

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра механики грунтов, оснований и фундаментов

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«МЕХАНИКА ГРУНТОВ»**

**Методические указания
для студентов, обучающихся по направлению
Строительство 653500**

МОСКВА 2009

С о с т а в и т е л и

профессор, к.т.н. Л.И. ЧЕРКАСОВА
доцент С.М. ПРОСКУРЯКОВ
профессор, к.т.н. И.М. ЮДИНА

Р е ц е н з е н т

доцент А.М. КОРНИЛОВ

Р е д а к ц и я и р и с у н к и

доцент, к.т.н. А.Г. ПАУШКИН

ПРЕДИСЛОВИЕ

В программу курса «Механика грунтов» включено 5 лабораторных работ по определению физических и механических характеристик грунтов.

Методические указания могут быть использованы в следующих целях:

- подготовка студентов к проведению лабораторных работ;
- самостоятельная работа по разделам курса;
- подготовка к сдаче зачета.

Студент должен знать цель каждой лабораторной работы, нарисовать схему прибора, рассказать последовательность выполнения работы и методику обработки опытных данных, построить графики, отображающие полученные зависимости и объяснить, как определяются соответствующие физические и механические характеристики грунтов, для каких расчетов они используются.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТАХ

Грунтом называется любая горная порода, используемая при строительстве в качестве основания сооружения, среды, в которой сооружение возводится, или материала для сооружения. Грунт представляет собой трехфазную среду, состоящую из частиц грунта, воды и газа. Размер, форма и количественное соотношение слагающих породу частиц определяют структуру грунта. Пространственное расположение элементов определяет текстуру грунта.

Грунты подразделяются на скальные и нескальные. В нескальных грунтах, в отличие от скальных, прочность связей между частицами во много раз меньше прочности самих частиц. Твердые частицы могут иметь различные размеры, форму и свойства. Различают минеральные частицы (песчаные и глинистые), и частицы органического происхождения.

В лабораторных работах курса «Механика грунтов» студент обучается определять свойства нескальных (дисперсных) грунтов, не имеющих органических включений. Песок – несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером меньше 2мм составляет более 50%. Песчаные частицы образовались в результате механического разрушения горных пород, имеют округлую форму и размеры больше 0,1мм.

Глинистые частицы, образовавшиеся в результате химического разложения пород, имеют пластинчатую или игольчатую форму и размеры меньше 0,005мм. Глинистый грунт – связный грунт. Вода, входящая в состав грунтов, находится в свободном и связанном состоянии. Связанная вода, в отличие от свободной, покрывает частицы грунта тонким слоем (доли микрона) и способствует возникновению между частицами грунта водно-коллоидных связей. Прочность связей зависит от крупности и формы частиц.

Взаимодействие компонентов грунта и их соотношение определяют физико-механические свойства (характеристики) грунтов.

Физические характеристики грунтов отражают свойства грунтов в естественном состоянии и позволяют оценить их прочность.

Механические характеристики грунтов отражают условия работы их под нагрузкой и позволяют оценить их сопротивление деформированию и разрушению.

При действии нагрузки от сооружения в основании возникают напряжения, что приводит к уплотнению грунта за счет изменения объема пор и к возникновению деформаций.

Изменение пористости грунта под нагрузкой определяется деформационными характеристиками, знание которых позволяет определить осадку здания.

При уплотнении грунта под нагрузкой возникает фильтрация воды в порах, скорость которой, а, следовательно, и скорость нарастания осадки, зависит от коэффициента фильтрации грунта.

При возникновении в грунте больших касательных напряжений возникают сдвиги частиц, которые могут привести к разрушению грунта. Прочность грунта определяется его прочностными характеристиками, знание которых позволяет определить предельные значения неразрушающих грунт нагрузок.

Деформационные и прочностные характеристики каждого вида грунта, слагающего строительную площадку, определяются только на основании испытаний в специальных приборах. В связи с этим, перед началом проектирования на каждой строительной площадке проводятся инженерно-геологические изыскания. В их состав входит бурение скважин и установление мощности слоев грунтов, отбор образцов ненарушенной структуры и определение в лаборатории их физических и механических характеристик.

Определение всех характеристик производится в соответствии с методиками ГОСТов.

Учитывая, что грунты по своим свойствам могут быть разнородны, а также возможна погрешность при отборе образцов и при проведении лабораторных исследований, по требованию ГОСТа все характеристики определяются как средние из нескольких определений (не менее 6).

В учебных целях нормативные характеристики определяются по одному опытному определению.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ»

Физические характеристики позволяют определить классификационные показатели грунтов (ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.), в частности, тип (по вещественному составу), вид (по наименованию с учетом размера частиц), разновидность (по количественным показателям свойств). Например: карбонатный (тип), песок (вид), средней плотности (разновидность); или силикатный(тип), глинистый (вид), суглинок тугопластичный (разновидность).

Характеристики грунтов природного сложения, а также искусственного происхождения (песчаные подушки, грунтовые плотины, дамбы, насыпи под дороги, застройку) должны определяться, как правило, на основе их непосредственных испытаний в полевых или лабораторных условиях. При этом часть характеристик определяется в лаборатории экспериментально, другая их часть – путем расчета по формулам, в которые входят прямо или косвенно характеристики, полученные экспериментально.

Знание типа, вида и разновидности песчаных или пылевато-глинистых грунтов, залегающих в основании проектируемого здания или сооружения, позволяет в соответствии с СНиП 2.02.01-83* получить:

- величину условного расчетного сопротивления грунта R_0 СНиП 2.02.01-83* (приложение 3 таблицы 3-1), необходимого для предварительного определения размеров площади подошвы проектируемых фундаментов, а в менее ответственных случаях (II и III класс капитальности) - для определения окончательных размеров;
- нормативные значения параметров прочности (угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c) и деформационную характеристику грунта (модуль деформации E), которые используются для предварительных расчетов оснований, а также для окончательных расчетов оснований зданий и сооружений II и III классов капитальности (СНиП 2.02.01-83* п.п.2.11; 2.16).

Разновидность крупнообломочных и песчаных грунтов определяют в зависимости от гранулометрического состава этих грунтов. Гранулометрический состав – это процентное содержание по весу частиц различной крупности (фракций) в исследуемой навеске грунта. Фракция – это совокупность частиц определенного размера, обладающих близкими свойствами. Для разделения частиц грунта по их крупности для частиц крупнее 0,1 мм используется ситовой метод, состоящий из последовательного просеивания навески крупнообломочного или песчаного грунта через сита с размерами отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм. Взвешивая остатки грунта на соответствующих ситах и выражая их в процентах от веса навески, получают процентное содержание определенной гранулометрической фракции в общем составе грунта.

Гранулометрическая фракция при этом определяется размерами предыдущих сит и сита, с которого взят не прошедший через него остаток грунта. Например, "от 2 до 1 мм", "от 0,25 до 0,1 мм" или "мельче 0,1 мм" (часть грунта, прошедшего через все сита и, в том числе, через сито с размером отверстия 0,1 мм), (Приложение, таблица 2).

Разновидность глинистых грунтов зависит от количества глинистых частиц диаметром менее 0,005 мм. Грунты, содержащие более 30% глинистых частиц относятся к глинам, от 30 до 10 % – суглинкам, от 10 до 3% – супесям, менее 3% – пескам. Гранулометрический состав глинистых грунтов определять сложно, поэтому разновидность глинистого грунта определяется по числу пластичности, которое зависит от количества глинистых частиц.

Глинистые грунты являются связными грунтами из-за содержания в них глинистых частиц, обладающих, как это указывалось выше, особыми свойствами

взаимного притяжения частиц. Величина этого взаимного притяжения зависит не только от количества в грунте глинистых частиц, но и от плотности глинистого грунта, особенно от количества воды, содержащейся в его порах. Содержание в грунте воды характеризуется показателем влажности грунта, представляющим собой отношение веса воды, содержащейся в грунте, к весу самих частиц грунта. Влажность грунта определяется экспериментально.

В зависимости от содержания в грунте воды, то есть от влажности грунта, меняются величины сил сцепления (взаимного притяжения) между частицами грунта, что влияет на его состояние, консистенцию.

Принято выделять три основных консистенции глинистого грунта – твердую, пластичную и текучую. При этом, пластичным называется такое состояние грунта, при котором он способен деформироваться под действием внешнего давления без разрыва сплошности и образования трещин и сохранить полученную форму после снятия деформирующего усилия. Если глинистый грунт не может быть отнесен к пластичной консистенции, его относят (по имеющимся признакам) к твердому состоянию или текучему. Так как переход грунта из одной консистенции в другую происходит в связи с изменением его влажности, то появляется возможность, искусственно изменяя влажность глинистого грунта, получить его состояния, соответствующие переходным состояниям грунта из пластичного состояния в твердое и из пластичного в текучее.

Величина влажности грунта, соответствующая переходному состоянию из пластичной консистенции в твердую, называется нижней границей пластичности (или границей раскатывания) и обозначается w_p .

Влажность грунта, соответствующая переходному состоянию грунта из пластичной консистенции в текучую называется верхней границей пластичности (или границей текучести) и обозначается w_L . Статистической обработкой большого числа опытов было установлено, что границы пластичности w_p и w_L коррелятивно зависят от содержания в грунте глинистых частиц. Характеристикой глинистости грунта (содержания в грунте глинистых частиц) является разность значений показателей границ пластичности или, так называемый, индекс (число) пластичности I_p .

$$I_p = w_L - w_p. \quad (1.1.)$$

Значение индекса пластичности I_p является также основной характеристикой, по которой различаются классы песчаных и глинистых грунтов.

Поскольку песчаный грунт пластичностью практически не обладает (индекс пластичности песка $I_p \leq 1$), то параметры пластичности определяются только для глинистых грунтов.

Виды глинистых грунтов в соответствии с величиной числа пластичности определяются по ГОСТ 25100-95 (см. приложение, таблица 4).

Сопоставляя естественную влажность грунта w со значениями влажностей границ пластичности грунта w_L и w_p , можно определить состояние или консистенцию грунта. Для этого служит показатель текучести I_L .

$$I_L = (w - w_p) / (w_L - w_p) = (w - w_p) / I_p. \quad (1.2)$$

По показателю текучести определяют состояние грунта в соответствии с ГОСТ 25100-95, (см. приложение, таблица 3).

Способность к деформированию песчаных и глинистых грунтов всех типов зависит от объема содержащихся в нем пор и влажности, которые также определяются экспериментально.

Плотность сложения грунта зависит от объема пор и характеризуется показателем пористости грунта n и коэффициентом пористости e . Однако величины n и e нельзя определить непосредственно опытным путем. Поэтому опытным путем определяются другие показатели – плотность ρ и удельный вес грунтов γ в естественном состоянии, а также плотность ρ_s и удельный вес твердых частиц γ_s .

Классификационные характеристики грунтов определяются путем расчета по стандартным методикам, приведенным ниже.

А. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО (ПО ГОСТ 5180-84)

Основными характеристиками физического состояния грунтов, определяемыми в лабораторных условиях, являются удельный вес грунта γ , удельный вес частиц грунта γ_s , природная весовая влажность w .

ЗАДАНИЕ 1.

Определение плотности ρ и удельного веса γ грунта естественной ненарушенной структуры

Плотность грунта ρ – это отношение массы грунта к его объему (г/см^3 ; т/м^3).

Удельный вес грунта γ – вес единицы объема грунта в его естественном состоянии: $\gamma = \rho \cdot g$ (Н/м^3 ; кН/м^3), где g – ускорение свободного падения.

ЗАДАНИЕ 1.1.

Определение плотности ρ и удельного веса γ грунта методом режущего кольца (применяется для глинистых и песчаных грунтов)

Определяют массу и объем образца грунта, заполняющего специальное режущее кольцо-пробоотборник после его задавливания в монолит грунта с последующим отделением от монолита. Замеры производят после тщательного выравнивания торцевых поверхностей образца срезкой длинным ножом с прямым лезвием вровень с краями кольца. Размеры кольца-пробоотборника в зависимости от наименования и состояния грунта должны соответствовать таблице 2 ГОСТ 5180-84.

Запись результатов замеров и определение указанных характеристик производят в следующем порядке.

Номер кольца	$N_0 =$
Масса кольца (г)	$m_0 =$
Масса пластинок (г)	$m_2 =$
Масса грунта с кольцом и пластинками (г)	$m_1 =$
Внутренний объем кольца (см ³)	$V =$
Плотность грунта (г/см ³)	$\rho = (m_1 - m_2 - m_0) / V =$
Удельный вес грунта (кН/м ³)	$\gamma = \rho \cdot g =$

g – ускорение свободного падения ($g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$).

ЗАДАНИЕ 1.2.

Определение плотности ρ и удельного веса γ грунта методом взвешивания в воде (применяется для глинистых грунтов в лабораторных условиях)

На образец грунта наносится парафиновая оболочка путем его двух-, трехкратного погружения в расплавленный парафин. Она не допускает увлажнения образца при взвешивании в воде. Объем образца определяется на основе закона Архимеда, согласно которому вес тела погруженного в жидкость уменьшается на величину, равную массе жидкости, вытесненной телом.

Запись результатов производится в следующем порядке.

Масса образца грунта (г)	$m =$
Масса парафинированного образца грунта (г)	$m_1 =$
Масса парафинированного образца в воде (г)	$m_2 =$
Плотность парафина	$\rho_{\text{п}} = 0,900 \text{ г/см}^3$
Плотность воды	$\rho_{\text{в}} \approx 1,00 \text{ г/см}^3$

Плотность грунта определяется по формуле:

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

или

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_1 - V_2} = \frac{m}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{в}}} - \frac{m_1 - m}{\rho_{\text{п}}}}.$$

В этих формулах: V_0 – объем образца; V_1 – объем запарафинированного образца; V_2 – объем парафиновой оболочки.

Удельный вес грунта определяется по формуле

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (g \approx 9,8 \text{ м/с}^2).$$

ЗАДАНИЕ 2.

Определение плотности ρ_s и удельного веса γ_s частиц грунта пикнометрическим методом

Плотность частиц грунта ρ_s – это отношение массы частиц грунта к их объему (г/см^3 ; т/м^3).

Удельный вес частиц грунта γ_s – вес единицы объема частиц образца грунта, высушенного при температуре 105°C до постоянной массы $\gamma_s = \rho_s \cdot g$ (Н/м^3 ; кН/м^3).

Методика определения плотности основана на применении специального прибора – пикнометра.

Запись результатов рекомендуется проводить в следующем порядке.

Масса пикнометра с дистиллированной водой, залитой на 1/3 его объема (г)	$m_B =$
Масса пикнометра с грунтом и дистиллированной водой (из расчета 15 грамм предварительно высушенного до постоянной массы грунта на 100 мл емкости пикнометра) (г)	$m_r =$
Масса грунта (г)	$m_0 = m_r - m_B$
Масса пикнометра с грунтом и дистиллированной водой, залитой до мерной риски на горлышке пикнометра, измеренная после кипячения в течение 1 часа на песчаной бане (г)	$m_1 =$
Масса пикнометра с дистиллированной водой, залитой до мерной риски (г)	$m_2 =$

Плотность частиц грунта ρ_s вычисляется по формуле:

$$\rho_s = \frac{\rho_w m_0}{(m_0 + m_2 - m_1)},$$

где ρ_w – плотность воды при температуре испытаний ($\rho_w \approx 1 \text{ г/см}^3$).

Удельный вес частиц: $\gamma_s = \rho_s \cdot g$.

ЗАДАНИЕ 3.

Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы (применяется для песчаного и глинистого грунта)

Влажность грунта определяется как отношение массы воды, удаленной из грунта его высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного при температуре 105°C грунта. Допускаемое отклонение температуры $\pm 2^\circ\text{C}$. Песчаные грунты высушиваются в течение 3-х часов, остальные – в течение 5 часов.

Запись результатов проводится в следующем порядке.

Номер стаканчика	$N_0 =$
Масса пустого стаканчика с крышкой, г	$m =$
Масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г	$m_1 =$
Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г	$m_0 =$

Влажность грунта определяется по формуле

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} 100\%.$$

Допускается выражать влажность в долях единицы.

ЗАДАНИЕ 4.

Определение границ текучести и раскатывания

Для глинистых грунтов первостепенное значение имеет диапазон влажности, в котором грунт будет пластичным. Этот диапазон характеризуется числом пластичности I_p и равен разности влажностей, соответствующих двум состояниям грунта – на границе текучести w_L и на границе раскатывания (пластичности) w_p , определяемыми экспериментально по ГОСТ 5180-95. Песчаные грунты свойствами пластичности не обладают.

ЗАДАНИЕ 4.1.

Определение границы раскатывания w_p (для глинистого грунта)

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

Запись результатов производится в следующем порядке.

Номер стаканчика	$N_0 =$
Масса пустого стаканчика с крышкой (г)	$m =$
Масса стаканчика с кусочками распадающегося жгута и крышкой (г)	$m_1 =$
Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой (г)	$m_0 =$

Влажность грунта на границе раскатывания определяется по формуле

$$w_p = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} 100\%.$$

Допускается выражать влажность в долях единицы.

ЗАДАНИЕ 4.2.**Определение границы текучести w_L (для глинистого грунта)**

Границу текучести следует определять как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой балансирный конус погружается под действием собственного веса за 5 секунд на глубину 10 мм.

Запись результатов.

Номер стаканчика	$N_0 =$
Масса пустого стаканчика с крышкой, г	$m =$
Масса стаканчика с пробой грунта и крышкой, г	$m_1 =$
Масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г	$m_0 =$

Влажность грунта на границе текучести определяется по формуле

$$w_L = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} 100\%.$$

Допускается выражать влажность в долях единицы.

Б. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ РАСЧЕТОМ ДЛЯ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ И ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

1. Плотность скелета грунта ρ_d – отношение массы частиц грунта к объему образца ненарушенной структуры (г/см^3).

$$\rho_d = \rho / (1 + w),$$

где w – природная влажность в долях единицы.

2. Коэффициент пористости грунта e – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта.

$$e = (\rho_s / \rho) \cdot (1 + w) - 1,$$

где w – природная влажность в долях единицы.

3. Табличное значение расчетного сопротивления грунта R_0 – приведены в приложении (таблицы 5 и 6) для фундаментов шириной $b_0 = 1\text{ м}$, и глубиной заложения $d_0 = 2\text{ м}$. Расчетные сопротивления исследованного грунта определяются методом интерполяции табличных данных.

Вопросы к лабораторной работе №1

1. Дать определения физическим параметрам грунта.
2. Какие характеристики надо знать для определения типа грунта?
3. Какой параметр наибольший, а какой наименьший для одного и того же образца грунта: ρ_s , ρ_d или ρ ?
4. Какие характеристики надо знать для определения условного расчетного сопротивления песчаного, пылевато-глинистого грунта?
5. Как используется закон Архимеда для определения плотности и плотности частиц грунта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТА СПОСОБОМ КОМПРЕССИИ В ОДОМЕТРЕ»

Показатели деформируемости грунта необходимо знать для расчета осадки фундаментов. Показатели деформируемости определяются в соответствии с ГОСТ. Изучение сжимаемости (деформируемости) грунтов позволяет установить закономерности и количественные показатели, необходимые для прогноза осадки зданий и сооружений. Способом компрессии в одомере можно определить коэффициент сжимаемости m_0 , вычисляемый с его помощью коэффициент относительной сжимаемости m_v , модуль общей деформации E , учитывающий упругую и остаточную часть осадки.

Компрессией называется одноосное сжатие образца вертикальной нагрузкой при условии отсутствия его бокового расширения.

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 плёнок и сопровождается отжатием воды из пор грунта.

Процесс уплотнения грунта завершается не сразу после приложения нагрузки, а составляет некоторый отрезок времени, называемым временем стабилизации деформации. Чем меньше размеры пор грунта, тем медленнее происходит стабилизация.

В механике грунтов принято характеризовать деформируемость грунтов зависимостью между коэффициентом пористости e и напряжением σ . Коэффициент пористости – отношение объема пор n к объему твердых частиц m или $e = n/m$, где n – пористость – отношение объема пор к полному объему образца, m – отношение объема твердых частиц к полному объему образца. Зависимость $e = f(\sigma)$ называется компрессионной и устанавливается экспериментально путем испытания грунтов в специальном приборе – одомере (компрессионном приборе). Схема одометра представлена на рис. 2.1.

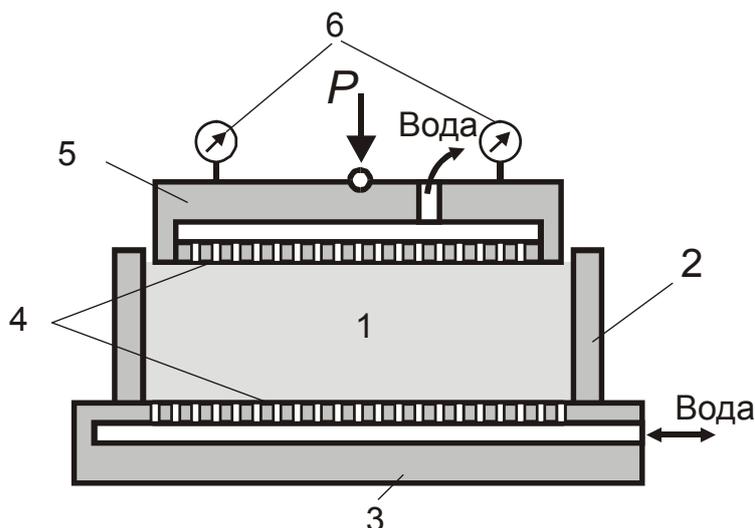


Рис.2.1. Схема одометра

При выполнении лабораторной работы в учебном классе площадь поперечного сечения образца составляет 60 см^2 , высота образца $2,5 \text{ см}$, начальный коэффициент пористости грунта задается преподавателем в зависимости от вида испытываемого грунта, соотношение плеч рычага нагружающего устройства $1:10$.

Для испытаний грунт помещается в кольцо одометра. Режим компрессионных испытаний, т.е. величина и количество ступеней давления, определяется задачами расчетов по конкретному проекту. В выполняемой лабораторной работе приняты следующие ступени давлений: $\sigma_{z,1}=50 \text{ кПа}$; $\sigma_{z,2}=100 \text{ кПа}$; $\sigma_{z,3} = 200 \text{ кПа}$.

Осадка штампа в опыте фиксируется с помощью индикаторов часового типа марки ИЧ-10 с ценой деления $0,01 \text{ мм}$. В опыте используется 2 индикатора - правый и левый. Для устранения влияния перекоса на результаты опыта по двум отсчетам берется среднее арифметическое значение.

После приложения каждой ступени давления образец выдерживается до стабилизации осадки. Записываются отсчёты по индикаторам через $1, 2, 4, 6$ и т.д. минут с момента начала опыта. По окончании опыта строится график изменения осадки штампа S во времени t на различных ступенях приложенного напряжения σ_z (рис. 2.2.)

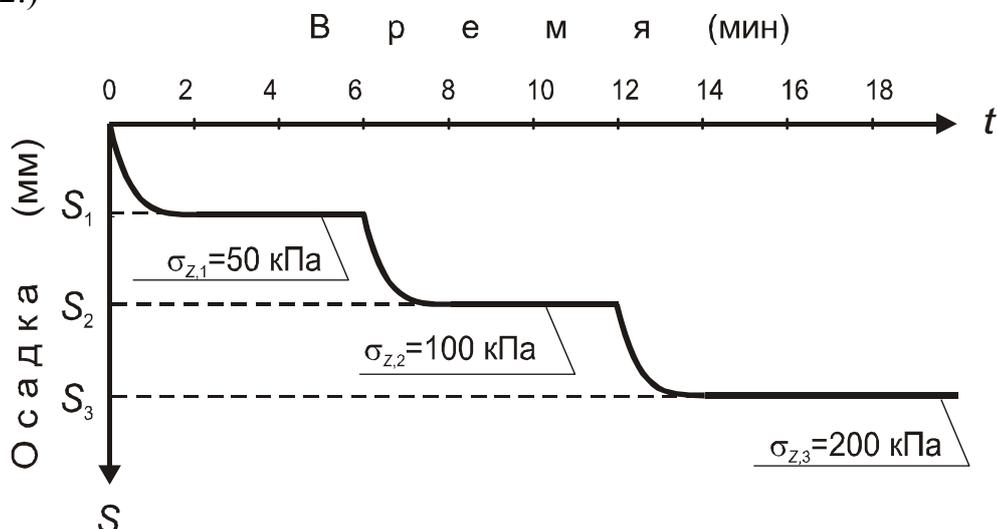


Рис.2.2. График зависимости осадки от времени при компрессионном испытании.

На следующем этапе обработки опытных данных определяются значения коэффициента пористости e , соответствующие различным ступеням напряжения (σ_z). Для этой цели сначала определяется изменение пористости Δn_i по площади образца F :

$$\Delta n_i = \Delta S_i \cdot F / h \cdot F = \Delta S_i / h, \quad (2.1.)$$

где ΔS_i – осадка штампа от приложенного давления; h – первоначальная высота образца.

Объем твердых частиц в опыте остается постоянным, т.к. приложенные напряжения небольшие и не могут изменить объем частиц. Тогда объем твердых частиц в единице объема образца равен:

$$m = 1 / (1 + e_0), \quad (2.2.)$$

где e_0 – начальный коэффициент пористости грунта.

По определению коэффициент пористости $e = n/m$. Разделив выражение (2.1.) на выражение (2.2.), получим изменение коэффициента пористости на данной ступени нагрузки:

$$\Delta e_i = \Delta n_i / m = (\Delta S_i / h) \cdot (1 + e_0). \quad (2.3.)$$

Вычтем значение Δe_i из начального значения коэффициента пористости e_0 :

$$e_i = e_0 - \Delta e_i = e_0 - (\Delta S_i / h) \cdot (1 + e_0). \quad (2.4.)$$

Полученное выражение (2.4.) позволяет определить значение коэффициента пористости грунта для любого напряжения σ_z .

Используя выражение (2.4.), вычислим значения коэффициента пористости, соответствующие принятым в опыте ступеням напряжения $\sigma_z=50$ кПа, $\sigma_z=100$ кПа и $\sigma_z=200$ кПа и на основании полученных данных построим график функции $e_i = f(\sigma_z)$, называемый компрессионной кривой (рис. 2.3.).

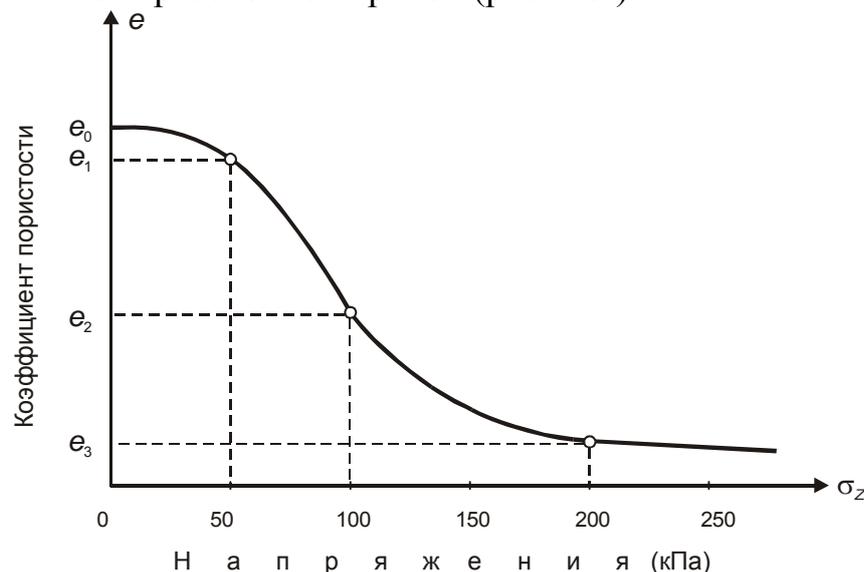


Рис.2.3. Компрессионная кривая. Зависимость коэффициента пористости e от напряжений σ_z

При относительно небольших интервалах напряжений компрессионная кривая грунта близка к секущей прямой:

$$e_i = e_0 - m_0 \Delta S_i / h, \quad (2.5.)$$

где $\text{tg } \alpha$ – угол наклона компрессионной кривой к оси σ . $\text{tg } \alpha$ - численно равен коэффициенту сжимаемости (m_0), m_0 - характеристика сжимаемости грунта в пределах изменения напряжений от природного давления $\sigma_{\text{пр}}$ до напряжений, возникающих после окончания строительства ($\sigma_{\text{пр}} + \sigma_{\text{доп}}$). $\sigma_{\text{доп}}$ - дополнительные вертикальные напряжения возникающие от построенного сооружения.

$$\text{tg } \alpha = m_0 = \Delta e_i / [(\sigma_{\text{пр}} + \sigma_{\text{доп}}) - \sigma_{\text{доп}}].$$

Приравняем выражения (2.4.) и (2.5.): $e_0 - m_0 \cdot \sigma_i = e_0 - (1 + e_0) \cdot \Delta S_i / h$.

Отсюда:

$$m_v = m_0 / (1 + e_0) = \Delta S_i / (h \cdot \sigma_i) \text{ (кПа}^{-1}\text{)}. \quad (2.6.)$$

Величина $\Delta S_i / (h \cdot \sigma_i)$ – это относительная объемная деформация грунта, отнесенная к единице давления, а коэффициент m_v называется коэффициентом относительной сжимаемости.

Полученные параметры позволяют получить модуль общей линейной деформации грунта E , который используют для расчета осадки сооружения.

Обозначим $\beta = 1 - 2\nu^2 / (1 - \nu)$, где ν - коэффициент относительного бокового расширения. Так как ν - величина постоянная для каждого вида грунтов, то значения β , приняты постоянными для инженерных расчетов, составляют: для песков и супесей - 0,74; суглинков - 0,62; глин - 0,43.

Тогда модуль общей линейной деформации грунта определится из выражения: $E = \beta / m_v$.

Необходимо заметить, что компрессионные испытания, особенно для грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод, не приносят надежных результатов, так как структура грунтов при отборе образцов частично нарушается.

Вопросы к лабораторной работе №2

1. Как производится нагружение образца и измерение его деформаций в одомере?
2. Дать определение компрессии, компрессионной кривой.
3. При каком условии зависимость между напряжениями и деформациями можно принимать линейной?
4. Какие параметры деформируемости определяют по компрессионной кривой?
5. В каких расчетах используется модуль общей линейной деформации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТА СПОСОБОМ КОМПРЕССИИ В СТАБИЛОМЕТРЕ

Стабилометр - прибор трехосного сжатия, служащий для определения механических характеристик грунта. При испытании образцов грунта в стабилометре возможно проведение экспериментов при следующих двух режимах:

- испытание грунта без возможности его бокового расширения (компрессионное сжатие).
- испытание грунта с возможностью боковых горизонтальных деформаций образца при постоянном боковом давлении.

При испытании в стабилометре по компрессионной схеме определяются две независимые характеристики деформируемости грунта – коэффициент поперечного расширения ν , который связан с коэффициентом бокового давления ξ и модуль общей линейной деформации грунта E . Определив E и ν , можно вычислить модуль объемной деформации грунта.

Определение двух независимых характеристик грунта необходимо для описания процесса деформируемости грунта (расчета осадок фундаментов). Компрессионные же испытания в одометре дают возможность получить только одну деформационную характеристику грунта (см. лаб. раб. №2).

Для проведения испытаний в стабилометре цилиндрический образец грунта заключают в тонкую резиновую оболочку, которая закреплена в нижней и верхней частях прибора. Высота образца 10 см, площадь поперечного сечения 24 см^2 , соотношения плеч рычага нагружающего устройства для передачи вертикальной нагрузки 1:12. Схема стабилометра представлена на рис. 3.1.

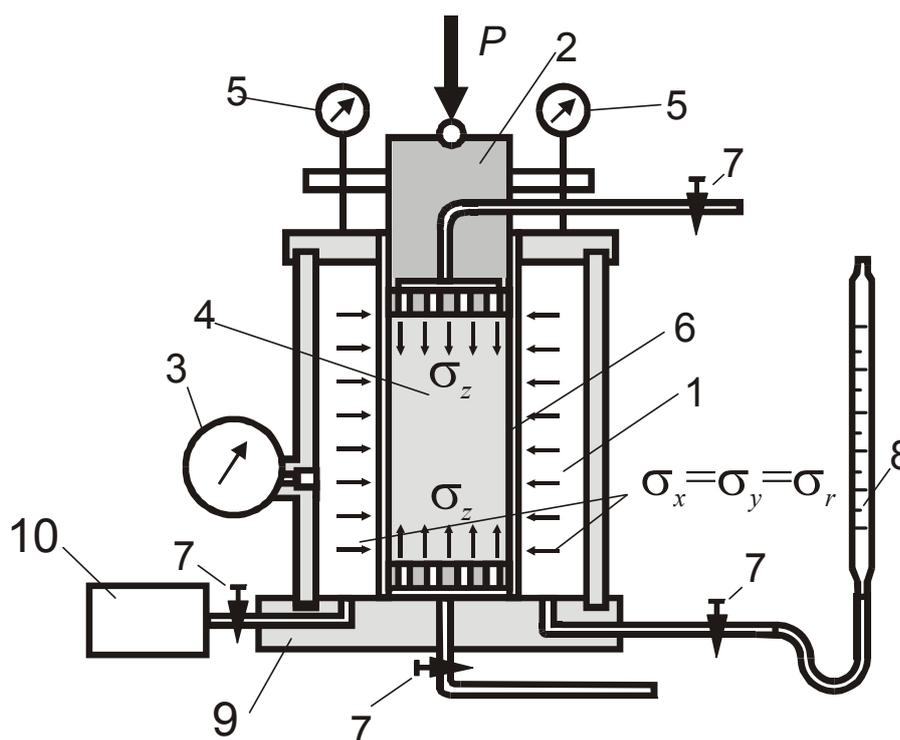


Рис.3.2. Схема стабилометра

Образец помещается в прозрачную камеру стабилометра, цилиндрическая часть которой сделана из прозрачного плексиглаза. Пространство между образцом и камерой, как правило, заполняется дегазированной водой, которая, играя роль жестких стенок, создает равномерное боковое обжатие образца. На верхний торец образца подается вертикальное сжимающее усилие. Вода, выжимаемая из пор грунта, отводится через нижний перфорированный вкладыш днища с каналами.

В процессе проведения эксперимента замеряется давление жидкости в рабочей камере по манометру, осевые деформации образца - по показаниям индикаторов часового типа.

Компрессионная схема испытаний предполагает, что образец грунта деформируется под действием вертикальной нагрузки только в одном направлении, без возможности боковых деформаций ($\epsilon_x = \epsilon_y = 0$). Препятствует деформированию грунта в горизонтальном направлении жидкость рабочей камеры.

Таким образом, в стабилометре воспроизводится схема одометра, причем, отличительной особенностью является то, что в процессе опыта есть возможность постоянно фиксировать боковое давление, что нельзя выполнить в одометре.

Преимущества стабилометрических испытаний определяются также и другими факторами:

- возможностью моделирования исходного напряженного состояния (например, прикладывается обжимающее одинаковое давление на образец $\sigma_r = \sigma_z$);
- отсутствием трения по боковой поверхности образца (поскольку боковое давление создается гидравлическим путем, то по вертикальной поверхности образца касательные напряжения не возникают);
- возможностью испытания образца грунта по различным схемам деформирования;
- возможностью измерения боковых давлений (равны давлению в жидкости рабочей камеры);
- меньшим влиянием жесткости нагружающих штампов (приштамповый эффект) за счет большой высоты образца;
- возможностью изучения как деформационных, так и прочностных характеристик грунта в условиях, приближенных к реальным.

Предпосылки для выбора величины и количества ступеней нагружения по компрессионной схеме испытания являются те же, что в лабораторной работе №2. Увеличение нагрузки производится с шагом в 50 кПа: $\sigma_{z,1} = 50$ кПа; $\sigma_{z,2} = 100$ кПа и т. д.

Каждая ступень выдерживается до стабилизации деформации, затем снимаются отсчеты по обоим индикаторам и показания манометра, регистрирующего величину бокового давления. Во избежание длительных выдержек времени до стабилизации деформаций, в учебной лаборатории опыты по компрессии в стабилометре, как правило, проводят с образцами песчаных грунтов.

По результатам экспериментальных исследований строятся два графика – зависимости боковых реактивных напряжений σ_r от вертикальных сжимающих напряжений σ_z и зависимости вертикальных относительных деформаций ε_z от σ_z (рис. 3.2).

Следующий этап обработки полученных опытных данных состоит из четырех пунктов:

1). Вычисление коэффициента бокового давления. Коэффициентом бокового давления грунта называется отношение приращения бокового давления $\Delta\sigma_r$ к приращению вертикального давления $\Delta\sigma_z$ при отсутствии боковых деформаций:

$$\xi = \Delta\sigma_r / \Delta\sigma_z, \quad 0 < \xi \leq 1.$$

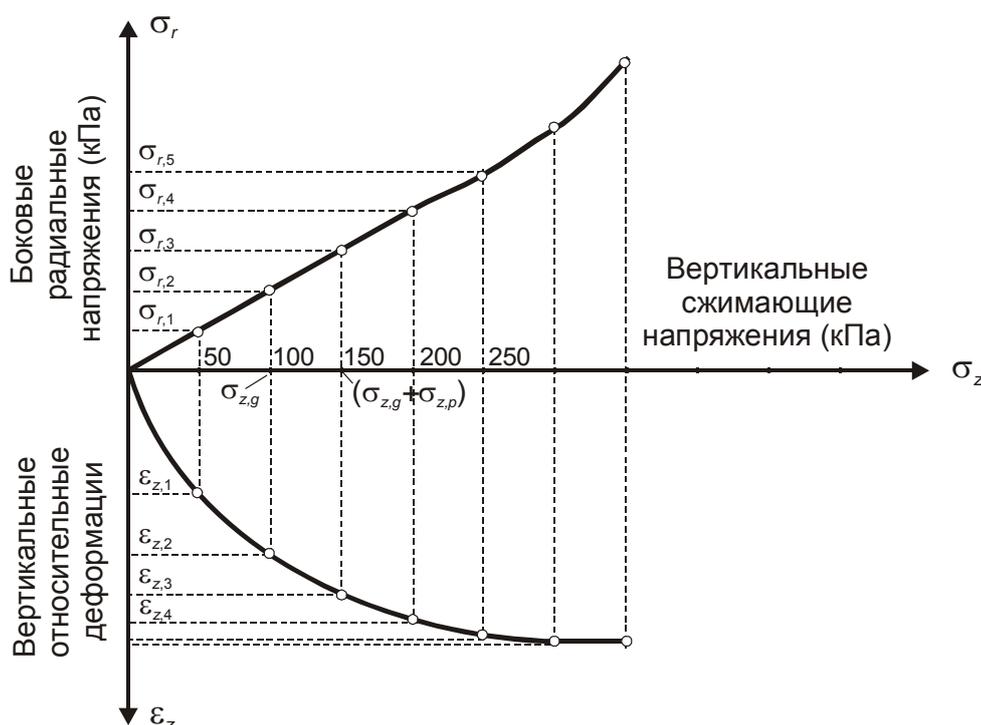


Рис.3.2. График зависимости боковых реактивных напряжений σ_r от вертикальных сжимающих σ_z напряжений (вверху), и зависимости вертикальных относительных деформаций ε_z от вертикальных напряжений σ_z (внизу).

2). Вычисление коэффициента относительной поперечной деформации ν (коэффициента Пуассона). В данной работе он определяется через коэффициент бокового давления

$$\nu = \xi / (1 + \xi); \quad 0 < \nu < 0,5.$$

3). Определение показателя деформируемости грунта – модуля общей линейной деформации E по графику зависимости вертикальных относительных деформаций ε_z (в интервале $\Delta\varepsilon_z$) от вертикальных сжимающих напряжений σ_z в интервале напряжений $\Delta\sigma_z$ от $\sigma_{z,g}$ до $(\sigma_{z,g} + \sigma_{z,p})$, где $\sigma_{z,g}$ – природное давление, $\sigma_{z,p}$ – осадочное давление на глубине z . Модуль общей деформации для линейного участка определяется по формуле:

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \cdot [1 - 2\nu^2 / (1 - \nu)].$$

4). Определение модуля объемной деформации $E_{об}$ по формуле:

$$E_{об} = E / (1 - 2\nu).$$

Вопросы к лабораторной работе №3

1. Для каких расчетов используют характеристики деформируемости грунта?
2. Какова последовательность испытаний грунта в стабилометре? Как он устроен?
3. Как определяют показатели деформируемости грунтов в стабилометре методом компрессии? Какие преимущества стабилометра перед одометром?
4. Почему образец необходимо выдерживать после каждой ступени приложения нагрузки? Для каких грунтов это наиболее актуально?
5. Дать определения показателям деформируемости грунтов, полученных опытным путем. Проанализировать диапазоны изменения этих характеристик.
6. Какова связь между модулями линейной и объемной деформации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ И ПРОЧНОСТИ ГРУНТА МЕТОДОМ РАЗДАВЛИВАНИЯ ОБРАЗЦА В СТАБИЛОМЕТРЕ»

В предыдущей лабораторной работе были проведены испытания в приборе трехосного сжатия (стабилометре) для определения двух независимых характеристик деформируемости E и ν . В этом опыте была использована компрессионная схема испытания.

В отличие от нее, в данной лабораторной работе исследования проводятся методом раздавливания образца. Опыт заключается в постепенном нагружении образца грунта до разрушения вертикальной нагрузкой при неизменном значении радиальных напряжений, то есть $\sigma_r = \text{const}$. Увеличение вертикальной нагрузки соответствует увеличению наибольших по величине главных напряжений $\sigma_z = \sigma_1$, радиальные напряжения являются меньшими по величине главными напряжениями $\sigma_r = \sigma_2 = \sigma_3$.

При испытании в стабилометре (по схеме разрушения образца) определяют две прочностные характеристики – угол внутреннего трения φ в градусах и удельное сцепление грунта c в кПа. Эти две характеристики являются показателями сопротивления грунта сдвигу и определяются по значениям главных напряжений в момент разрушения образца.

Порядок проведения испытаний для песчаных и глинистых грунтов один и тот же, различие в том, что для определения двух прочностных характеристик

глинистого грунта необходимо проведение нескольких опытов на раздавливание с образцами одного и того же грунта, но при различном значении бокового давления. Учитывая, что для песчаных грунтов определяется лишь угол внутреннего трения (сцепление грунта c близко нулю), в учебных целях можно ограничиться проведением одного опыта.

Испытания, проводимые в стабилометре по схеме разрушения, предполагают, что образец грунта под действием увеличивающейся вертикальной нагрузки и при сохранении постоянного значения главных горизонтальных напряжений, деформируется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении, при этом цилиндрический образец постепенно принимает бочкообразную форму.

Для обеспечения указанной схемы работы образец предварительно обжимают гидростатическим давлением $\sigma_{обж}$, равным $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 100$ кПа. Затем, производят увеличение только вертикальной нагрузки (с переменным шагом от 25 кПа до 100 кПа). Показания манометра, регистрирующие величину бокового давления в процессе эксперимента, поддерживаются с помощью крана постоянными равными 100 кПа. После стабилизации деформации каждой ступени снимаются отсчеты по обоим индикаторам. Момент разрушения регистрируется по появлению прогрессирующей скорости вертикальных деформаций (по индикаторам).

Для глинистых грунтов на одном графике строят несколько кругов Мора, соответствующих каждому опыту. Проводят общую касательную к кругам Мора до пересечения с осью ординат. Угол наклона касательной к оси абсцисс равен углу внутреннего трения φ , а отрезок, получаемый на оси ординат при ее пересечении с касательной равен сцеплению грунта c (кПа).

Для определения величины угла внутреннего трения φ исследуемого песчаного грунта строится диаграмма предельных напряжений Мора. Для этого от начала координат откладывают по оси абсцисс сначала величину горизонтального главного напряжения $\sigma_r = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{обж}$, а, затем, величину максимального вертикального напряжения в момент разрушения образца $\sigma_1 = \sigma_{разр}$. На отрезке $\Delta\sigma = (\sigma_1 - \sigma_3)$, как на диаметре, строят полукруг – необходимую для дальнейших определений часть круга Мора. Прямая, характеризующая сопротивление сдвигу сухих песков, является касательной к кругу Мора, и проходит через начало координат, так как у этого грунта сцепление равно 0. Ордината точки касания соответствует значению предельных касательных напряжений $\tau_{пр}$. Предельная прямая описывается зависимостью $\sin \varphi = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$ и позволяет определить угол внутреннего трения грунта φ , как угол наклона касательной к оси абсцисс.

По результатам экспериментальных исследований, для определения модуля деформации E строится график зависимости относительной вертикальной деформации ε_z образца от приращения главного вертикального напряжения σ_z .

В лабораторной работе проводятся испытания песчаного грунта, по результатам испытаний строятся графики, представленные на рис. 4.1. и 4.2.

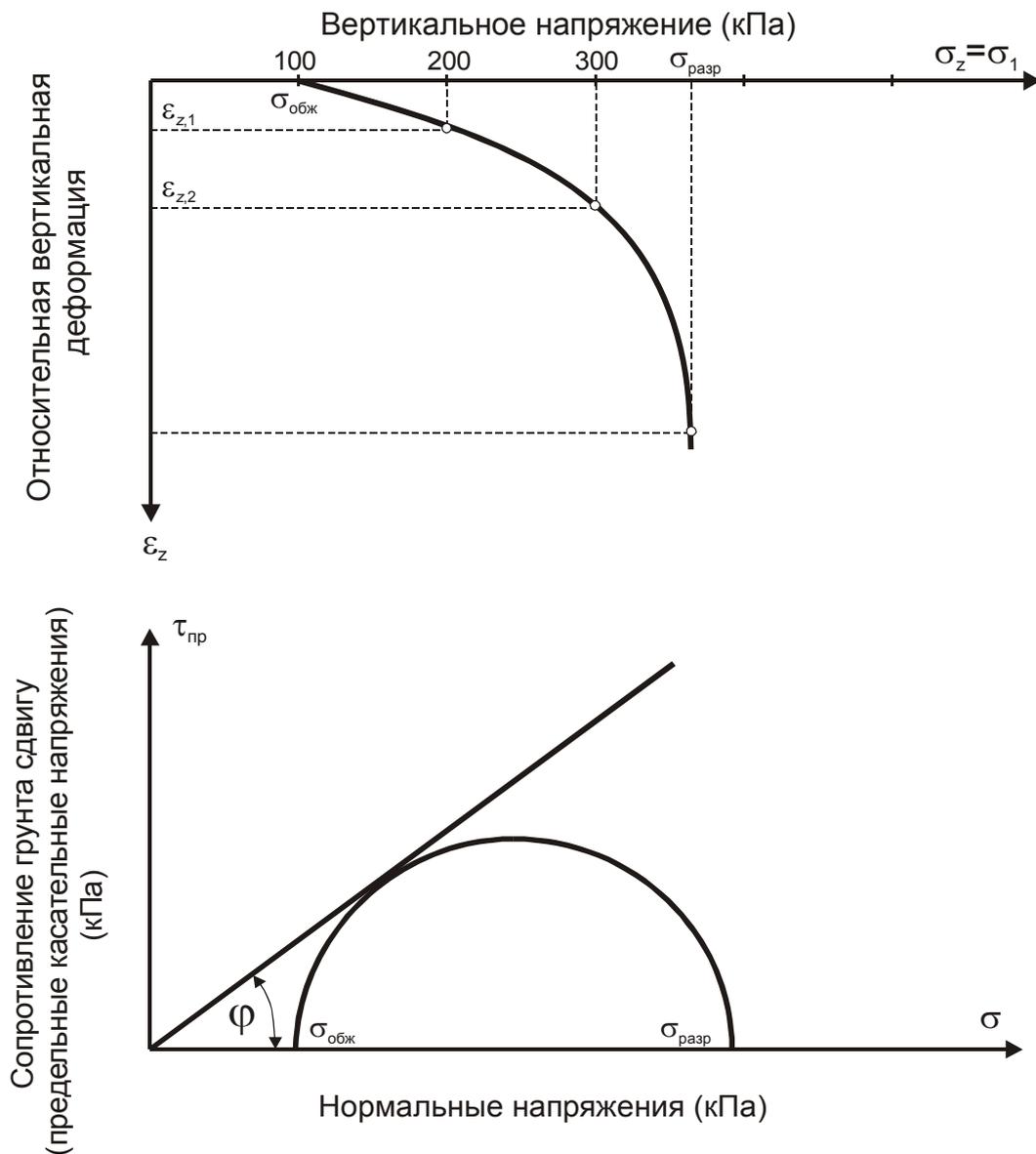


Рис. 4.1. График зависимости вертикальной деформации ε_z от вертикального напряжения $\sigma_z = \sigma_1$

Вопросы к лабораторной работе №4.

1. Каким методом проводятся исследования образца?
2. Какие характеристики грунта определяются по главным напряжениям в момент разрушения образца?
3. Как производится нагружение образца?
4. Какая теория прочности используется для определения прочностных характеристик образца?
5. Какие параметры можно определить по диаграмме Кулона - Мора?
6. Почему для определения прочностных характеристик глинистого грунта требуется проведение большего числа испытаний, чем для песчаного грунта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА В ПРИБОРЕ ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА»

Разрушение грунтовых оснований или сооружений из грунта под действием касательных напряжений является характерной формой потери ими прочности вследствие слабой сопротивляемости грунта сдвигу.

Сопротивление грунта сдвигу зависит от величины действующих в грунте нормальных к плоскости сдвига напряжений.

Для небольших напряжений (до 300 кПа) можно считать, что сопротивление грунта сдвигу состоит из двух частей. Одна из них - удельное сцепление грунта, вторая - трение. Причём, трение является функцией нормального напряжения (σ), действующего по площадке сдвига.

Условие прочности для глинистых грунтов, предложенное Ш. Кулоном в 1773г. (закон Кулона), записывается в виде:

$$\tau_{пр} = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + c,$$

а для песчаных грунтов:

$$\tau_{пр} = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi .$$

Параметры сопротивления грунта сдвигу φ – угол внутреннего трения и c – удельное сцепление являются двумя параметрами прочности грунта, которые используются в решениях задач, связанных с определением несущей способности оснований и сооружений, устойчивости откосов выемок и насыпей, давления грунтов на подпорные сооружения и т.д. Для определения параметров φ и c в лабораторных условиях используется либо метод трёхосного сжатия (см. лабораторную работу №4), либо метод прямого среза, рассматриваемый в настоящей лабораторной работе. Используемое оборудование - прибор одноплоскостного среза, схема которого представлена на рис. 5.1.

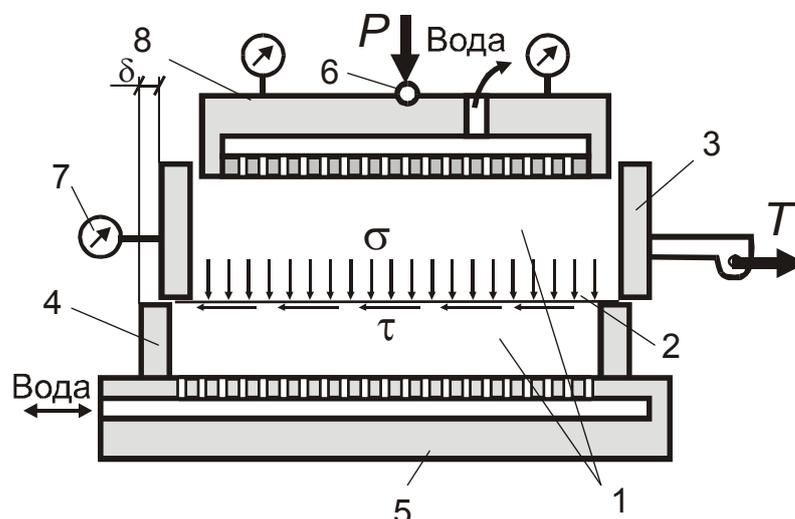


Рис. 5.1. Прибор одноплоскостного среза

Для определения показателей прочности (ϕ и c) в данной работе необходимо провести испытания на сдвиг нескольких образцов одного и того же грунта при разной величине вертикальных сжимающих напряжений. Зная $\tau_{пр}$ и σ для каждого опыта, можно найти значения ϕ и c исследуемого грунта. Эта задача обычно решается графически, путём построения по экспериментальным точкам линейной зависимости $\delta = f(\tau)$ (рис.5.2.).

Рекомендуется выполнять три опыта на срез грунта при вертикальных напряжениях - 100, 200 и 300 кПа. Сдвигающую нагрузку в каждом опыте прикладывают ступенями так, чтобы приращение касательных напряжений $\Delta\tau$ не превышало $0,1\sigma$. Таким образом, соответствующие ступени для трёх опытов составят 10, 20 и 30 кПа, причём каждую новую ступень сдвигающей нагрузки прикладывают к образцу только после затухания деформации сдвига от действия предыдущей ступени.

Наращивание срезающей нагрузки проводится до тех пор, пока деформация сдвига не достигнет величины 3 мм (что соответствует трём кругам прохождения стрелки индикатора). Соответствующее этой деформации значение срезающей нагрузки фиксируется в журнале испытаний, как предельное в условиях опыта, а в графе перемещения подвижной обоймы записывается слово “срез”.

По окончании опытов строят для каждого из них графики $\delta = f(\tau)$ (рис. 5.2.) и обобщающий график $\tau_{пр} = f(\sigma)$, по которому находят ϕ и c (рис. 5.3.).

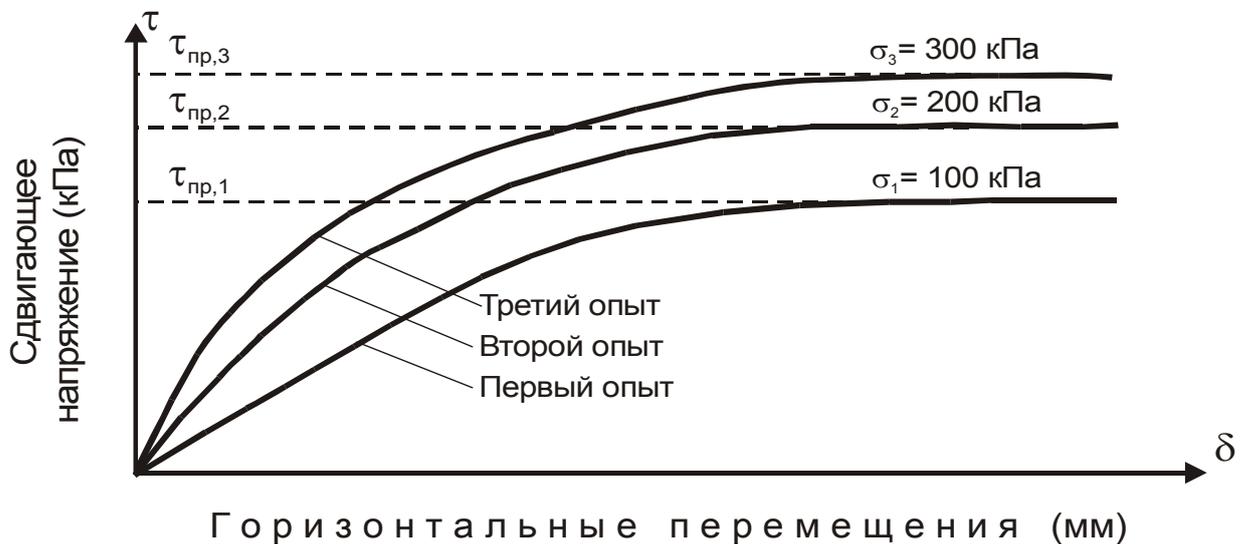


Рис. 5.2. График зависимости горизонтального перемещения подвижной обоймы δ от сдвигающего напряжения τ .

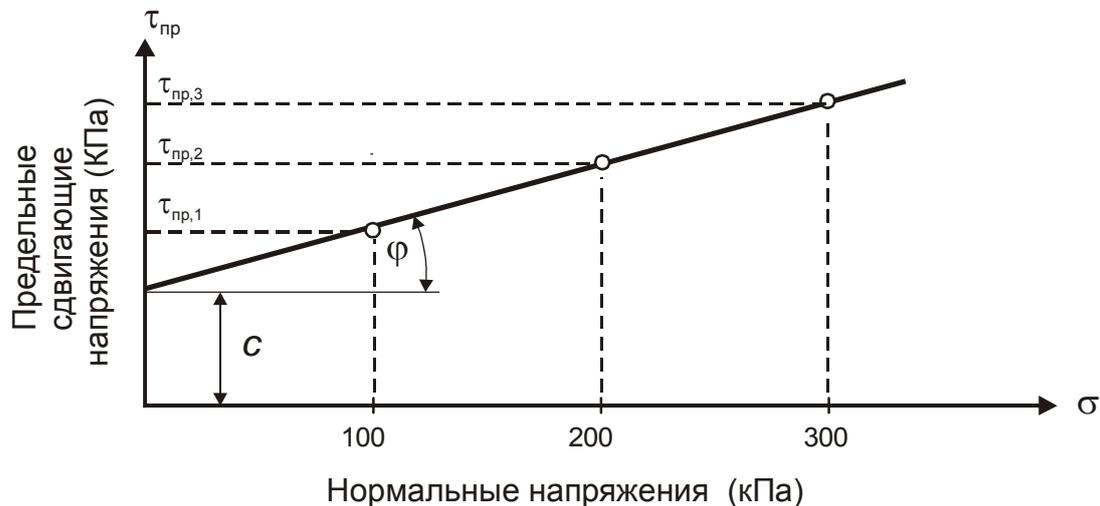


Рис. 5.2. График зависимости предельных сдвигающих напряжений $\tau_{пред}$ от нормальных напряжений σ .

Вопросы к лабораторной работе №5

1. Какова цель работы по испытанию грунта на сдвиг?
2. Как записывается зависимость Кулона для песков и глинистых грунтов? Её графическое представление.
3. Как называются параметры уравнения, выражающего закон сдвига? Единицы измерения.
4. Каково практическое применение в инженерных расчётах характеристик прочности грунтов?
5. Каким образом определяются характеристики прочности в приборе одноплоскостного среза?

Литература

1. С.Б.Ухов, В.В.Семенов, В.В.Знаменский, З.Г.Тер-Мартirosян, С.Н.Чернышев «Механика грунтов, основания и фундаменты» АСВ М., 2002
2. М.В.Малышев, Г.Г.Болдырев «Механика грунтов, основания и фундаменты» АСВ М., 2000
3. СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений М.,2000
4. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация М. 1996г.

Приложение

Таблица 1

Плотность сложения песчаных грунтов

Разновидность песков	Коэффициент пористости e		
	Гравелистых, крупных, средней крупности	Мелких	Пылеватых
Плотные	$e < 0,55$	$e < 0,6$	$e < 0,6$
Средней плотности	$0,6 \leq e \leq 0,7$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$0,6 \leq e \leq 0,8$
Рыхлые	$e > 0,7$	$e > 0,75$	$e > 0,8$

Таблица 2

Классификация песков по грансоставу

Разновидность песков	Содержание частиц по массе
Гравелистый	Крупнее 2мм – более 25%
Крупный	Крупнее 0,5мм – более 50%
Средней крупности	Крупнее 0,25мм – более 50%
Мелкий	Крупнее 0,1мм – более 75%
Пылеватый	Крупнее 0,1мм – менее 75%

Таблица 3

Классификация глинистых грунтов по консистенции

Разновидность глинистого грунта	Индекс текучести I_L
Супеси:	
- твердая	$I_L < 0$
- пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
- текучая	$I_L > 1$
Суглинки и глины:	
- твердые	$I_L < 0$
- полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
- тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,50$
- мягкопластичные	$0,50 < I_L \leq 0,75$
- текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1$
- текучие	$I_L > 1$

Таблица 4

Классификация глинистых грунтов по числу пластичности

Разновидность глинистого грунта.	Число пластичности I_p
Супесь Суглинок Глина	$1 \leq I_p \leq 7$ $7 < I_p \leq 17$ $I_p > 17$

Таблица 5

Расчетные сопротивления R_0 глинистых грунтов

Грунты	Коэффициент пористости e	Значения R_0 , кПа, при показателе текучести грунта	
		$I_L = 0$	$I_L = 1$
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глины	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

Таблица 6

Расчетные сопротивления R_0 песков

Пески	R_0 , кПа, в зависимости от плотности сложения песков	
	плотные	средней плотности
Крупные (независимо от влажности)	600	500
Средней крупности (независимо от влажности)	500	400
Мелкие:		
маловлажные	400	300
влажные и насыщенные водой	300	200
Пылеватые:		
маловлажные	300	250
влажные	200	150
насыщенные водой	150	100