e_i и e_{i+1} – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям σ_i и σ_{i+1} .

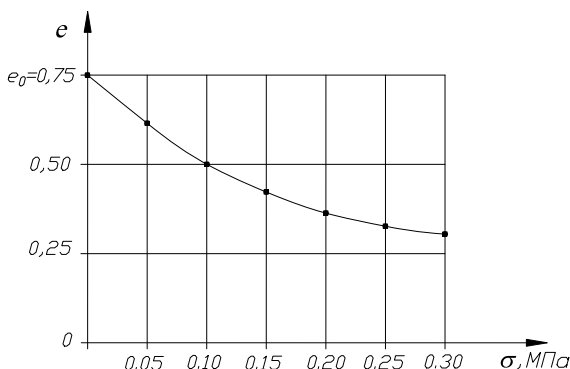


Рис. 1.3. Принципиальный вид графика зависимости $e_i = f(\sigma_i)$ – компрессионной кривой

6. Вычисляется модуль деформаций грунта E_i для всех интервалов давления $(\sigma_i - \sigma_{i+1})$ (графа 8) с использованием формулы $E_i = (\sigma_{i+1} - \sigma_i)/(\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1})$ или $E_i = (1 + e_0)/m_{0,i}$.

7. В зависимости от значения E_i определяется степень деформируемости грунта для каждого интервала давления $(\sigma_i - \sigma_{i+1})$ (графа 9) в соответствии с ГОСТ 25100-2020 [1, прил. В (рекомендуемое)] или табл. 1.2. В учебных целях коэффициент пересчета компрессионного модуля деформации на штамповый необходимо принять $k = 1$.

8. Формулируются и заносятся в отчет выводы по проделанной работе.

Выполненная лабораторная работа оформляется студентами в виде [индивидуального отчета](#), включающего в себя: титульный лист, цель работы, перечисление и схемы используемых приборов и оборудования, заполненный в полном объеме журнал наблюдений, график компрессионной кривой по результатам испытаний, выводы о деформируемости грунта в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25100-2020 [1].

Лабораторная работа № 2.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ В ПРИБОРЕ
ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА (СДВИГА)

Цель работы – определение характеристик прочности грунта (φ – угол внутреннего трения, град, c – удельное сцепление, МПа).

Общие представления о показателях прочности грунта,
определяемых в лабораторных условиях
методом одноплоскостного среза

Под сопротивлением срезу (сдвигу) дисперсного грунта, в данном случае, понимают наименьшее касательное напряжение (τ), при котором грунт, находящийся под действием некоторого нормального давления (напряжения) (σ), срезается в специальном срезном приборе (рис. 2.1). Установлено, что сопротивление грунта срезу зависит, в частности, от его физического состояния – степени однородности естественной структуры, плотности, влажности и от значения действующего, нормального к поверхности сдвига давления.

Сопротивление грунта сдвигу может быть выражено уравнением Ш.О. Кулона:

$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi$ – для несвязных (например, песчаных) грунтов
и

$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$ – для связных (глинистых) грунтов,

где φ – угол внутреннего трения, c – удельное сцепление.

Показатели φ и c являются параметрами, характеризующими прочность грунта.

Лабораторный метод одноплоскостного среза относится к одному из распространенных способов оценки прочности грунта в силу своей простоты и доступности. При этом в зависимости от вида и состояния грунта, характера загрузки грунта основания под фундаментом здания (сооружения) сопротивление грунта сдвигу может быть определено двумя ме-

тодами: консолидировано-дренированный сдвиг, неконсолидированный сдвиг. При консолидировано-дренированном сдвиге образцы грунта предварительно уплотняются определенным давлением, а затем подвергаются сдвигу. Этот случай соответствует в реальных условиях так называемому стабилизированному состоянию грунтового основания, т.е. такому состоянию, когда к моменту действия расчетных нагрузок процесс уплотнения основания завершен и грунт обеспечивает максимальное сопротивление срезу. При испытании грунта данным методом получаются максимальные значения характеристик прочности φ и c . При неконсолидированном сдвиге образцы грунта срезаются без предварительного уплотнения вертикальным давлением, что в реальных условиях соответствует нестабилизированному состоянию грунтового основания, т.е. случаю, когда к моменту действия расчетных нагрузок грунтовое основание не успевает уплотниться. При этом грунт будет обеспечивать наименьшее сопротивление срезу и прочностные характеристики грунта φ и c будут минимальными.

Определение прочностных характеристик грунта проводится для образцов, находящихся при естественной (природной) влажности и в водонасыщенном состоянии. Первое состояние в реальных условиях соответствует случаю, когда влажность грунтов основания практически не изменяется в процессе строительства и эксплуатации здания (сооружения). Второе – предполагает возможность увеличения влажности (или даже полного водонасыщения) грунтового основания в период строительства и эксплуатации здания (сооружения).

Учитывая ограниченность академического времени, отведенного на выполнение лабораторной работы, невозможно в точности выполнить все условия, оговоренные стандартом на проведение испытаний. Поэтому значения полученных прочностных характеристик будут весьма приближенными к действительным. Вместе с тем, выполнение лабораторной работы дает достаточно полное представление о методике испытаний. При выполнении работы условно считается, что грунт находится в состоянии естественной влажности, все необходимые физи-

ческие характеристики грунта определены заранее и испытания проводятся методом консолидировано-дренированного сдвига в соответствии с ГОСТ 12248.1-2020 [5].



Рис. 2.1. Срезной прибор системы «Гидропроект»
в лаборатории кафедры ИГОФ

Приборы и оборудование, используемые для испытаний

- прибор одноплоскостного среза системы «Гидропроект» (рис. 2.1);
- три образца природной влажности, предварительно обжатые давлениями $\sigma_1 = 0,1$ МПа; $\sigma_2 = 0,2$ МПа; $\sigma_3 = 0,3$ МПа, рабочей площадью $A = 40 \text{ см}^2$, высотой $h = 35$ мм, заключенные в режущие металлические кольца указанных размеров;
- индикатор деформаций часового типа с ценой деления шкалы $0,01$ мм и пределом измерения до 10 мм;
- набор лабораторных гирь весом от 4 до 40 Н;
- секундомер.

Последовательность проведения испытаний и обработка результатов (рис. 2.2)

1. Образец грунта № 1 (1), размещенный в режущем кольце (2) и снабженный бумажными фильтрами по нижней и верхней

граням (9 и 10), устанавливается в подвижную часть срезной коробки прибора (4) и продавливается с помощью перфорированного штампа (6) в нижнюю часть кольца (3) неподвижной части срезной коробки (5) до касания его нижней плоскости перфорированного днища (7).

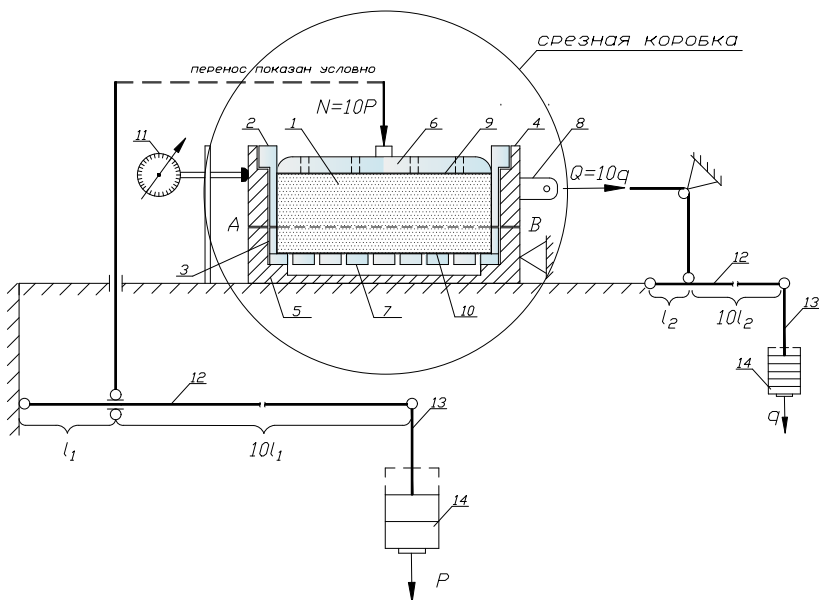


Рис. 2.2. Принципиальная схема

сдвигового прибора системы «Гидропроект»:

- 1 – грунтовый образец; 2 – режущее кольцо (верхняя часть);
- 3 – нижняя часть кольца; 4 – подвижная часть срезной коробки;
- 5 – неподвижная часть срезной коробки; 6 – загрузочный перфорированный штампик; 7 – перфорированное днище;
- 8 – сцепное устройство; 9, 10 – фильтровальная бумага;
- 11 – индикатор деформаций; 12 – рычажная система;
- 13 – подвеска; 14 – гири; AB – плоскость среза

2. С помощью рычажной системы (12), снабженной подвеской (13) для размещения гирь (14), через загрузочный штампик (6) на верхнюю грань образца грунта передается равномерно распределенное вертикальное давление $\sigma_1 = 0,1$ МПа (вес гири на подвеске $P_1 = 40$ Н $\cong$ 4 кгс). Значения веса гири и вертикального давления заносятся в табл. 2.1 (графы 2 и 3).

Таблица 2.1

Журнал наблюдений

Ступень нагрузки	Вес гирь на подвеске P_i , Н	Нормальное напряжение $\sigma_i = 10P_i/A$, МПа	Вес гирь на подвеске q_i , Н	Касательное напряжение $\tau_i = 10q_i/A$, МПа	Деформация образца δ_i , мм
1	2	3	4	5	6
Образец № 1					
0	40	0,1	0	0	$\delta_1 = 0,00$
1	40	0,1	4	0,01	$\delta_2 > \delta_1$
2	40	0,1	8	0,02	$\delta_3 > \delta_2$
...	...	...	и т.д. до $\delta_i \geq 5$ мм или среза образца		
Образец № 2					
0	80	0,2	0	0	$\delta_1 = 0,00$
1	80	0,2	8	0,02	$\delta_2 > \delta_1$
2	80	0,2	16	0,04	$\delta_3 > \delta_2$
...	...	...	и т.д. до $\delta_i \geq 5$ мм или среза образца		
Образец № 3					
0	120	0,3	0	0	$\delta_1 = 0,00$
1	120	0,3	12	0,03	$\delta_2 > \delta_1$
2	120	0,3	24	0,06	$\delta_3 > \delta_2$
...	...	...	и т.д. до $\delta_i \geq 5$ мм или среза образца		

3. На опорный выступ подвижной части срезной коробки (4) горизонтально устанавливается индикатор деформаций часового типа (11) с выведенным в крайнее (к циферблату) положение штифтом прибора для возможности измерения последующих деформаций среза образца грунта (движение подвижной части срезной коробки от индикатора деформаций).

4. Регистрируется начальный отсчет по индикатору деформаций, который заносится в журнал наблюдений (табл. 2.1, ступень нагрузки 0, графа 6), соответствующий нулевой нагрузке на сдвиговой подвеске прибора. Для упрощения последующих

вычислений рекомендуется посредством вращения регулируемого винта штифта индикатора деформаций и/или обода его циферблата установить начальный отсчет равным нулю (0,00 мм).

5. К подвижной части срезной коробки (т.е. к образцу грунта) через сцепное устройство (8) прикладывается первая ступень нагрузки $Q_1 = 40 \text{ Н}$ (вес гири на подвеске $q_1 = 4 \text{ Н} \cong 0,4 \text{ кгс}$ – графа 4 табл. 2.1).

6. По формуле $\tau_1 = 10q_1/A$ вычисляется значение касательного напряжения на первой ступени нагрузки, развивающегося в грунтовом образце на площадке AB (рис. 2.3), – графа 5 табл. 2.1.

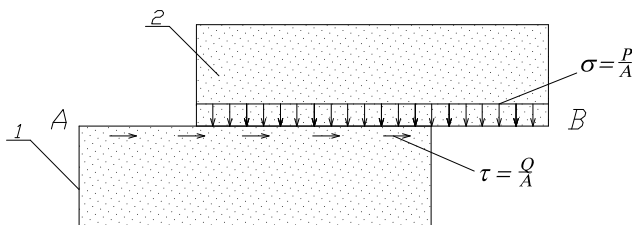


Рис. 2.3. Схема распределения напряжений на площадке (плоскости) среза AB :

1, 2 – соответственно неподвижная и подвижная части образца грунта; σ , τ – соответственно нормальное и касательное напряжения на площадке среза, МПа

7. После достижения стабилизации горизонтальных (сдвиговых) деформаций грунтового образца отсчет со шкалы индикатора деформаций фиксируется и заносится в строку, соответствующую приложенной нагрузке (графа 6, табл. 2.1). Скорость деформации, соответствующая условной стабилизации деформации, составляет 0,01 мм/мин и контролируется с помощью секундомера (в учебных целях, по указанию преподавателя, ведущего занятия, указанная скорость может быть увеличена).

8. К образцу грунта прикладывается следующая ступень горизонтальной нагрузки $Q_2 = 40 \text{ Н}$ (суммарный вес гирь на подвеске $q_2 = 8 \text{ Н} \cong 0,8 \text{ кгс}$ – графа 4 табл. 2.1). Вычисляется τ_2 (графа 5 табл. 2.1).

9. После достижения стабилизации горизонтальных (сдвиговых) деформаций грунтового образца отсчет со шкалы индикатора деформаций фиксируется и заносится в строку, соответствующую приложенной нагрузке (графа 6, табл. 2.1).

Примечание. Указанные выше операции повторяются до тех пор, пока не произойдет сдвиг грунтового образца, характеризующийся незатухающими горизонтальными деформациями (срезом) или общей деформацией сдвига, превышающей 5 мм.

10. Прибор разгружается (подвески освобождаются от гирь, первый образец удаляется из срезной коробки), аналогичным образом проводятся испытания со вторым, а затем третьим образцами грунта. Следует иметь в виду, что вертикальное давление σ_2 на образец № 2 в процессе испытаний должно составлять 0,2 МПа (вес гирь на подвеске 80 Н), а степень горизонтальной нагрузки $Q_i = 80$ Н (вес гири $q_i = 8$ Н). Для образца № 3, соответственно, $\sigma_3 = 0,3$ МПа (вес гирь на подвеске 120 Н), $Q_i = 120$ Н (вес гири $q_i = 12$ Н).

11. Используя значения вертикальных напряжений (давлений) на образцы грунта ($\sigma_1 = 0,1$ МПа, $\sigma_2 = 0,2$ МПа, $\sigma_3 = 0,3$ МПа) и значения полученных касательных напряжений на площадке сдвига в момент среза каждого из образцов грунта ($\tau_{1,пред}$, $\tau_{2,пред}$, $\tau_{3,пред}$ – соответственно последние строки графы 5 табл. 2.1), строится график зависимости $\tau = f(\sigma)$ (рис. 2.4).

Примечание. Согласно теории предельного напряженного состояния, зависимость между нормальными и касательными напряжениями на площадке сдвига для глинистого грунта описывается законом Ш.О. Кулона: $\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$, где φ и c – показатели прочности грунта (угол внутреннего трения и удельное сцепление соответственно). Графической интерпретацией этого закона является прямая линия, которая должна проходить через три точки в системе координат $\sigma - \tau$. В реальных условиях эксперимента этого, как правило, не наблюдается из-за природной неоднородности грунта, принятой дискретности сдвигающего усилия и неизбежных погрешностей, сопровождающих любой опыт. По этой причине прямая

линия проводится с использованием принципа равных погрешностей, т.е. разброс точек должен быть по возможности одинаковым (см. рис. 2.4). Для выполнения данного условия обычно применяется метод наименьших квадратов.

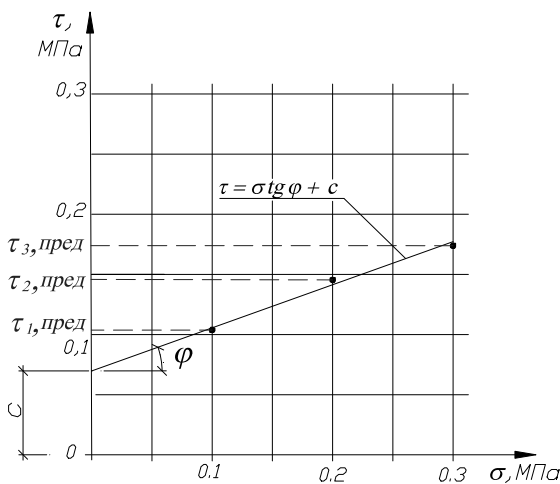


Рис. 2.4. График зависимости сопротивления срезам (τ) глинистого грунта от нормального давления (σ)

12. По построенному графику с использованием координатных осей и простейших тригонометрических расчетов определяются значения показателей φ и c , которые записываются в разделе «Вывод» отчета о лабораторной работе.

Выполненная лабораторная работа оформляется студентами в виде [индивидуального отчета](#), содержащего: титульный лист, цель работы, перечень и схемы используемых приборов и оборудования, заполненный в полном объеме журнал наблюдений, график зависимости между нормальными и касательными напряжениями на площадке сдвига $\tau = f(\sigma)$, выводы о полученных значениях показателей прочности φ и c .

Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ ИСПЫТАНИЯ ШТАМПОМ

Цель работы – определение модуля деформации грунта E (МПа) моделированием натуральных (полевых) штамповых испытаний в условия лабораторного грунтового лотка.

Общее представление об определении характеристики деформируемости грунта в реальных условиях строительной площадки методом испытания штампом и моделировании процесса в лабораторных условиях

Основная характеристика деформируемости грунта, используемая в расчетах осадки оснований и фундаментов, – модуль деформации E . Один из наиболее достоверных способов его определения – испытание грунта статической нагрузкой в реальных условиях строительной площадки. Принципиальная схема установки для испытаний грунта штампом в шурфе приведена на рис. 3.1.

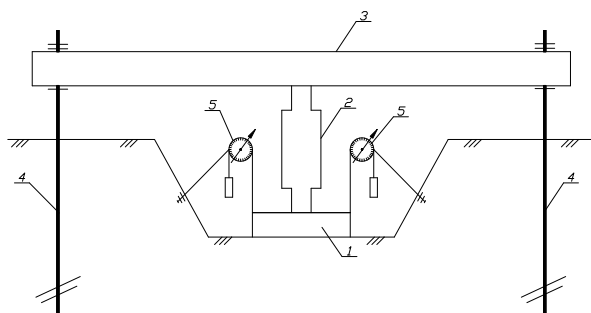


Рис. 3.1. Схема установки для испытания грунта штампом в шурфе:

1 – жесткий штамп; 2 – домкрат; 3 – упорная балка;
4 – анкерная свая; 5 – измеритель деформаций (прогибомер)

На дно шурфа устанавливается и притирается к основанию жесткий штамп (1). С помощью домкрата (2), упирающегося в балку (3), соединенную с анкерными сваями (4), на штамп прикладывается ступенчато возрастающая статическая нагрузка. Деформации основания под подошвой штампа фиксируются посредством прогибомеров (5), соединенных со штампом.

По полученным данным строится график зависимости совместной осадки основания и штампа от прикладываемого давления (рис. 3.2). Кривая, выражающая эту зависимость в пределах небольших давлений, как правило близка к прямой (линейная зависимость между напряжениями и деформациями), что позволяет определять модуль деформации с использованием теории упругости по формуле

$$E = p \cdot d \cdot \omega \cdot (1 - v^2)/s,$$

где p – давление под подошвой штампа на участке линейной зависимости $s = f(p)$; d – диаметр штампа; ω – коэффициент, учитывающий форму подошвы штампа; v – коэффициент бокового расширения грунта; s – осадка штампа, соответствующая принятому давлению p .

Методика проведения штамповых испытаний и обработка результатов регламентируются ГОСТ 20276.1-2020 [4].

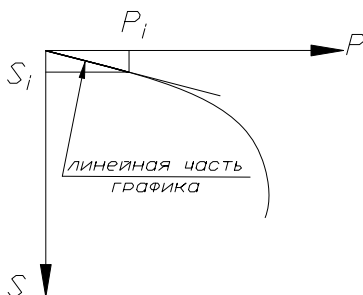


Рис. 3.2. График зависимости осадки штампа (S) от давления под подошвой (P)

В настоящей лабораторной работе реальный процесс определения модуля деформации грунта моделируется в лабораторных условиях с использованием штампа малых размеров, имеющего прямоугольную форму подошвы и расположенного в грунтовой лотке на песке средней крупности (рис. 3.3). Нагрузка на штамп передается с помощью механического винтового домкрата и контролируется посредством измерительной системы пружинного динамометра. Совместная осадка основания и штампа регистрируется прогибомерами. Модуль деформации грунта вычисляется на основании полученных экспериментальных данных по приведенной выше формуле.



Рис. 3.3. Установка для штамповых испытаний в грунтовой лотке кафедры ИГОФ

Приборы и оборудование, используемые для испытаний

- лабораторный грунтовый лоток размерами $0,4 \times 0,9 \times 0,5$ (высота) м, оснащенный винтовым домкратом и заполненный на $0,45$ м по высоте песком средней крупности (см. рис. 3.3);
- модель жесткого штампа с размерами подошвы: длина $0,37$ м, ширина $0,1$ м;
- пружинный динамометр с индикатором деформаций и градуировочным графиком;
- прогибомеры конструкции Максимова (2 шт.).

Последовательность проведения испытаний и обработка их результатов (рис. 3.4)

1. На выровненную горизонтальную поверхность грунтового основания – предварительно засыпанный в лоток и уплотненный песок (подготовку проводит лаборант кафедры перед началом лабораторной работы), поперек лотка устанавливается модель жесткого штампа (1). Для обеспечения надежного контакта модель притирается к грунту (2) легкими возвратно-поступательными перемещениями.

2. По центру верхней грани штампа устанавливается пружинный динамометр (3), который соединяется с винтовым механическим домкратом (4), жестко прикрепленным к силовой упорной балке (5).

3. Для измерения осадок штампа к силовой опорной балке струбцинами прикрепляются два прогибомера Максимова (6), а свободные концы их струн (7) соединяются с противоположными краями верхней грани штампа.

4. На индикаторах динамометра и прогибомеров выставляются нулевые отсчеты (для удобства вычислений) и заносятся в графы 2–6 первой строки табл. 3.1.

5. Плавным вращением рукоятки механического домкрата на штамп прикладывается первая ступень нагрузки ($N_1 = 0,33$ кН), соответствующая отсчету по индикатору дина-

мометра $\delta_{дин,1} = 0,05$ мм (рис. 3.5) и вычисляется давление под подошвой штампа $p_1 = N_1/A = 0,33/0,037 \approx 9,0$ кПа. Полученные результаты заносятся соответственно в графы 2–4 второй строки табл. 3.1.

6. После стабилизации деформаций грунтового основания (в учебных целях это время может быть принято равным 0,5–1,0 мин) по прогибомерам регистрируются значения осадки противоположных краев штампа $\delta_{пр,1,1}$ и $\delta_{пр,2,1}$. По формуле $S_1 = (\delta_{пр,1,1} + \delta_{пр,2,1})/2$ вычисляется совместная осадка основания и штампа под центром его подошвы. Результаты заносятся в графы 5–7 второй строки табл. 3.1.

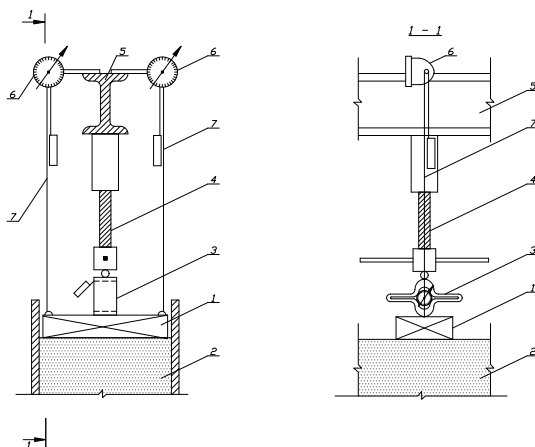


Рис. 3.4. Схема лабораторной установки для испытания грунта штамповым методом:
 1 – штамп; 2 – грунт; 3 – пружинный динамометр с индикатором; 4 – винтовой механический домкрат;
 5 – упорная балка; 6 – прогибомер Максимова;
 7 – струна с грузом

Таблица 3.1

Журнал наблюдений

Геометрические характеристики штампа: $b = 0,1 \text{ м}$; $l = 0,37 \text{ м}$; $A = b \times l = 0,037 \text{ м}^2$						
№ п/п	Отсчет по индикатору динамометра $\delta_{дин, i}$, мм	Нагрузка на штамп N_i , кН	Давление на грунт под подошвой штампа $p_i = N_i/A$, кПа	Отсчет по прогибомеру		Осадка штампа S_i , см
				$\delta_{пр.1,i}$, см	$\delta_{пр.2,i}$, см	
1	2	3	4	5	6	7
0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1	0,05	0,33	~ 9,0			
2	0,10	0,67	~ 18,0			
3	0,15	1,00	~ 27,0			
...	...	...	...	и т.д. до выпора грунта		ВЫПОР

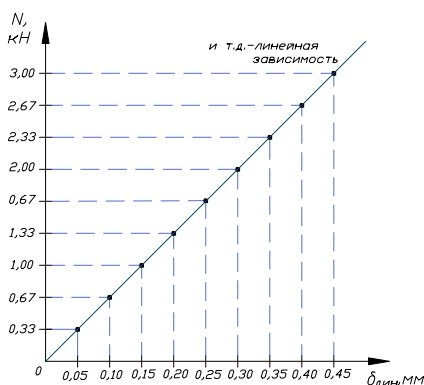


Рис. 3.5. Градуировочный график динамометра

7. На штамп последовательно прикладываются очередные ступени нагрузки. После стабилизации деформаций каждой ступени регистрируются значения осадок штампа и заносятся в соответствующие графы табл. 3.1. Опыт продолжается до появления первых признаков выпора грунта из-под подошвы штампа. Данное явление характеризуется резким возрастанием осадки штампа без увеличения нагрузки на него.

8. По данным журнала наблюдений (графы 4 и 7 табл. 3.1) строится график зависимости совместной осадки основания

и штампа (S) от давления под подошвой фундамента (P) (см. рис. 3.2).

9. Вычисляется модуль деформации грунта (E) с использованием линейной части графика зависимости осадки штампа от давления под его подошвой (рис. 3.2) по формуле Ф. Шлейхера:

$$E = p \cdot d \cdot \omega \cdot (1 - \nu^2)/s,$$

где p – давление под подошвой фундамента, принятое на линейной части графика, кПа; s – соответствующая этому давлению осадка, м; d – ширина подошвы штампа, м; ω – коэффициент, зависящий от формы подошвы штампа, для абсолютно жесткого штампа $\omega = 1,56$ д.е. [6, табл. V.2]; ν – коэффициент бокового расширения песка, для песка средней плотности $\nu = 0,33$ [2, табл. 5.10].

10. В зависимости от значения E определяется степень деформируемости грунта в соответствии с [1, прил. В (рекомендуемое)] (табл. 3.2);

11. В отчет заносятся сформулированные выводы по проделанной лабораторной работе.

Таблица 3.2 [1, прил. В]
Степень сжимаемости дисперсных грунтов
в зависимости от модуля деформации E

Разновидность грунтов	Модуль деформации, МПа
Очень сильно деформируемые	$E \leq 5$
Сильнодеформируемые	$5 < E \leq 10$
Среднедеформируемые	$10 < E \leq 50$
Слабдеформируемые	$E > 50$

Выполненная лабораторная работа оформляется студентами в виде [индивидуального отчета](#), содержащего: титульный лист, цель работы, перечисление используемых приборов и схем оборудования, заполненный в полном объеме журнал наблюдений, график зависимости $S = f(P)$ по результатам испытаний, выводы о деформируемости грунта в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25100-2020 [1].

Лабораторная работа № 4.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСАДОЧНОСТИ
ГРУНТА ПРИ ЕГО ЗАМАЧИВАНИИ
МЕТОДОМ «ДВУХ КРИВЫХ»

Цель работы – определение показателей просадочности грунта: ε_{sl} – относительная просадочность (д.е.), P_{sl} – начальное просадочное давление (МПа).

Общие представления об определении
показателей просадочности грунта
при его замачивании под нагрузкой

Под термином «просадочность» понимается способность грунта к дополнительной деформации при его водонасыщении и действии внешней нагрузки и/или собственного веса грунта. Просадочными свойствами могут обладать некоторые разновидности глинистых грунтов с неустойчивой структурой, у которых связи между частицами при насыщении водой ослабевают и разрушаются даже при относительно небольших нагрузках (лессы и лессовидные макропористые грунты). Свойства просадочности могут проявлять также пылеватые пески и некоторые разновидности других дисперсных рыхлых (особенно насыпных) грунтов.

К проявлению деформации просадки часто приводит повышение температуры мерзлых (в том числе вечномерзлых) грунтов вследствие потери ледяных связей между частицами при оттаивании. Еще одним фактором, способствующим появлению дополнительной деформации просадки, может являться вибрационное воздействие на грунт. Два последних фактора в настоящей лабораторной работе не рассматриваются.

Лабораторная работа № 4 посвящена исследованию поведения лессовидного просадочного грунта при замачивании под действием внешней нагрузки. Показателями просадочности такого грунта в соответствии с ГОСТ 23161-2012 [7] являются относительная просадочность (ε_{sl} , д.е.) и начальное просадочное

давление (P_{sl} , МПа), определяемые в лабораторных условиях методом «одной кривой» и методом «двух кривых».

Относительная просадочность (ε_{sl}) – отношение приращения деформации, вызванной воздействием заданной ступени нагрузки на полностью водонасыщенный образец грунта, к первоначальной высоте образца грунта при его естественной влажности и природном давлении.

Начальное просадочное давление (P_{sl}) – минимальное давление, при котором проявляются просадочные свойства грунта при его полном водонасыщении и относительной просадочности $\varepsilon_{sl} = 0,01$.

Метод «одной кривой»

При данном методе значение относительной просадочности (ε_{sl}) получают только при одном фиксированном значении нагрузки, а испытанию подвергается только один образец грунта:

1) образец нагружается сначала без обводнения (при естественной, т.е. природной, влажности);

2) при определенной фиксированной нагрузке (без ее изменения) образец подвергается полному водонасыщению;

3) появляются дополнительные деформации образца (просадки);

4) строится график зависимости изменения высоты образца грунта от прикладываемого давления (рис. 4.1), по которому определяются высоты образца на разных этапах нагружения:

- h_0 – начальная высота образца грунта,
- $h_{n,p}$ – высота образца грунта естественной влажности при давлении σ_i ,
- $h_{sat,p}$ – высота водонасыщенного образца грунта при том же давлении σ_i ,
- $h_{n,g}$ – высота образца грунта естественной влажности при природном давлении σ_g .

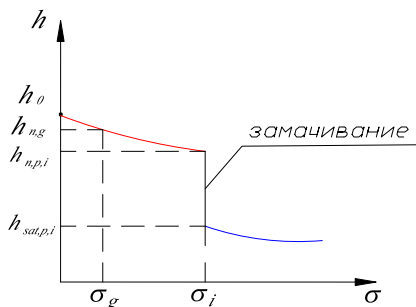


Рис. 4.1. Принципиальный вид графика результатов испытания грунта методом «одной кривой»

Относительная просадочность (ε_{sl}) вычисляется по формуле из нормативных источников [2, 7]

$$\varepsilon_{sl} = (h_{n,p} - h_{sat,p})/h_{n,g}.$$

Метод «двух кривых»

В случае использования данного метода испытанию подвергаются два образца-«близнеца» грунта, отобранные из одного монолита или шурфа, один из которых загружается ступенчато увеличивающейся нагрузкой только при естественной влажности, другой – только в водонасыщенном состоянии. После стабилизации деформаций измерительными приборами фиксируются изменения высот образцов и строятся графики зависимости изменения этих высот от прикладываемого на образцы грунта давления (рис. 4.2). Метод позволяет определить значения относительной просадочности по всему диапазону прикладываемых давлений. Для этого необходимо на оси абсцисс (σ) выбрать требуемое давление, по оси ординат (h) определить соответствующие этому давлению высоты образцов и по формуле, приведенной выше, вычислить относительную просадочность грунта (ε_{sl}). При значениях $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$, в соответствии с нормами [1], грунт должен быть отнесен к категории просадочных, а при $\varepsilon_{sl} < 0,01$ – к категории непросадочных грунтов.

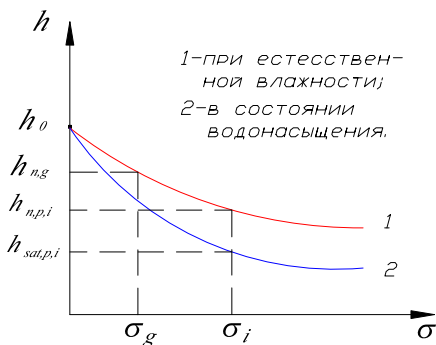


Рис. 4.2. Принципиальный вид графика результатов испытания грунта методом «двух кривых»

Начальное просадочное давление (P_{sl}) может быть определено по графику (рис. 4.3), который строится на основании полученных по вышеизложенной методике характеристик просадочности. Для этого через точку, соответствующую значению $\varepsilon_{sl} = 0,01$ (ось ординат графика), проводится горизонтальная линия до пересечения с графиком зависимости $\varepsilon_{sl} = f(\sigma)$. Точка пересечения проецируется на ось абсцисс. Значение давления в этой точке и будет соответствовать начальному просадочному давлению (P_{sl}).

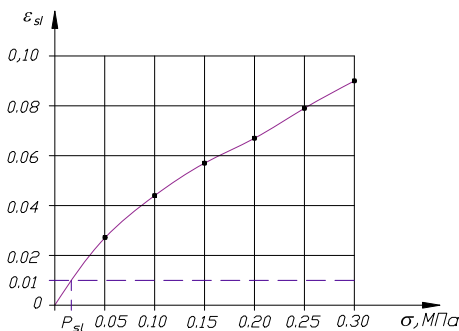


Рис. 4.3. Определение начального просадочного давления (P_{sl}) по результатам испытаний образцов грунта

Настоящая лабораторная работа посвящена определению характеристик просадочности грунта методом «двух кривых».

**Приборы и оборудование,
используемые для испытаний**

– учебный компрессионный прибор конструкции Знаменского КП-1 – 2 шт. (рис. 4.4);



Рис. 4.4. Учебные компрессионные приборы КП-1
в лаборатории кафедры ИГОФ

– образец грунта № 1 естественной (природной) влажности и ненарушенной структуры (рабочая площадь $A = 40 \text{ см}^2$, высота $h = 20 \text{ мм}$), заключенный в режущее металлическое кольцо указанных размеров;

– образец грунта № 2 (размеры аналогичны размерам образца № 1), отобранный из одного с образцом № 1 монолита и доведенный до состояния полного водонасыщения;

– индикатор деформаций часового типа с ценой деления шкалы $0,01 \text{ мм}$ и пределом измерения до 10 мм ;

– набор лабораторных гирь весом по 20 Н (общий вес гирь 120 Н).

Последовательность проведения испытаний (рис. 4.5)

1. Образец грунта № 1 естественной (природной) влажности (1), размещенный в режущем кольце (2) и снабженный бумажными фильтрами по нижней и верхней граням (3, 4), устанавливается на перфорированное днище (6) поддона (7) одометра компрессионного прибора и закрепляется гильзой (5).

2. На верхнюю грань образца грунта устанавливается перфорированный загрузочный штампик (8) с центрирующим шариком (9), который соединяется с рычажной системой (10), снабженной подвеской (11) для размещения гирь (12). Посредством винтового устройства обеспечивается контакт центрирующего шарика с элементом рычажной системы и осуществляется выведение основного загрузочного рычага в рабочее положение (рычаг должен быть расположен горизонтально и иметь возможность перемещения вниз в направляющей прорези корпуса прибора).

3. На опорный столик верхней штанги рычажной системы устанавливается индикатор деформаций часового типа (13) с выведенным в верхнее положение штифтом прибора для возможности измерения последующих деформаций уплотнения образца грунта (движения загрузочного штампа вниз).

4. Регистрируется начальный отсчет по индикатору деформаций, который заносится в журнал наблюдений – первая строка табл. 4.1, соответствующая нулевой нагрузке на подвеске прибора. Для упрощения последующих вычислений рекомендуется посредством вращения регулировочного винта штифта индикатора деформаций и/или обода его циферблата установить начальный отсчет равным нулю (0,00 мм).

5. Установкой подвески с гирей на рычаг прибор загружается первой ступенью нагрузки ($20 \text{ Н} \cong 2 \text{ кгс}$). После стабилизации (затухания) деформации (осадки) образца в журнал наблюдений вносится новое показание индикатора. Следует учесть, что подвеска имеет собственный вес, равный $10 \text{ кН} \cong 1 \text{ кгс}$, и для достижения требуемой нагрузки первой ступени на нее требуется установить гирю весом 10 Н . В связи с длительным временным интервалом, требующимся для полной стабилизации

деформаций (осадок) образца грунта после каждой ступени нагружения (например, в соответствии с ГОСТ [3] для глинистых грунтов она измеряется приращением осадки на 0,01 мм за 16 ч), и ограниченным временем, отведенным для проведения лабораторной работы, в учебных целях допускается принимать стабилизацию деформаций условной, закачивающейся через 2–5 мин (по указанию преподавателя) после приложения очередной ступени нагрузки.

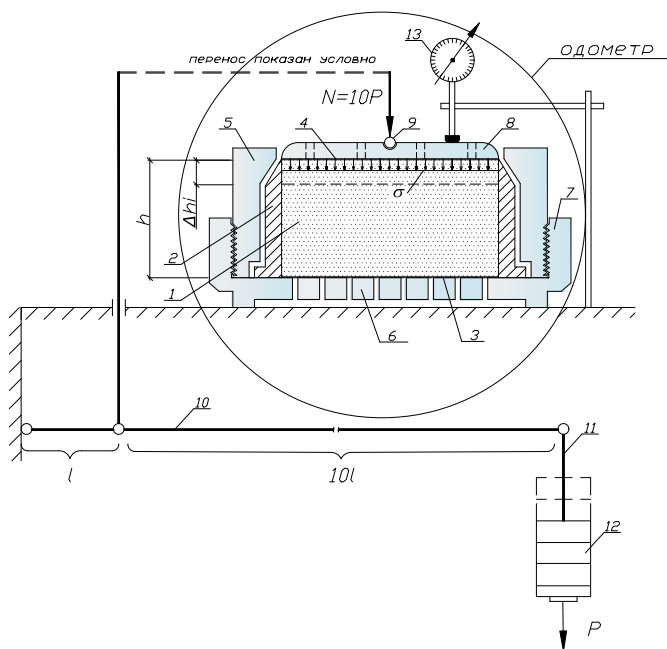


Рис. 4.5. Принципиальная схема учебного компрессионного прибора (КП-1):
 1 – грунтовый образец; 2 – режущее кольцо;
 3, 4 – фильтровальная бумага; 5 – гильза; 6 – перфорированное днище; 7 – поддон; 8 – грузочный перфорированный штампик;
 9 – центрирующий шарик; 10 – рычажная система;
 11 – подвеска; 12 – гири; 13 – индикатор деформаций часового типа

6. Последовательно производится загрузка прибора очередными ступенями увеличивающейся нагрузки (шаг возрастающей нагрузки на подвеске 20 Н, что соответствует изменению вертикального давления на образец на 0,05 МПа до максимального давления $\sigma = 0,30$ МПа) с записью показаний индикатора после стабилизации деформаций каждой ступени в журнал наблюдений (табл. 4.1). Следует иметь в виду, что индикатор фиксирует полные деформации, включающие упругие деформации элементов самого компрессионного прибора, а истинные значения деформаций образца грунта могут быть получены посредством вычитания значений упругих деформаций прибора (поправок) из общих деформаций, зафиксированных индикатором. Без существенных погрешностей в учебном эксперименте эти поправки рекомендуется не учитывать.

7. Параллельно испытанию образца № 1 на другом приборе (при необходимости последовательно) по указанной выше методике выполняется испытание образца № 2 в полностью водонасыщенном состоянии с внесением необходимых результатов в табл. 4.1. Замачивание образца грунта осуществляется лаборантом кафедры не менее чем за 3 ч до начала выполнения лабораторной работы посредством заполнения поддона с размещенным в нем одометром (включает образец грунта) водой.

8. По завершении испытаний (полный вес подвесок с гирями на приборах составляет 120 Н) выполняется обработка исходных данных в табл. 4.1 с целью вычисления показателя относительной просадочности грунта (ε_{sl}). Строятся графики: 1) зависимости изменения высот образцов грунта (h_i) от прикладываемого на них давления (σ); 2) зависимости относительной просадочности (ε_{sl}) от прикладываемого на образцы давления (σ), по которому находится значение начального просадочного давления (P_{sl}). Формулируется вывод о просадочности грунта в соответствии с ГОСТ 25100-2020 [1].

Таблица 4.1

Журнал наблюдений

Вес гирь P_i , Н	Вертикаль- ные напря- жения $\sigma_i = 10Pi/A$, МПа	Образец № 1 естественной влажности		Образец № 2 в состоянии водонасыщения		Разница высот $\Delta h_i =$ $= h_{np,i} -$ $- h_{sat,p,i}$ мм	Относитель- ная проса- дочность $\varepsilon_{sl,i}$, д.е.
		Абсолютная деформация $\Delta h_{n,p,i}$ мм	Высота $h_{n,p,i} = h_0 -$ $- \Delta h_{n,p,i}$ мм	Абсолютная деформация $\Delta h_{sat,p,i}$ мм	Высота $h_{sat,p,i} = h_0 -$ $- \Delta h_{sat,p,i}$ мм		
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,00	0,00	20,00	0,00	20,00	0,00	—
20	0,05						
40	0,10						
60	0,15						
80	0,20						
100	0,25						
120	0,30						

Обработка результатов испытаний (табл. 4.1)

1. На основании внесенных в графу 1 сведений о весе гирь на подвеске прибора (P_i , Н) вычисляются вертикальные давления на образец грунта для каждой ступени нагружения (σ_i , МПа), которые заносятся в графу 2. Формула для расчета давлений $\sigma = 10P/A$, где 10 – коэффициент увеличения нагрузки за счет соотношения плеч рычажной системы, A – площадь поперечного сечения образца грунта ($A = 40 \text{ см}^2$).

2. По значениям абсолютных деформаций образцов (графы 3, 5) и известной начальной высоте образцов ($h_0 = 20 \text{ мм}$) вычисляются значения высот образцов после загрузки (графы 4, 6), а также их разница (графа 7).

3. По графам 2, 4, 6 строится график зависимости высот образцов грунта от прикладываемого на них давления $h = f(\sigma)$ (рис. 4.2).

4. По формуле $\varepsilon_{sl} = (h_{n,p,i} - h_{sat,p,i})/h_{n,g}$ вычисляется относительная просадочность грунта (графа 8). Значение высоты образца естественной влажности ($h_{n,g}$), обжатого природным давлением $\sigma_{z,g} = H_{омб} \gamma_{II}$, рекомендуется определять по графику (рис. 4.2), приняв в учебных целях глубину отбора образца $H_{омб} = 2,5 \text{ м}$, а удельный вес грунта $\gamma_{II} = 20 \text{ кН/м}^3$.

5. По графам 2 и 8 строится график зависимости относительной просадочности от давления на образцы грунта $\varepsilon_{sl} = f(\sigma)$ (рис. 4.3).

6. По графику зависимости относительной просадочности от давления на образцы грунта (рис. 4.3) определяется значение начального просадочного давления (P_{sl}).

7. Формулируются и заносятся в отчет выводы по работе.

Выполненная лабораторная работа оформляется студентами в виде индивидуального отчета, содержащего: титульный лист, цель работы, перечисление и схемы используемых приборов оборудования, заполненный в полном объеме журнал наблюдений, графики по результатам испытаний, выводы о просадочности грунта в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25100-2020 [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация : взамен ГОСТ 25100-2011 : введ. 2021-01-01 (Поправка ИУС № 7-2023). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302> (дата обращения: 01.06.2024).
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83* : изм. 1–4 : введ. 2017-07-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206> (дата обращения: 01.06.2024).
3. ГОСТ 12248.4-2020. Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия : взамен ГОСТ 12248.4-2010, подраздел 5.4 : введ. 2021-06-01 (Поправка ИУС № 7-2023). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566409071> (дата обращения: 01.06.2024).
4. ГОСТ 20276.1-2020. Грунты. Метод испытания штампом : взамен ГОСТ 20276-2012 в части метода испытания штампом : введ. 2021-01-01 (Поправка ИУС № 7-2023). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174754> (дата обращения: 01.06.2024).
5. ГОСТ 12248.1-2020. Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза : взамен ГОСТ 12248.1-2010, подраздел 5.1 : введ. 2021-06-01 (Поправки ИУС 4-2021, ИУС № 7-2023). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566409068> (дата обращения: 01.06.2024).

6. Цытович, Н. А. Механика грунтов. Краткий курс : учебник / Н. А. Цытович. – Москва : Либрокон, 2009. – 272 с.
7. ГОСТ 23161-2012. Метод лабораторного определения характеристик просадочности : взамен ГОСТ 23161-78 : введ. 2013-07-01 : переиздание сентябрь 2019 г. (Поправка ИУС № 6-2022). – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096131> (дата обращения: 01.06.2024).

Составители

Татьяна Аскольдовна Якушкина
Станислав Викторович Линовский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Геотехника» для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 08.03.01
«Строительство» всех форм обучения

Корректор А.И. Боева

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
