

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Смоленский государственный университет»

Кафедра географии

«Утверждаю»

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Ю.А. Устименко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины  
Б1.О.23 Механика грунтов**

Направление подготовки: **08.03.01 Строительство**

Направленность (профиль): **Промышленное и гражданское строительство**

Форма обучения: очная

Курс – 3

Семестр – 5

Всего зачетных единиц – 3; часов – 108

Форма отчетности: экзамен – 5 семестр

Программу разработал

доктор географических наук, профессор Евдокимов С.П.

Одобрена на заседании кафедры

«9» сентября 2021г., протокол № 1

Заведующий кафедрой Ермошкина Г.Ф.

Смоленск  
2021

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.О.23«Механика грунтов» относится к блоку обязательных дисциплин. Через механику грунтов осуществляется связь специалиста со строительными и горными науками. Возведение инженерных сооружений, передающие статические, а часто и динамические нагрузки, настоятельно требуют приложения законов механики при изучении грунтовых толщ. Механика грунтов опирается на результаты научных исследований в области механики сплошных сред (сопротивление материалов, теория упругости, теория пластичности), инженерной геологии, инженерной гидрогеологии, гидравлики и гидромеханики, а также других инженерных дисциплин. Таким образом, механика грунтов связана с широким кругом естественных и технических наук. Среди них науки геологического цикла, а также физика, механика, химия и математика. Освоение данной дисциплины необходимо для изучения курсов Основания и фундаменты, Строительные материалы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции	Индикаторы достижения
<b>ОПК-1:</b> Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата	<b>Знать:</b> методы и формы организации работы коллектива; основные законы естественнонаучных дисциплин; терминологию дисциплины, основные физико-механические свойства грунтов инструментарий для решения задач исследовательского характера в сфере профессиональной деятельности по строительству. <b>Уметь:</b> понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества; использовать математический аппарат механики грунтов для определения напряженного состояния, оценки прочности и устойчивости основания сооружения, откосов и подпорных стенок, прогноза конечных осадок сооружения и хода их во времени; использовать методы исследовательской деятельности на основе изучения научно-технической информации. <b>Владеть:</b> навыками профессионального восприятия и правильного использования в своей работе методов и способов определения физико-механических свойств грунтов; методов определения напряженного состояния, прочности и устойчивости основания сооружения, откосов и подпорных стенок, конечных осадок сооружения и хода их во времени.
<b>ПК-1:</b> Способен разрабатывать документацию по подготовке строительной площадки к началу производства работ	<b>Знать:</b> современные методики и строительства; основы разработки проектных, предпроектных материалов; экономическое планирование и прогнозирование; методологию, методы, приемы и порядок подготовки строительной площадки к началу производства работ. <b>Уметь:</b> разрабатывать содержание проектной документации; использовать знание современных технологий, технической инвентаризации объектов капитального строительства и инженерного оборудования территории.

**Владеть** навыками по подготовке строительной площадки к началу производства работ.

### 3. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание раздела
1	Физические свойства грунтов	<p>Происхождение, состав грунтов, их структура и текстура. Происхождение грунтов. Состав грунтов. Свойства и классификация твердых частиц грунта. Виды воды в грунте и их свойства. Газ в грунтах. Структура и текстура грунта. Структурные связи в грунтах.</p> <p>Характеристики физического состояния грунтов. Плотность грунта, плотность его твердых частиц и влажность грунта. Вычисляемые характеристики грунтов</p> <p>Классификационные показатели грунтов. Характерные влажности, число пластичности и показатель текучести. Состояние сыпучих грунтов по плотности сложения. Оптимальная плотность скелета грунта и оптимальная влажность. Классификационные признаки песчаных и глинистых грунтов.</p>
2	Механические свойства грунтов. Основные закономерности механики грунтов	<p>Общие исходные положения. Особенности грунтов как среды, взаимодействующей с сооружениями. Понятие об основных расчетных моделях грунта. Понятие об основных расчетных моделях грунта.</p> <p>Водопроницаемость грунтов. Физические представления и закон фильтрации. Определение коэффициента фильтрации. Начальный градиент напора. Фильтрационное давление в грунтах.</p> <p>Сжимаемость грунтов. Физические представления и закон уплотнения. Механическая модель сжатия водонасыщенного грунта, понятие об эффективном и поровом напряжениях. Компрессионная зависимость. Характеристика деформационных свойств грунтов. Коэффициенты сжимаемости. Структурная прочность грунта. Закон уплотнения. Компрессионная зависимость при объемном сжатии. Коэффициент бокового давления. Определение модуля деформации грунта. Определение деформационных характеристик грунта на приборе трехосного сжатия.</p> <p>Сопротивление грунтов сдвигу. Сопротивление сдвигу сыпучих грунтов. Сопротивление сдвигу связных грунтов. Сопротивление сдвигу неконсолидированных грунтов. Сопротивление грунтов сдвигу при трехосном сжатии. Предельное напряженное состояние грунта в точке.</p> <p>Динамические свойства грунтов. Динамические воздействия. Виды и характер колебаний. Расчетные динамические модели</p>

		<p>грунтов. Изменение свойств грунтов при динамических воздействиях.</p> <p>Нормативные и расчетные характеристики грунта.</p>
3	Основные физико-механические свойства особых грунтов	<p>Общие положения. Лессовые макропористые грунты. Состав лессовых макропористых грунтов. Физико-механические свойства лессовых макропористых грунтов. Мерзлые и вечномерзлые грунты. Основные понятия. Физико-механические процессы, происходящие в деятельном слое и вечномерзлой толще грунтов. Физические свойства мерзлых грунтов. Механические свойства мерзлых грунтов. Рыхлые водонасыщенные пески. Органоминеральные и органические грунты, чувствительные глины. Набухающие грунты. Скальные грунты. Крупнообломочные грунты. Техногенные грунты.</p>
4	Определение напряжений в массиве грунта	<p>Применимость решений теории упругости к дисперсным грунтам. Фазы напряженного состояния грунта. Основные допущения, принимаемые в задачах механики грунтов.</p> <p>Напряжения в массиве грунта от действия внешних нагрузок. Действие вертикальной сосредоточенной силы, приложенной к поверхности линейно-деформируемого полупространства. Действие нескольких сосредоточенных сил, приложенных к поверхности линейно-деформируемого полупространства. Действие местного равномерно распределенного давления. Определение напряжений методом угловых точек. Действие равномерно распределенной полосовой нагрузки (плоская задача). Действие на основание равномерно распределенной нагрузки по площади круга и кольца.</p> <p>Влияние некоторых дополнительных факторов на распределение напряжений в пределах полупространства. Влияние неоднородности напластования грунтов. Действие сосредоточенной силы внутри полупространства. Распределение давления по подошве жестких фундаментов (контактная задача). Напряжения от действия собственного веса грунта.</p>
5	Методы расчета осадок фундаментов	<p>Определение конечной осадки поверхности слоя грунта при сплошной нагрузке.</p> <p>Определение конечных осадок фундаментов. Расчет осадок фундаментов по действующим нормативным документам. Метод эквивалентного слоя.</p> <p>Развитие осадок оснований во времени. Осадка слоя грунта при фильтрационной консолидации. Осадка слоя грунта при учете ползучести скелета.</p>
6	Теория предельного напряженного состояния грунтов и ее приложения	<p>Общие положения. Понятие о предельном равновесии грунта. Основные положения теории предельного равновесия. Уравнения предельного равновесия.</p> <p>Устойчивость грунтов в основании сооружений. Развитие предельного напряженного состояния в грунте основания</p>

		<p>жестких штампов. Критические давления на грунт основания. Предельное давление на грунт основания. Практические методы расчета несущей способности и устойчивости оснований.</p> <p>Устойчивость грунтов в откосах и склонах. Основные виды нарушения устойчивости откосов. Устойчивость откоса идеально сыпучих грунтов. Устойчивость вертикального откоса в идеальносвязных грунтах. Устойчивость откосов по теории предельного равновесия. Графоаналитические методы расчета устойчивости откосов (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения). Устойчивость прислоненных откосов. Меры борьбы с оползнями.</p> <p>Определение давления грунта на подпорные стенки. Понятие об активном давлении и пассивном отпоре грунта. Аналитический метод определения давления грунта на подпорную стенку. Определение давления грунта на подпорные стенки методом теории предельного равновесия. Графоаналитический метод определения давления грунта на подпорную стенку.</p>
7	Основы численных методов решения задач механики грунтов	<p>Общие положения. Основные понятия метода конечных элементов. Применение метода конечных элементов для реализации нелинейных решений. Практическая реализация решения геотехнических задач. Примеры решения геотехнических задач методом конечных элементов. Решение задачи по определению осадки незаглубленного ленточного фундамента при постепенном нагружении его равномерно распределенной нагрузкой. Пример влияния устройства котлована на состояние существующего здания.</p>

#### 4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа
	<b>Физические свойства грунтов</b>				
1	Введение. Основы строительного грунтоведения	10	4	2	4
2	Характеристика физических свойств грунтов	12	4	4	4
3	Особенности просадочных, макропористых грунтов	12	4	4	4
	<b>Механические свойства грунтов</b>				
4	Механические свойства грунтов	12	4	4	4
5	Определение механических характеристик грунтов в приборах трёхосного сжатия	12	2	4	6
	<b>Определение напряжений в грунте</b>				

6	Определение напряжений в массиве грунта	12	4	4	4
	<b>Расчет осадок фундаментов</b>				
7	Распределение напряжений на подошве фундамента	12	4	4	4
	<b>Предельное равновесие грунтов и устойчивость массивов грунта</b>				
8	Устойчивость откосов	12	4	4	4
9	Давление грунта на подпорные стенки	14	4	4	6
ИТОГО		108	34	34	40

## 5. Виды образовательной деятельности

### Занятия лекционного типа

**Лекция 1,2.** Введение. Общие представления о грунтах, механике грунтов и основы строительного грунтоведения

**Лекция 3,4.** Физические свойства грунтов, классификация грунтов по физическим свойствам

**Лекция 5,6.** Особенности просадочных, макропористых грунтов

**Лекция 7,8.** Основные закономерности сопротивления грунтов действию внешних нагрузок, механические свойства грунтов

**Лекция 9.** Основы теории распределения напряжений в грунте

**Лекция 10,11.** Напряжения в грунтовых основаниях

**Лекция 12.** Деформации грунтов и расчет осадок фундаментов

**Лекция 13.** Реология и нелинейная механика грунтов

**Лекция 14.** Устойчивость откосов и склонов

**Лекция 15.** Давление грунта на подпорные стенки

**Лекция 16.** Причины развития неравномерных осадок в сооружении

**Лекция 17.** Совместная работа основания и сооружения

### Лабораторные занятия

#### Лабораторное занятие 1

#### ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРУНТА

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой и аппаратурой, применяемыми при гранулометрическом анализе грунтов; научиться проводить опыты самостоятельно.

#### Краткие сведения из теории

Гранулометрическим составом грунта называется содержание в нем фракций, выраженное в процентах к общей массе пробы грунта.

Гранулометрический состав грунта является одним из важнейших факторов, определяющих физико-механические свойства грунта (сопротивление сдвигу, сжатию, водопроницаемость и др.).

С целью определения гранулометрического состава выполняют гранулометрический или механический анализ, который заключается в разделении пробы грунта на фракции, т.е. группы с близкими по величине частицами.

Гранулометрический анализ крупнообломочных и песчаных грунтов в первую очередь необходим для их классификации в соответствии с действующими нормами.

Наиболее распространены два метода гранулометрического анализа: ситовой метод – для разделения фракций диаметром до 0,1 мм и ареометрический метод - для разделения фракций диаметром частиц менее 0,1 мм.

## Лабораторное занятие 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ ГРУНТА

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой и аппаратурой, применяемыми при определении плотности частиц грунта; научиться самостоятельно определять ее.

#### Краткие сведения из теории

Плотность частиц грунта является одной из основных фазовых характеристик грунта.

Плотность частиц грунта равна отношению массы частиц образца грунта, высушенного при 100-105 °С до постоянной массы, к их объему:

$$\rho_s = \frac{m_{ск}}{V_{ск}},$$

где  $m_{ск}$  – масса частиц в образце грунта, г;  $V_{ск}$  – объем этих частиц, см<sup>3</sup>.

Определение плотности производится пикнометрическим способом.

Пикнометр – мерная колба, вмещающая определенный объем воды при 20 °С. Уровень, соответствующий этому объему, отмечен на горле колбы кольцевой риской.

Для определения плотности незасоленных грунтов применяют дистиллированную воду, в случае засоленных грунтов (солончаки, грунты с видимыми выцветами солей и т. п.) – керосин. Керосин должен быть обезвожен и профильтрован, а его плотность определена заранее с помощью ареометра.

Взвешивание должно производиться с точностью до 0,01 г. Для каждого образца производятся два параллельных определения плотности частиц. Расхождение между результатами этих определений более чем на 0,02 г/см<sup>3</sup> не допускается.

За плотность частиц грунта принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений.

## Лабораторное занятие 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ, ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА И РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой и аппаратурой, применяемыми при определении плотности и влажности грунта; научиться определять эти характеристики; научиться определять расчетные характеристики грунта.

#### Краткие сведения из теории

**Плотность грунта.** Под плотностью образца грунта понимают массу единицы его объема. Плотность грунта с естественной влажностью

$$\rho = \frac{m_{гр}}{V_{гр}},$$

где  $m_{гр}$  – масса образца грунта при естественной влажности, г;  $V_{гр}$ , -объем образца грунта, см<sup>3</sup>.

Для определения плотности используют метод режущего кольца или метод парафинирования.

Метод режущего кольца применяют для связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также для сыпучих в тех случаях, когда объем и форма отбираемого образца могут быть сохранены только при помощи жесткой тары.

Метод парафинирования применяют для связных грунтов, трудно поддающихся вырезке или склонных к крошению.



Плотность песчаного грунта ненарушенного сложения и природной влажности определяют на месте отбора образца методом режущего кольца.

Для каждой разности грунтов количество параллельных определений должно быть достаточным для статистической обработки (обычно не менее 6).

За нормативное значение плотности образца грунта принимают среднее арифметическое из параллельных определений. Все взвешивания должны выполняться с точностью до 0,01 г.

**Весовая влажность грунта.** Влажностью образца грунта называется содержание в нем воды, удаляемой высушиванием при температуре 100–105 °С до постоянной массы, отнесенное к этой массе и выраженное в процентах или в долях единицы. Взвешивание должно производиться с точностью до 0,01 г.

**Фазовые характеристики грунтов, определяемые расчетом.** Расчетом определяются следующие характеристики грунтов: плотность сухого грунта  $\rho_d$ ; пористость  $n$ ; коэффициент пористости  $e$ ; степень влажности  $S_r$ .

Плотностью сухого грунта называется масса твердых частиц в единице объема грунта

$$\rho_d = \frac{m_s}{V},$$

где  $m_s$  – масса твердых частиц, г;  $V$  – объем грунта, см<sup>3</sup>. Пористость – это объем пор в единице объема грунта, %,

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100 \%,$$

где  $V_n$  – объем пор, см<sup>3</sup>;  $V$  – объем грунта, см<sup>3</sup>.

Коэффициентом пористости называется отношение объема пор к объему твердых частиц:

$$e = \frac{V_n}{V_s},$$

где  $V_n$  – объем пор, см<sup>3</sup>;  $V_s$  – объем твердых частиц, см<sup>3</sup>.

Степень влажности или коэффициент водонасыщения – это отношение объема воды в порах грунта к объему пор:

$$S_r = \frac{V_w}{V_n},$$

где  $V_w$  – объем воды, см<sup>3</sup>;  $V_n$  – объем пор, см<sup>3</sup>.

Указанные характеристики определяются по формулам, приведенным в таблице.

#### Формулы для определения расчетных характеристик

Наименование характеристики	Расчетная формула
Плотность грунта в сухом состоянии, г/см <sup>3</sup>	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$
Пористость, %	$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100$
Коэффициент пористости	$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$
Степень влажности	* $S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w}$

В зависимости от значения степени влажности песчаные грунты классифицируют в соответствии с таблицей.

### Разновидности песчаных грунтов по степени влажности

Значение степени	Разновидность грунта
$0 < S_r \leq 0,5$	Маловлажный
$0,5 < S_r \leq 0,8$	Влажный
$0,8 < S_r \leq 1$	Водонасыщенный

### Лабораторное занятие 4

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВЛАЖНОСТЕЙ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ (ГРАНИЦ КОНСИСТЕНЦИИ)

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой и приборами, используемыми при определении пределов пластичности; научиться определять пределы пластичности и классифицировать глинистые грунты.

#### Краткие сведения из теории

Под пределами пластичности понимают такие влажности, при которых глинистый грунт переходит из одного состояния в другое. Различают верхний предел пластичности, или границу текучести  $w_L$  – влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее или наоборот, %, и нижний предел пластичности, или границу раскатывания  $w_p$  – влажность, при которой грунт переходит из полутвёрдого в пластичное состояние, %.

Разность между границей текучести и границей раскатывания называется числом пластичности  $I_p = w_L - w_p$ , %.

По числу пластичности глинистые грунты классифицируются следующим образом:

$1 < I_p \leq 7$  – супесь;

$7 < I_p \leq 17$  – суглинок;

$I_p > 17$  – глина.

Зная границу раскатывания, число пластичности и естественную влажность грунта  $w$ , определяют показатель консистенции (коэффициент консистенции) грунта по формуле

$$I_L = (w - w_p) / I_p.$$

Глинистые грунты по показателю консистенции  $I_L$  именуется согласно таблице 1.

#### Граница текучести

Граница текучести характеризуется влажностью (в долях единицы) пасты, изготовленной из грунта и воды, при которой балансирный конус погружается в тесто под действием собственной массы за 5 с на глубину 10 мм.

#### Граница раскатывания

Граница раскатывания грунта характеризуется влажностью (в долях единицы), при которой тесто, изготовленное из грунта и воды, раскатываемое в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на отдельные кусочки длиной 3–10 мм.

#### Наименование глинистых грунтов по $I_L$

Наименование грунта	Показатель консистенции
Супеси:	
твёрдые	$I_L < 0$
пластичные	$0 \leq I_L \leq 1$
текучие	$I_L > 1$

Суглинки и глины:	
твёрдые	$I_L < 0$
полутвёрдые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,5$
мягкопластичные	$0,5 < I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,0$

### Лабораторное занятие 5

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой определения коэффициента фильтрации глинистого грунта с помощью прибора ПФ-1.

#### Краткие сведения из теории

Водопроницаемостью грунтов называют способность их пропускать через себя воду.

Численно водопроницаемость характеризуется так называемым коэффициентом фильтрации  $K_f$ .

Коэффициент фильтрации представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице,

$$v = K_f I.$$

Выражают коэффициент фильтрации обычно в см/с или м/сут.

Коэффициент фильтрации используется при расчетах запасов подземных вод, определении притока воды в строительные котлованы и горные выработки, при расчете утечек воды из водохранилищ, проектировании дренажных сооружений и фильтров и при ряде других расчетов.

Определяется коэффициент фильтрации в приборах типа ПФ, ПФ-1, ПВ, которые позволяют учитывать при проведении опыта внешнее давление на грунт, а также проводить опыты при постоянной пористости для набухающих грунтов. Коэффициент фильтрации в этом случае определится по формуле

$$K_f = \frac{G}{FIT},$$

где  $F$  – площадь образца, см<sup>2</sup>;  $I$  – гидравлический градиент, равный отношению среднего действующего напора к длине пути фильтрации;  $T$  – время фильтрации, с;  $G$  – расход воды, см<sup>3</sup>,  $G = S(H_1 - H_2)$ ;  $S$  – площадь трубки, см ;  $(H_1 - H_2)$  – изменение высоты водяного столба в трубке за время опыта, см.

### Лабораторное занятие 6

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ. ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1.1. Как изменяется поровое давление в грунте при постоянной его температуре, если в порах наблюдается: парообразование; газорастворение; конденсация пара; газовыделение?

1.2. При извлечении образца грунта с большой глубины поровое давление приобрело отрицательное (по сравнению с атмосферным давлением) значение. Какие процессы фазовых переходов могут быть вызваны этим явлением?

1.3. Как называются явления массопереноса в грунте в форме: движения поровой воды; перемещения минеральных частиц грунта?

1.4. Назовите пять основных упрощающих допущений классической механики грунтов.

1.5. Как изменяется деформация грунта при действии неизменной нагрузки, если модуль упругости частиц скелета грунта увеличится в 10 раз?

1.6. Как изменится объемная деформация полностью водонасыщенного грунта при отсутствии дренирования в условиях компрессионного сжатия, если давление  $P$  увеличится в 10 раз?

1.7. Вывести формулу для определения производной характеристики грунта  $\rho_d$  через основные характеристики  $\rho$  и  $W$ .

1.8. Вывести формулу для определения коэффициента пористости грунта через основную характеристику  $\rho_s$  и производную характеристику  $\rho_d$ .

1.9. Вывести формулу для определения пористости грунта через основную характеристику  $\rho_s$  и производную характеристику  $\rho_d$ .

1.10. Вывести формулу для определения степени влажности грунта через основные характеристики  $\rho_s$ ,  $\rho_w$ ,  $W$  и производную характеристику  $e$ .

1.11. Вывести формулы, устанавливающие зависимости между:

а) коэффициентом пористости и пористостью;

б) пористостью и коэффициентом пористости.

1.12. Вывести формулу для определения удельного веса грунта во взвешенном в воде состоянии.

1.13. В приводимой ниже таблице в столбце «степень пригодности» выполнить экспертную оценку грунтовых условий по группе физических характеристик грунта, отметив знаком «+» более предпочтительные для целей строительства условия. Заполнить также столбец «единицы измерения».

1.14. Влажность грунта на границе пластичности составляет 12 %. Природная влажность грунта 20 %, показатель текучести 0,5, определить вид грунта.

1.15. Удельный вес частиц грунта  $27 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес сухого грунта  $13,5 \text{ кН/м}^3$ . Определить удельный вес грунта во взвешенном состоянии, если удельный вес воды равен  $10 \text{ кН/м}^3$ .

Характеристика	Единицы измерения	Значение	Степень пригодности
E		0,47	
		0,92	
$\rho_d$		1,75	
		1600	
		1200	
$\gamma_d$		13	
		15	
$S_r$		0,7	
		0,9	
$I_L$		-0,1	
		0,2	
		0,9	

1.16. Число пластичности грунта 0,16, показатель текучести 0,5, влажность на границе пластичности 12 %. Определить степень влажности грунта, если удельный вес воды  $10 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес частиц грунта  $27 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес сухого грунта  $16,2 \text{ кН/м}^3$ .

1.17. Влажность грунта 20 %. Удельный вес грунта  $18 \text{ кН/м}^3$ . Определить вес воды, содержащейся в  $5 \text{ м}^3$  грунта.

1.18. Коэффициент пористости грунта равен 1. Чему равна пористость грунта?

1.19. Плотность частиц грунта  $2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность поровой воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность грунта  $1620 \text{ кг/м}^3$ , природная влажность 20 %. Определить влажность при полном водонасыщении грунта.

1.20. Плотность частиц грунта  $2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность поровой воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность грунта  $1620 \text{ кг/м}^3$ , природная влажность 20 %, влажность на границе пластичности 12 %, влажность на границе текучести 33 %. Определить состояние (консистенцию) грунта при его полном водонасыщении.

1.21. Определить чему будет равен вес  $1 \text{ м}^3$  песка при заполнении пор водой на 50%, если его вес в сухом состоянии равен 18 кН, а удельный вес минеральных частиц песка равен  $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$ .

1.22. Какой объем воды необходим для увлажнения  $1 \text{ м}^3$  песка до полного водонасыщения, если его природная влажность составляет  $w = 0,15$ , плотность равна  $\rho = 1,88 \text{ т/м}^3$ , а плотность минеральных частиц песка равна  $\rho_s = 2,65 \text{ т/м}^3$ ?

### Лабораторное занятие 7

#### КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой исследования грунтов на сжимаемость.

#### Краткие сведения из теории

Компрессией называется сжатие грунта при отсутствии бокового расширения, что моделирует поведение грунта при действии равномерно распределенной нагрузки по ограничивающей полупространство плоскости.

Результаты компрессионных испытаний используются при расчётах деформаций основания и для определения деформационных характеристик грунтов – коэффициента сжимаемости  $m_{oi}$  модуля общей деформации  $E$ .

Испытание на компрессию осуществляется в компрессионных приборах (одометрах), основной частью которых является жёсткая металлическая обойма (кольцо), препятствующая поперечному расширению грунта. Нагрузка на грунт передаётся через поршень.

Для того чтобы предохранить образец от высыхания, испытания его, как правило, производят под слоем жидкости. При этом возможны две различные методики испытаний: а) под слоем воды; б) под слоем масла.

В первом случае образец может набухать, что существенно изменяет его свойства. Поэтому перед заливкой воды поршень прибора закрепляют, таким образом, чтобы исключить набухание образца. Если затем скомпенсировать возможное перемещение поршня вверх, вызванное набуханием образца, нагрузкой, приложенной к плечу рычага, то можно определить давление набухания.

Во втором случае образец заливают машинным или вазелиновым маслом для того, чтобы исключить высыхание образца. Набухание при этом отсутствует.

Деформации образца измеряют с помощью индикаторов с ценой деления  $0,01 \text{ мм}$ . Так как деформации при компрессии грунта протекают медленно, за условную стабилизацию деформации принимают величину сжатия грунта, не превышающую  $0,01 \text{ мм}$ , для песчаных грунтов – за 30 мин, для супеси – за 3 часа, для суглинков и глин – за 12 часов.

При проведении лабораторной работы во время занятий стабилизация деформаций условно считается достигнутой при небольших скоростях деформаций. При этом может быть выявлен только приблизительный характер компрессионной кривой.

## Лабораторное занятие 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА СДВИГУ

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой испытаний грунтов на сдвиг.

#### Краткие сведения из теории

Сопротивление грунтов сдвигающим усилиям имеет важное значение при проектировании сооружений. Прочностные характеристики грунта - угол внутреннего трения  $\varphi$  и сцепление  $c$ , получаемые в процессе испытания на сдвиг, используются в расчетах прочности и устойчивости оснований, устойчивости откосов и подпорных стенок.

Величины этих характеристик определяются в соответствии с законом Кулона, по которому сопротивление грунтов сдвигу есть функция первой степени от нормального давления. Записывается закон Кулона уравнением

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

Испытания проводятся при трех ступенях вертикальной нагрузки по методике быстрого сдвига или консолидированного сдвига.

По результатам испытаний строят график сдвига, определяют  $\varphi$  и  $c$  и составляют уравнение сдвига.

## Лабораторное занятие 9

### ИСПЫТАНИЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА НА КОНСОЛИДАЦИЮ

**Цель работы.** Ознакомиться с методикой испытания глинистых грунтов на консолидацию.

#### Краткие сведения из теории

При увеличении внешнего давления на грунт происходит изменение его влажности вследствие оттока воды. Разность напоров между отдельными точками грунта выравнивается в течение большего или меньшего промежутка времени в зависимости от водопроницаемости грунта, причем в процессе выравнивания часть внешнего давления не будет передаваться на скелет грунта, а будет создавать давление в воде, вытекающей из пор грунта.

Скорость уплотнения водонасыщенных грунтов определяется в основном скоростью выжимания воды из пор грунта. Поэтому процесс выравнивания гидродинамических давлений и затухания осадок во времени, базирующийся на уравнениях фильтрации, называется фильтрационной консолидацией. Теория фильтрационной консолидации определяет основную часть процесса протекания осадок во времени, сверх же этой части напоры в воде становятся близкими к нулю, осадки же еще продолжают нарастать. Это происходит потому, что одновременно с фильтрационной консолидацией возникает и консолидация вследствие ползучести скелета грунта, которая получила название вторичной или пластической консолидации.

Результаты испытаний грунтов на консолидацию используются при расчете деформаций оснований во времени и для определения коэффициента фильтрационной консолидации  $O_c$ .

Испытания на консолидацию производятся в компрессионных приборах (одометрах), конструкция и порядок сборки которых подробно описан в лабораторной работе № 6 и поэтому в данной работе не приводится.

## Лабораторное занятие 10

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ. ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

2.1. Жесткая обойма в форме кольца с внутренним диаметром 70 мм, толщиной стенки 2 мм и высотой 30 мм заполнено грунтом, коэффициент Пуассона которого 0,40. Определить кольцевые напряжения в жесткой обойме, если к свободным поверхностям грунта приложено уравновешенное давление 300 кПа.

2.2. Осевая деформация грунта в компрессионном приборе при давлении 300 кПа составляет 0,005. Определить модуль деформации грунта, если его коэффициент Пуассона равен 0,4.

2.3. Начальный коэффициент пористости грунта составляет 1,0. Определить коэффициент пористости грунта при нагружении его в компрессионном приборе, если начальная высота образца уменьшилась на 10%.

2.4. Плотность частиц грунта равна  $2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность сухого грунта  $1350 \text{ кг/м}^3$ . Чему равна деформация грунта в компрессионном приборе, если начальный коэффициент пористости уменьшился на 10 %?

2.5. На что указывает знак "минус" в правой части дифференциального уравнения закона уплотнения Терцаги?

2.6. Плотность частиц грунта  $2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность сухого грунта  $1350 \text{ кг/м}^3$ . При нагружении грунта в компрессионном приборе давлением 200 кПа начальный коэффициент пористости уменьшился на 10 %. Определить модуль деформации грунта при  $\nu=0,4$ .

2.7. Коэффициент сжимаемости грунта равен  $0,0005 \text{ м}^2/\text{кН}$ . Коэффициент Пуассона грунта 0,4. Определить модуль деформации грунта, если: а)  $e_0=1,0$ ; б)  $e_0=0,5$ ; в)  $e_0=0,8$ .

2.8. Чему равен модуль деформации грунта с  $\nu= 0,3$ , если при нагрузке на круглый штамп площадью  $5000 \text{ см}^2$ , равной 150 кН, осадка штампа составила 1 см?

2.9. Модуль деформации грунта  $E$ , определенный в компрессионном приборе при  $e_0=0,8$ , составил 2,5 МПа. С учетом поправочного коэффициента Агишева значение  $E_0$  для натурального грунта составляет 10 МПа. Как измениться значение  $E_0$  для натурального грунта, если указанная величина  $E$  в компрессионном приборе получена: а) при  $e_0 = 1,0$ ; б) при  $e_0 = 0,5$ ?

2.10. Образец грунта испытывается в стабилометре при постоянном боковом давлении 50 кПа. Прочностные характеристики грунта составляют:  $c = 20 \text{ кПа}$ ;  $\varphi = 20^\circ$ . При каком вертикальном давлении произойдет разрушение грунта?

2.11. Образец грунта испытывается в стабилометре при постоянном соотношении главных напряжений. Прочностные характеристики грунта:  $c = 50 \text{ кПа}$ ;  $\varphi = 16^\circ$ .

Можно ли разрушить образец при любом соотношении главных напряжений. Определить минимальное соотношение большего главного напряжения к меньшему главному напряжению, при котором образец грунта будет разрушен в процессе нагружения.

2.12. Образец грунта испытывается в стабилометре. Прочностные характеристики грунта:  $c = 50 \text{ кПа}$ ;  $\varphi = 16^\circ$ . Соотношение большего главного напряжения к меньшему составляет 3. Определить  $\sigma_1$ , соответствующее разрушению образца.

2.13. Образец грунта испытывается в стабилометре. Прочностные характеристики грунта:  $c = 50 \text{ кПа}$ ;  $\varphi = 16^\circ$ . Соотношение большего главного напряжения к меньшему составляет 1,5. Определить  $\sigma_1$ , соответствующее разрушению образца.

2.14. Фазы напряженно-деформированного состояния грунта характеризуются тремя давлениями: 20 кПа; 200 кПа; 600 кПа. Назовите характерные давления фаз напряженно-деформируемого состояния грунта и укажите их значения?

2.15. Грунт находится в фазе уплотнения. Назовите вид зависимости между напряжениями в грунте и его деформациями: а) при нагрузке; б) при разгрузке. Чем отличается модуль деформации грунта от модуля упругости грунта?

2.16. Поверхность грунтового потока имеет уклон  $26^{\circ}30'$ . Коэффициент фильтрации грунта  $100 \text{ м/сут}$ . Определить ориентировочное время заполнения водой траншеи шириной  $0,5 \text{ м}$ , пересекающей грунтовый поток и заглубленной ниже уровня грунтовых вод.

2.17. Могут ли происходить фильтрационные процессы в грунте, если а)  $I = 0,2, I_0 = 0,3$ ; б)  $I = 0,3, I_0 = 0,3$ ; в)  $I = 0,5, I_0 = 0,1$ ?

2.18. Каким образом по величине порового давления можно установить завершение фильтрационной консолидации грунта, если начальный градиент гидравлического напора  $I_0 = 0$ ?

2.19. Может ли модуль деформации грунта быть а) меньше модуля упругости; б) больше модуля упругости; в) равен модулю упругости?

2.20. Можно ли применить модель линейно деформируемой среды для расчета грунтового основания, если напряжения в грунте больше структурной прочности грунта и меньше начального критического давления?

### Лабораторное занятие 11

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТЕ. ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

3.1. Чему равно нормальное напряжение в точке приложения вертикальной силы к поверхности упругого полупространства?

3.2. Чему равно нормальное напряжение на поверхности упругого полупространства от действия сосредоточенной вертикальной силы?

3.3. Доказать, используя теорию напряженного состояния в точке и гипотезу Буссинеска о равенстве нулю напряжений на площадках, перпендикулярных касательной плоскости к полусфере с центром в точке приложения силы, что главный вектор напряжений на горизонтальной площадке  $\sigma R$  равен  $\sigma R = \cos\beta$ , где  $\sigma R$  – вектор нормальных напряжений на касательной к полусфере плоскости,  $\beta$  – угол наклона вектора  $\sigma R$  к вертикали, проходящей через центр полусферы.

3.4. Поверхность упругого полупространства загружена нагрузкой, распределенной по прямоугольнику. Доказать, что вертикальное напряжение в угловой точке загруженной поверхности на глубине  $z$  равно  $1/4$  напряжения в центральной точке на глубине  $z/2$ .

3.5. На поверхности упругого полупространства действует нагрузка, распределенная по прямоугольнику, интенсивностью  $200 \text{ кПа}$ . Определить нормальное напряжение на поверхности:  $a$  – в центре загруженной поверхности;  $b$  – в угловой точке загруженной поверхности.

3.6. На поверхности упругого полупространства действует нагрузка, распределенная по прямоугольнику, интенсивностью  $300 \text{ кПа}$ . Определить нормальные напряжения на поверхности в центральной точке:  $a$  – по формуле  $\sigma z = \alpha \cdot p$ ;  $b$  – методом угловых точек.

3.7. Определить вертикальные напряжения в упругом полупространстве по центральной оси на глубине  $1 \text{ м}$  от нагрузки на поверхности интенсивностью  $200 \text{ кПа}$ , распределенной по прямоугольнику с размерами сторон:  $a$  –  $2 \times 2 \text{ м}$ ;  $b$  –  $4 \times 4 \text{ м}$ .

3.8. В фундаменте размерами в плане  $2 \times 2 \text{ м}$  сделан вырез в форме четверти размерами в плане  $1 \times 1 \text{ м}$ . Через фундамент передается на основание вертикальная нагрузка интенсивностью  $300 \text{ кПа}$ . Определить вертикальные напряжения в грунтовой массе на глубине  $1 \text{ м}$  по вертикали, проходящей через незагруженный угол четверти.



3.9. Фундамент имеет размеры в плане 2,2 м и передает на основание распределенную нагрузку интенсивностью 200 кПа. Определить напряжения на глубине 1 м от незагруженной поверхности основания в точке (а), отстоящей от середины стороны фундамента на расстоянии 1 м.

3.10. Доказать, что вертикальные напряжения в грунтовом массиве при плоской деформации определяются по формуле  $\sigma_z = p \cdot (\alpha + \sin \alpha \cdot \cos 2\beta_0) / \pi$ , где  $p$  – интенсивность нагрузки (кН/м<sup>2</sup>);  $\alpha$  – угол видимости загруженной полосы из точки, в которой определяется напряжение  $\sigma_z$ ;  $\beta_0 = (\beta_1 + \beta_2) / 2$ ;  $\beta_1, \beta_2$  – углы, составляемые лучами, образующими угол  $\alpha$ , с вертикалями. При доказательстве принять, что напряжение от действия полосовой (вдоль оси  $x$ ) нагрузки единичной ширины (вдоль оси  $y$ )  $q$  (кН/м) определяется по формуле Фламана  $\sigma_z = 2 \cdot q \cdot z^3 / (\pi \cdot R^4)$ , где  $z$  – глубина от поверхности полуплоскости;  $R$  радиус-вектор точки, в которой определяется напряжение  $\sigma_z$ .

3.11. Доказать, что при действии на упругое полупространство полосовой нагрузки вектор большего главного напряжения направлен по биссектрисе угла видимости полосовой нагрузки.

3.12. Получить формулы для определения главных напряжений при нагружении упругой полуплоскости полосовой нагрузкой. Принять, что угол между вертикальным напряжением  $\sigma_z$  и большим главным напряжением  $\sigma_1 \varphi = \beta_0$ ,  $\beta_0 = \beta_1 + \alpha / 2$ , где  $\sigma_1$  – угол видимости полосовой нагрузки;  $\beta_1$  – угол между вертикалью и левым лучом угла видимости  $\alpha$ .

3.13. Ленточный фундамент шириной 1 м передает на основание давление 200 кПа. Построить эпюру вертикальных напряжений в грунтовом массиве на глубине 1 м. Построение эпюры осуществляется по точкам: в центре фундамента; по краям фундамента; на расстоянии 0,5 м от крайних точек фундамента.

3.14. Давление на основание в центре абсолютно жесткого круглого штампа диаметром 1 м составляет 100 кПа. Определить нагрузку на штамп (кН), создающую указанное давление.

3.15. Давление на основание под абсолютно жесткой полосой шириной 2 м на расстоянии 0,5 м от центра равно 100 кПа. Определить нагрузку на 1 пог. м полосы, создающую указанное давление.

3.16. Абсолютно жесткий круглый штамп и абсолютно жесткая полоса передают на основание одинаковые средние давления. Определить, как соотносятся давления в центре указанных штампов.

3.17. Поверхность упругого полупространства загружена распределенным по прямоугольнику 2×3 м вертикальным давлением 200 кПа. Средняя осадка поверхности составляет 5 см. Определить осадку абсолютно жесткого штампа размерами в плане 2×3 м, нагруженного по центру вертикальной силой 1200 кН.

3.18. Доказать, что удельный вес полностью водонасыщенного грунта  $\gamma_{\text{sat}}$  равен сумме удельных весов грунта во взвешенном состоянии  $\gamma_{\text{sb}}$  и грунтовой воды  $\gamma_w$ .

3.19. Основание сложено однородным грунтом со следующими характеристиками:  $\gamma = 18$  кН/м<sup>3</sup>;  $\gamma_s = 27$  кН/м<sup>3</sup>;  $e_0 = 0,6$ . Уровень грунтовых вод находится на 3 м ниже поверхности основания,  $\gamma_w = 10$  кН/м<sup>3</sup>. Определить глубину, на которой бытовые давления  $\sigma_{zg} = 70$  кПа.

3.20. Определить величину дополнительных вертикальных напряжений на глубине 3 м от поверхности планировки под центром, углом и серединой стороны фундамента размером 5х5 м и глубиной заложения 1 м, давление под подошвой фундамента  $P_{cp} = 270$  кПа, удельный вес грунта  $\gamma = 20$  кН/м<sup>3</sup>.

3.21. Определить дополнительное напряжение на глубине 8 м под центром подошвы близкорасположенных фундаментов с размерами  $2 \times 2$  м и глубиной заложения 2 м. Расстояние между центрами фундаментов по оси  $X$  – 3 м и по оси  $Y$  – 3 м. Нагрузка на каждый фундамент  $N = 1600$  кН. Удельный вес грунта  $\gamma = 20$  кН/м<sup>3</sup>.

### Лабораторное занятие 12

#### РАСЧЕТ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ. ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 4.1. Чему равно начальное критическое давление для идеально связного грунта ( $\varphi = 0$ )?
- 4.2. Чему равно начальное критическое давление для песка?
- 4.3. Чему равно начальное критическое давление для грунта с нулевыми значениями прочностных характеристик?
- 4.4. Начальное критическое давление на грунт составляет 200 кПа, предельное критическое давление 400 кПа. В какой фазе напряженно-деформированного состояния находится грунт, если давление на грунт составляет: а – 150 кПа; б – 250 кПа; в – 450 кПа?
- 4.5. Можно ли, используя формулу Пузыревского, определить точное значение расчетного сопротивления грунта при действии полосовой нагрузки?
- 4.6. Доказать, что траектория точек с одинаковым значением углов видимости изображится в виде окружности, проходящей через крайние точки полосовой нагрузки.
- 4.7. Устойчивая высота стенки траншеи, отрытой в связном грунте, составляет 4 м 28 см. Определить допустимую нагрузку (кПа) на бровку траншеи глубиной 2 м 28 см при условии, что удельный вес грунта  $\gamma = 18$  кН/м<sup>3</sup>.
- 4.8. Чему равна высота устойчивой стенки траншеи, отрытой в песке?
- 4.9. Подпорная стена удерживает связный массив грунта. Определить величину пригруза (кПа) на поверхности массива, при котором горизонтальное давление на уровне верха подпорной стены будет равно нулю.
- 4.10. Вертикальная подпорная стена высотой 12 м удерживает массив сыпучего грунта с удельным весом 20 кН/м<sup>3</sup>. Пригруз на поверхности массива грунта отсутствует. Активное давление на глубине 10 м составляет 66,6 кПа. Определить пассивное давление грунта на глубине 2 м со стороны массива грунта, удерживающую заглубленную часть подпорной стены.
- 4.11. Подпорная стена со стороны удерживающего массива грунта ( $\gamma = 18$  кН/м<sup>3</sup>) заглублена на 3 м. Прочностные характеристики грунта:  $C = 20$  кПа;  $\varphi = 22^\circ$ . Определить величину силы предельного сопротивления грунта, удерживающего подпорную стену.
- 4.12. Массив сложен грунтом ( $\gamma = 15$  кН/м<sup>3</sup>) с нулевыми значениями прочностных характеристик и удерживается подпорной стеной. Определить активное и пассивное давление грунта на глубине 2 м.
- 4.13. Определить коэффициент устойчивости подпорной стены с шириной подошвы 5 м на сдвиг по подошве для момента времени  $t$  в нестабилизированном состоянии основания, если сила активного давления составляет 800 кН/пог. м, сила пассивного давления 300 кН/пог. м, среднее давление по подошве стены 200 кПа. Основание сложено суглинком с прочностными характеристиками:  $C = 25$  кПа;  $\varphi = 24^\circ$ . Поровое давление в грунте основания в момент времени  $t$  составляет 100 кПа.
- 4.14. Проверить устойчивость подпорной стены на опрокидывание относительно края подошвы фундамента при следующих исходных данных:  $E_a = 800$  кН/м;  $h_a = 2,5$  м;  $E_p = 300$  кН/м;  $h_p = 0,6$  м;  $G = 200$  кН/м;  $l_g = 2,5$  м;  $G_{св} = 100$  кН/м;  $l_{св} = 2,0$  м.

4.15. Насыпь, отсыпанная из песка ( $\varphi = 30^\circ$ ), имеет в сечении форму равнобедренной трапеции. Высота насыпи 6 м, ширина верхнего основания 3 м, нижнего основания 12 м. Является ли такая насыпь устойчивой.

4.16. На площадке строительства пробурены три скважины по углам равнобедренного прямоугольного треугольника с размером катета 10 м. У вершины прямого угла грунтовая вода обнаружена на глубине 3 м от поверхности. У вершин острых углов уровень грунтовых вод составляет 5 м от поверхности. Удельный вес грунта  $18 \text{ кН/м}^3$ . Определить величины фильтрационных сил в грунтовом потоке по направлению катетов ( $\text{кН/м}^3$ ).

4.17. Определить удерживающую и сдвигающую силу на элементарном участке круглоцилиндрической поверхности скольжения откоса с длиной горизонтальной проекции 1 м. Высота элементарного объема грунта 6 м. Угол наклона касательной к горизонтали в точке пересечения центральной оси элементарного объема грунта с круглоцилиндрической поверхностью  $30^\circ$ . Характеристики грунта:  $\varphi = 24^\circ$ ;  $C = 25 \text{ кПа}$ ;  $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$ .

4.18. Центр круглоцилиндрической поверхности скольжения отстоит по горизонтали от нижней крайней точки откоса на расстоянии 6 м. Определить участки на круглоцилиндрической поверхности скольжения, на которых составляющая собственного веса грунта является:  $a$  – сдвигающей;  $b$  – удерживающей.

4.19. Поверхность вертикальной подпорной стены, контактирующая с удерживаемым массивом сыпучего грунта, не является идеально гладкой и характеризуется углом внутреннего трения  $\varphi_0 = 30^\circ$ . Вектор полного активного давления  $p_{as}$  равен  $577,3 \text{ кН/пог. м}$ . Определить нормальную составляющую вектора активного давления  $p_a$ .

4.20. Определить оползневое давление в пристенном оползне ( $\text{кН/пог. м}$ ) при следующих исходных данных. Оползневое давление в начале элементарной призмы равно  $600 \text{ кН/пог. м}$ . Длина элементарной призмы  $l_i = 6 \text{ м}$ , вес  $1000 \text{ кН/пог. м}$ . Прочностные характеристики грунта:  $\varphi = 20^\circ$ ;  $C = 20 \text{ кПа}$ . Угол наклона плоскости скольжения  $\alpha_i = 30^\circ$ .

4.21. Определить предельную высоту вертикального откоса котлована. Грунт: песок, угол внутреннего трения  $\varphi = 33^\circ$ , удельное сцепление  $C = 2 \text{ кПа}$ , удельный вес грунта  $\gamma = 19,7 \text{ кН/м}^3$ .

4.22. Определить, будет ли устойчив котлован с вертикальной стенкой высотой 4 м. Грунт: суглинок, угол внутреннего трения  $\varphi = 16^\circ$ , удельное сцепление  $C = 30 \text{ кПа}$ , удельный вес грунта  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ , коэффициент устойчивости  $K = 1,2$ .

4.23. Определить равнодействующие давлений грунта на стену подвала глубиной 3 м для следующих условий: пригрузка на уровне планировки  $20 \text{ кПа}$ , грунт обратной засыпки: удельный вес  $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$ , угол внутреннего трения  $\varphi = 16^\circ$ , удельное сцепление  $C = 0$ . Фундамент заглублен в грунт ниже пола подвала на  $0,68 \text{ м}$ .

4.24. Определить будет ли устойчива массивная подпорная стенка шириной  $0,6 \text{ м}$  из тяжелого бетона  $\gamma = 24 \text{ кН/м}^3$ , заглубленная в грунт на  $1 \text{ м}$  и поддерживающая вертикальный откос высотой  $4 \text{ м}$  при следующих условиях: пригрузка на уровне планировки  $10 \text{ кПа}$ , грунт: удельный вес  $\gamma = 19 \text{ кН/м}^3$ , угол внутреннего трения  $\varphi = 24^\circ$ , удельное сцепление  $C = 10 \text{ кПа}$ . Коэффициент устойчивости  $k = 1,2$ .

4.25. Найти глубину развития зон сдвигов под подошвой ленточного фундамента шириной  $b = 2 \text{ м}$  при среднем давлении по подошве  $P = 250 \text{ кПа}$ . Глубина заложения фундамента  $1 \text{ м}$ . Грунт основания однородный со следующими характеристиками: угол внутреннего трения  $\varphi = 20^\circ$ ; удельное сцепление  $c = 24 \text{ кПа}$ ; удельный вес грунта  $\gamma = 19,5 \text{ кН/м}^3$ . Допустимо ли полученное значение?

### Лабораторное занятие 13

## ПРЕДЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ ГРУНТОВ И УСТОЙЧИВОСТЬ МАССИВОВ ГРУНТА. ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

5.1. При нагрузке основания штампом с размерами в плане 2x2 м при давлении по подошве 300 кПа осадка штампа составила 5 см. При этом на расстоянии 1 м от границы штампа осадка поверхности основания составила 1 см. При полной разгрузке штампа его остаточная осадка составила 2 см. Классифицировать модель основания и определить модуль упругости и модуль деформации основания, если основание однородно,  $R = \text{кПа}$ ,  $\nu = 0,30$ ,  $a_z = 1,06$ .

5.2. При нагрузке основания штампом с размерами в плане 2x2 м при давлении по подошве 300 кПа осадка штампа составила 5 см. При этом за пределами штампа осадки отсутствовали. При полной разгрузке штампа его остаточная осадка составила 5 см. Классифицировать модель основания и определить коэффициент жесткости при равномерном сжатии, если основание однородно и  $R=350 \text{ кПа}$ .

5.3. Основание загружено давлением 300 кПа, распределенным по прямоугольнику с размерами сторон 2x2 м. Модуль деформации грунта 10 МПа,  $\nu = 0,3$ . Определить осадку в центре прямоугольника и на расстоянии 3 м от его центра вдоль оси прямоугольника.

5.4. При нагружении основания штампом при среднем давлении 100 кПа получены следующие результаты: восстанавливаемая часть осадки 3 мм; осадка после полной разгрузки 7 мм. Определить полную осадку штампа при среднем давлении 200 кПа, если соблюдается принцип линейной деформируемости основания.

5.5. Однородный слой грунта толщиной 1 м испытывает однородное сжатие от планировки подсыпкой интенсивностью 100 кПа. Коэффициент пористости грунта 0,8; коэффициент сжимаемости  $0,00018 \text{ м}^2/\text{кН}$ ; коэффициент Пуассона 0,3. Определить осадку слоя грунта и модуль деформации грунта.

5.6. Деформационные характеристики грунта определяются путем испытания его жестким штампом. Коэффициенты формы подошвы жесткого штампа составляют:  $\omega_z = 1,06$ ;  $\omega_\phi = 1,98$ ;  $\omega_x = 0,53$ . Коэффициент Пуассона грунта 0,3. Определить коэффициент жесткости основания при неравномерном сжатии и равномерном сдвиге, если коэффициент жесткости при равномерном сжатии составляет  $10000 \text{ кН/м}^3$ .

5.7. Осадка фундамента вычисляется методом послойного суммирования. Толщина элементарного слоя принята 1 м. Модуль деформации грунта 10 МПа, коэффициент Пуассона 0,3. Осадка  $i$ -го слоя грунта при давлении на кровле 75 кПа составляет 0,005 м. Определить давление в основании  $i$ -го слоя грунта.

5.8. Осадка фундамента вычисляется методом послойного суммирования. Основание однородно. Модуль деформации грунта 10 МПа, коэффициент пористости 0,8, удельный вес грунта  $18 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес частиц грунта  $27 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес воды  $10 \text{ кН/м}^3$ . Глубина заложения фундамента 3 м. Дополнительное давление в центре  $i$ -го слоя грунта толщиной 1 м на глубине 10 м от подошвы фундамента 40 кПа. Определить осадку  $i$ -го слоя грунта, если: а – уровень грунтовых вод находится на глубине 15 м от поверхности основания; б – то же, на уровне подошвы фундамента.

5.9. Три квадратных фундамента смонтированы без зазоров так, что образуют в плане прямоугольный угол. Основание однородно,  $E = 5 \text{ МПа}$ . Нагрузки на фундаменты одинаковы. Дополнительные давления по центральным осям фундаментов составляют (без учета их взаимного влияния): при  $z=0,4 \text{ м}$  480 кПа; при  $z=0,8 \text{ м}$  400 кПа. Определить осадку слоя грунта толщиной 0,5 м в основании на глубине среднего сечения от подошвы фундаментов

1,6 м по вертикали, проходящей через незагруженный угол фигуры, дополняющей план фундаментов до квадрата.

5.10. Геологический разрез под подошвой фундамента представлен суглинком ( $E = 10$  МПа) толщиной 4 м, подстилаемым скальным грунтом ( $E > 100$  МПа). Определить осадки фундаментов при среднем давлении по подошве 200 кПа: а – при  $b = 10$  м,  $l = 10$  м; б – при  $b = 20$  м,  $l = 20$  м. В расчетах принять:  $k_c = 1,5$ ;  $k_m = 1$ ;  $\xi = 2-z/b$ ;  $k_f = \xi/4$ .

5.11. Фундамент на однородном основании прямоугольной формы в плане с размерами сторон  $2 \times 3$  м нагружен вертикальной силой, приложенной в центре тяжести фундамента, и изгибающим моментом, действующим относительно центральной оси, параллельной короткой стороне фундамента. Крен фундамента по направлению действия момента составляет 0,001 рад.,  $\zeta = 2N_c/b = \text{const}$ . Чему будет равен крен фундамента если: а – вертикальная сила увеличится в 2 раза; б – изгибающий момент и вертикальная сила уменьшатся в 2,5 раза; в – длина и ширина фундамента увеличатся в 2 раза.

5.12. Водонасыщенный слой грунта толщиной 2 м, подстилаемый дренажным слоем, пригружен насыпью через дренажный слой, создающей давление 200 кПа. Характеристики грунта:  $k_f = 0,864$  м/сутки;  $m_v = 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/кН;  $y_w = 10$  кН/м<sup>3</sup>. Определить скорость фильтрации грунтовой воды (м/сутки) в момент времени  $t = 0$  на границах слоя и в середине слоя.

5.13. Водонасыщенный слой грунта ограничен сверху и снизу дренажными слоями и пригружен давлением 100 кПа. Определить эффективные напряжения на границах слоя и в середине слоя в момент времени  $t = 0$ .

5.14. Водонасыщенный слой грунта толщиной 2 м, подстилаемый дренажным слоем, пригружен через дренажный слой насыпью, создающей давление 200 кПа. Характеристики грунта:  $k_f = 0,864$  м/сутки;  $m_v = 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/кН;  $\gamma_w = 10$  кН/м<sup>3</sup>. Определить время, через которое эффективное давление в середине слоя будет равно 100 кПа.

5.15. Дополнительное стабилизированное давление в центре водонасыщенного слоя толщиной 2 м, ограниченного дренажными слоями, составляет 200 кПа. Характеристики грунта:  $E = 7,43$  МПа;  $k_f = 10^{-8}$  м/с;  $m_v = 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/кН;  $y_w = 10$  кН/м<sup>3</sup>. Определить осадку слоя в момент времени  $t = 0$ ,  $t = 1$  сутки,  $t = 30$  суток.

5.16. Водонасыщенный слой толщиной 2 м ограничен снизу и сверху дренажными слоями и пригружен давлением 200 кПа. Характеристики грунта:  $E = 7,43$  МПа;  $\nu = 0,3$ ;  $k_f = 10^{-8}$  м/с;  $y_w = 10$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi = 20^\circ$ ;  $c = 30$  кПа. Определить прочность на сдвиг в середине слоя в момент времени  $t = 0$ ,  $t = 1$  сутки,  $t = 30$  суток.

5.17. Водонасыщенный слой толщиной 3 м ограничен сверху дренажным слоем, снизу водоупором и пригружен насыпью, создающей давление 50 кПа. Определить дополнительные эффективные стабилизированные давления в слое от нагрузки на глубине 1,5 м и 3 м, если начальный градиент гидравлического напора для грунта составляет  $i_0 = 0,3$ . В расчетах принять удельный вес поровой воды  $y_w = 10$  кН/м<sup>3</sup>.

5.18. Определить осадки слоя грунта толщиной 1 м, находящегося в состоянии затухающей ползучести в момент времени  $t = 0$ ,  $t = 1$  сутки,  $t = 30$  суток при следующих исходных данных:  $\beta = 0,8$ ;  $\sigma_z = 300$  кПа;  $E_{мен} = 100$  МПа;  $\delta = 0,0001924$  1/с;  $\delta_1 = 0,0002138$  1/с.

5.19. При испытании грунта штампом измерялись его осадки во времени с периодичностью один раз в сутки при постоянных уровнях нагружения. Результаты испытания приведены в таблице

Уровень нагружения $\sigma_z$ , кПа	Величины осадок, см, по суткам				
	1	2	3	4	5
200	2,00	2,20	2,30	2,38	2,44
400	4,00	4,30	4,60	4,90	5,20
600	6,00	6,40	6,90	7,50	8,20

Определить стадии ползучести грунта при различных уровнях нагружения штампа.

5.20. Фундамент опирается на слой пластичной глины толщиной 1 м, подстилаемой скальным грунтом. Характеристики грунта:  $\varphi = 20^\circ$ ;  $C_c = 20$  кПа;  $\eta = 1,2 \cdot 10^7$  кН·с/м<sup>2</sup>. Давление под подошвой фундамента 300 кПа. Горизонтальная нагрузка, приложенная к фундаменту, создает касательные напряжения по подошве 150 кПа. Определить линейную скорость горизонтальной подвижки фундамента в предположении однородного напряженно-деформированного состояния слоя пластичной глины.

5.21. При установившемся уровне воды в котловане производится ее откачка. Скорость фильтрации воды в котлован при ее откачке постоянна. 70 насосов откачивают воду из котлована за 20 дней, 30 насосов за 60 дней. Сколько потребуется насосов для откачки воды за 30 дней.

#### Лабораторное занятие 14

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА НА СДВИГ

**Цель работы.** Ознакомиться с формулами и методикой определения нормативных и расчетных характеристик по данным сдвиговых испытаний методами математической статистики.

#### Краткие сведения из теории

В лабораторной работе 7 по данным сдвиговых испытаний был построен график сдвига глинистого грунта. В соответствии с законом Кулона при достаточно большом количестве испытаний график сдвига представляет собой прямую линию. В то же время, любой эксперимент всегда имеет определенную погрешность, и точки на графике оказываются разбросанными около прямой. Проблема обработки результатов сводится к тому, как провести линию через такую группу точек (рис. 1). Для этого используют метод наименьших квадратов, в соответствии с которым из числа всех возможных прямых выбирается та, сумма квадратов отклонений частных значений характеристик от которой будет минимальна.

Обработка выполняется по специальным формулам, приспособленным для сдвиговых испытаний.

## Самостоятельная работа

### Задачи к лабораторным работам

**Задача 1.** Определить наименование песчаного грунта.

Гранулометрический состав фракций в пробе грунта (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Размер фракций, мм	Процентное содержание	Размер фракций, мм	Процентное содержание
> 2,0	5	0,10–0,05	10
2,0–0,50	20	0,05–0,005	4
0,50–0,25	32	< 0,005	1
0,25–0,10	28	–	–

**Задача 2.** Определить удельный вес глинистого грунта методом режущего кольца, если известно: объем кольца  $V = 50 \text{ см}^3$ , масса влажного грунта в объеме кольца  $m = 90 \text{ г}$ .

**Задача 3.** Определить влажность и пористость глинистого грунта, если масса образца во влажном состоянии  $m_1 = 30 \text{ г}$ , а в сухом состоянии  $m_2 = 25 \text{ г}$ .

При этом удельный вес равен  $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес частиц грунта  $\gamma_s = 27 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 4.** Определить коэффициент пористости и плотности песчаного грунта.

Песок средней крупности, удельный вес частиц грунта  $\gamma_s = 26,6 \text{ кН/м}^3$ ; влажность грунта  $W = 0,26$ ; удельный вес грунта  $\gamma = 19,8 \text{ кН/м}^3$ .

Решение: Коэффициент пористости грунта определяется по формуле

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma} \cdot (1 + W) - 1 = \frac{26,6}{19,8} \cdot (1 + 0,26) - 1 = 0,693.$$

В соответствии с прил. 2 данный грунт – песок средней крупности, средней плотности т. к.  $0,55 \leq e = 0,693 \leq 0,7$ .

**Задача 5.** Определить вид и консистенцию глинистого грунта.

Дано: Естественная влажность  $W = 0,23$ ; влажность на границе текучести  $W_L = 0,28$ ; влажность на границе раскатывания  $W_P = 0,18$ .

**Задача 6.** Определить наименование, консистенцию и условное сопротивление глинистого грунта плотностью  $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$ , с естественной влажностью  $w = 0,24$ , влажностью на границе раскатывания  $w_p = 20\%$ , на границе текучести  $w_l = 30\%$  при плотности частиц  $\gamma_s = 27 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 7.** Суглинок в природном залегании имеет плотность  $\gamma_1 = 18 \text{ кН/м}^3$  при влажности  $w_1 = 0,15$ . В насыпь суглинок должен укладываться с влажностью  $w_2 = 0,19$ . Какое количество воды потребуется добавить на  $1 \text{ м}^3$  суглинка для увеличения его влажности?

**Задача 8.** Определить степень влажности песчаного грунта.

Дано: Удельный вес частиц грунта  $\gamma_s = 26,6 \text{ кН/м}^3$ ; влажность  $W = 26\%$ ; коэффициент пористости  $e = 0,69$ ; удельный вес воды  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 9.** Определить коэффициент пористости и степень влажности глинистого грунта.

Дано: Суглинок тугопластичный, удельный вес частиц грунта  $\gamma_s = 26,8 \text{ кН/м}^3$ ; удельный вес грунта  $\gamma = 20,0 \text{ кН/м}^3$ , влажность грунта  $W = 0,24$ ; удельный вес воды  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 10.** Определить показатель просадочности  $I_{ss}$  грунта.

Дано: Степень влажности  $S_r < 0,8$ , коэффициент пористости природного сложения и влажности  $e = 0,662$ ; число пластичности  $I_p = 8$ .

Коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести  $W_L$  и определяемый по формуле  $e_L = (W_L \cdot \gamma_s) / \gamma_w$ , при  $\gamma_s = 26,8 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$  и  $W_L = 0,28$  равен  $e_L = 0,28 \cdot 26,8 / 10 = 0,75$ .

**Задача 11.** Определить удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды.

Дано: Коэффициент пористости грунта  $e = 0,68$ ; удельный вес воды  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ ; удельный вес грунта  $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$ .

**Задача 12.** Определить компрессионные характеристики суглинка, если при испытании образца высотой  $h = 20 \text{ мм}$ , начальном коэффициенте пористости  $e_0 = 0,68$  получены величины деформации, представленные в табл. 16.

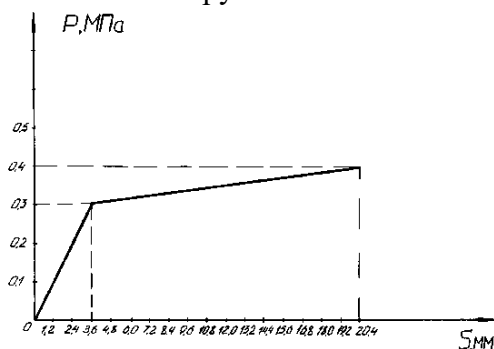
**Задача 13.** Определить модуль общей деформации суглинка, если под вертикальным давлением  $p=0,2 \text{ МПа}$  образец высотой  $h=100 \text{ мм}$  дал абсолютную осадку  $\Delta h=2 \text{ мм}$ .

**Задача 14.** Определить модуль общей деформации  $E_0$  по данным полевых испытаний методом пробной нагрузки.

Дано: Результаты испытания грунта пробной нагрузкой на табл. и графике осадки штампа на рисунке. Грунт супесь. Глубина испытания  $4 \text{ м}$ .

Таблица. Результаты испытания грунта

P, МПа	S, мм
0,00	0,00
0,05	0,60
0,10	1,20
0,15	1,80
0,20	2,40
0,30	3,60
0,40	20,00
0,50	50,00

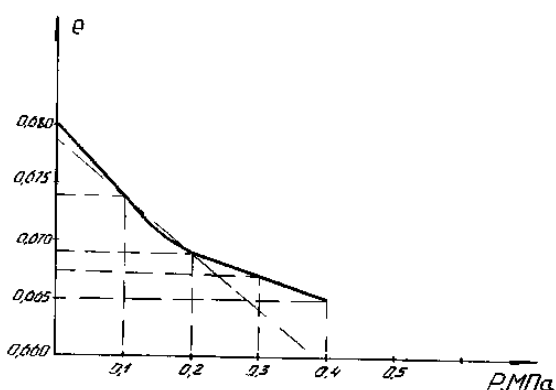


Зависимость осадки штампа от давления

**Задача 15.** Определить модуль общей деформации по результатам компрессионных испытаний.

Дано: Результаты компрессионных испытаний в табл. и график компрессионной кривой на рис. Грунт – глина.

Таблица 1.3



P, МПа	e
0,00	0,680
0,05	0,675
0,10	0,672
0,15	0,670
0,20	0,669
0,30	0,668
0,40	0,667
0,50	0,666

Рис. Компрессионная кривая

**Задача 16.** Определить коэффициент сжимаемости мелкого песка с начальным коэффициентом пористости  $e_0=0,65$  и модулем общей деформации  $E_0=12 \text{ МПа}$ .



**Задача 17.** Пользуясь результатами испытания грунта на компрессию, табл.16, изложенными в задаче 1, определить степень его сжимаемости при разных ступенях вертикального давления.

**Задача 18.** Определить по СНиП 2 02 01-83 прочностные и деформативные характеристики пылевато-глинистого грунта

Дано: Грунт делювиального происхождения число пластичности грунта  $I_p = 0,10$ , показатель текучести  $I_L = 0,20$  коэффициент пористости  $e = 0,45$ .

**Задача 19.** Определить прочностные характеристики полутвердого суглинка, если при испытании его на сдвиг были получены следующие результаты:

- 1) при вертикальном давлении  $p_1=0,1$  МПа сопротивление сдвигу  $i_1=0,065$  МПа;
- 2) при  $p_2=0,2$  МПа  $\tau_2=0,105$  МПа; 3) при  $p_3=0,3$  МПа  $\tau_3=0,145$  МПа.

**Задача 20.** Определить объем штабеля песка в виде пирамиды, который может поместиться на отведенной квадратной площадке со сторонами 20 м. При испытании песка на сдвиг под давлением  $p = 0,1$  МПа получено сопротивление его сдвигу  $\tau = 0,068$  МПа.

**Задача 21.** Определить расчетное сопротивление  $R_0$  грунта основания.

Дано: Число пластичности  $I_p = 0,12$ , показатель текучести  $I_L = 0$ , коэффициент пористости  $e = 0,7$ .

### **Тема 1. Физические свойства грунтов. Методические рекомендации по изучению**

При проработке данной темы студент должен хорошо изучить компонентный (фазовый) состав грунтов: твердые минеральные частицы (скелет), составляющие твердую фазу, виды воды в порах (жидкую фазу) и газообразные включения (газообразную фазу).

Следует помнить, что различные количественные соотношения этих компонентов, а также физико-химические электромолекулярные и прочие взаимодействия между компонентами определяют природу грунтов и их строительные свойства.

Весьма важно изучить главнейшие виды и свойства воды в грунтах. Понимание роли воды в грунте позволит уяснить вопросы связности, консистенции, взвешивающего действия воды на скелет грунта и т.д.

Необходимо хорошо знать основные физические характеристики грунтов, определяемые опытным путем, а также производные (дополнительные) характеристики, получаемые расчетным способом. Надо знать классификационные показатели грунтов и схему классификации нескальных грунтов по ГОСТ 25100-2011.

Изучение темы следует закончить ознакомлением с особенностями свойств структурно неустойчивых грунтов.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите крупных отечественных и зарубежных ученых в области механики грунтов.
2. Из каких основных компонентов состоят грунты?
3. Какие существуют виды воды и газообразных включений в грунте?
4. Назовите основные виды структурных связей в грунтах.
5. Что такое структура и текстура грунта?
6. Как определяются основные и дополнительные характеристики физических свойств грунтов?
7. По каким признакам классифицируются песчаные и пылевато-глинистые грунты по ГОСТ 25100-2011?
8. Какие грунты называются структурно-неустойчивыми?
9. В чем заключается структурная неустойчивость лессовых просадочных грунтов?
10. Почему мерзлые и вечномерзлые грунты рассматриваются как структурно-неустойчивые?

## **Тема 2. Механические свойства грунтов. Методические рекомендации по изучению**

При изучении этой темы следует помнить, что в механике грунтов рассматриваются нескальные грунты, которые являются дисперсными (мелкораздробленными) материалами, в отличие от скальных грунтов, которые относят к сплошным средам. Эта особенность нескальных грунтов приводит к тому, что при решении задач механики грунтов недостаточно закономерностей механики сплошной среды; их необходимо дополнить основными закономерностями, присущими только дисперсным грунтам. К таким основным закономерностям относятся: закон уплотнения, характеризующий сжимаемость грунтов, закон фильтрации, определяющий водопроницаемость грунтов, и закон сопротивления грунтов сдвигу. Очень важно, чтобы студент усвоил принципы исследования механических свойств грунтов для строительных целей: испытание грунтов пробными нагрузками в полевых условиях и лабораторные определения компрессионных свойств и сопротивления грунтов сдвигу.

Полезно научиться анализировать различные зависимости, получаемые в результате испытаний, уметь установить величины, характеризующие механические свойства грунтов, а также знать назначение и использование различных характеристик грунтов при проектировании сооружений: уметь определять нормативные и расчетные значения характеристик.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите основные закономерности механики грунтов и укажите их практические приложения.
2. Что такое упругая и остаточная деформация грунтов?
3. Как производятся компрессионные испытания и обрабатываются их результаты?
4. Напишите выражение для коэффициента относительной сжимаемости.
5. Сформулируйте закон уплотнения грунта. Что следует из этого закона?
6. Как определяется модуль общей деформации грунта по компрессионной кривой и при испытании его статической нагрузкой?
7. Как формулируется вторая закономерность механики грунтов – закон фильтрации?
8. Что такое коэффициент фильтрации грунтов и от каких факторов зависит эта характеристика?
9. Что такое начальный градиент в глинистых грунтах и чем он обусловлен?
10. Какое давление при сжатии грунтовой массы называют эффективным и какое нейтральным?
11. От каких факторов зависит сопротивление сдвигу песчаных и пылевато-глинистых грунтов?
12. Назовите методы испытаний грунтов на сдвиг.
13. Как обрабатываются результаты испытаний грунтов на сдвиг?
14. Как выражается закон Кулона для песчаных и пылевато-глинистых грунтов?
15. Какие значения характеристик грунтов называют нормативными, а какие – расчетными? Как они определяются?

## **Тема 3. Определение напряжений в грунте. Методические рекомендации по изучению**

Изучая данную тему, следует иметь в виду, что методы определения напряжений в грунтах основаны на выводах теории упругости (точнее, теории линейно деформируемых тел), которые приближенно отражают действительное напряженное состояние грунтов, так как при небольших давлениях грунты можно рассматривать как линейно деформируемые тела. При этом необходимо отметить, что принцип линейной деформируемости грунтов является одним из основных в современной механике грунтов: на нем основываются многие расчеты по определению напряжений и деформаций оснований сооружений.

В грунтовой толще напряжения возникают от действия двух основных факторов: собственного веса грунта и внешних нагрузок. При определении напряжений от внешних нагрузок рассматриваются два случая: случай пространственной задачи и случай плоской задачи.

При изучении пространственной задачи студент должен хорошо усвоить, как определяются напряжения при действии вертикальной сосредоточенной силы (задача Буссинеска) и действии местной распределенной нагрузки (метод угловых точек и элементарного суммирования).

При изучении плоской задачи необходимо усвоить, как определяются напряжения при прямоугольной, треугольной и произвольной эпюрах внешних нагрузок. Необходимо также хорошо знать способы изображения эпюр распределения сжимающих напряжений по вертикальным и горизонтальным сечениям массива грунта и линий равных напряжений (изобар, распоров, сдвигов).

Следует проанализировать влияние вида эпюры контактных давлений и неоднородности основания на распределение напряжений в грунтовой толще.

При изучении распределения напряжений от собственного веса грунта (природных давлений) необходимо обратить внимание на характер распределения этих напряжений при наличии в массиве грунта подземных вод и водонепроницаемого грунта.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие допущения приняты при использовании теории линейно деформируемых тел (теории упругости) в случае определения напряжений в грунтах?

2. Напишите выражение для вертикального сжимающего напряжения  $\sigma_z$  при действии сосредоточенной силы на поверхности полупространства.

3. Как определяются сжимающие напряжения по методу угловых точек? Когда применим этот метод?

4. Как влияют размеры загруженной площади на распределение сжимающих напряжений по глубине?

5. Как определяются сжимающие напряжения по способу элементарного суммирования? Какова погрешность определения  $\sigma_z$  этим способом?

6. Каким образом определяются напряжения  $\sigma_z$ ,  $\sigma_y$  и  $r$  для плоской задачи с использованием коэффициентов влияния?

7. Начертите эпюры распределения сжимающих напряжений  $\sigma_z$  по вертикальным и горизонтальным сечениям массива грунта при действии нагрузки в условиях плоской задачи.

8. Как определяю главные напряжения в условиях плоской задачи?

9. Как распределяются контактные давления по подошве жестких и гибких фундаментов?

10. Как вычисляются вертикальные напряжения от собственного веса грунта?

11. Начертите эпюры вертикальных напряжений от собственного веса грунта для различных случаев (однородного массива, слоистого массива, при наличии в массиве уровня подземных вод и водонепроницаемого слоя).

#### **Тема 4. Расчет осадок фундаментов. Методические рекомендации по изучению**

Данная тема является весьма важной, так как на ней базируются расчеты оснований по деформациям. При изучении деформаций грунтов особое внимание следует обратить на природу осадок. Очень важно знать, какие факторы влияют на величину мощности сжимаемой толщи грунта и на величину осадки фундамента.

Нужно уметь определять осадки методами послойного суммирования, линейно-деформируемого слоя, эквивалентного слоя грунта, а также знать технику применения метода угловых точек. Полезно изучить предпосылки положенные в основу различных методов расчета осадки, сопоставить их между собой и дать им сравнительную оценку.

Студент должен помнить, что определяемая расчетом осадка является стабилизированной деформацией основания, то есть большинством грунтов она достигается по истечении определенного, порой весьма длительного времени. Для полной оценки влияния деформаций основания на сооружение необходимо учитывать не только стабилизированные осадки, но в ряде случаев и нестабилизированные осадки  $S_t$ . Поэтому необходимо уметь производить расчет осадки во времени. Для расчета изменения осадки во времени используются решения

теории фильтрационной консолидации грунтов, а в некоторых случаях расчет производится с учетом ползучести грунтов. Студенту следует ознакомиться с основными положениями теории фильтрационной консолидации и теории реологического течения грунтов.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите виды деформаций грунтов и их физические причины.
2. Как рассчитывается конечная осадка поверхности слоя грунта при сплошной нагрузке?
3. Как вычисляется осадка фундамента методом послойного суммирования? Какие приняты допущения при построении этого метода?
4. Как учитывается влияние загрузки соседних фундаментов и площадей при расчете осадки методом послойного суммирования?
5. Какие допущения приняты при построении метода линейно-деформируемого слоя? Когда используется этот метод?
6. Как рассчитывается осадка методом эквивалентного слоя при однородном грунте в основании и при слоистом залегании грунтов?
7. Охарактеризуйте сущность фильтрационной теории консолидации грунтов и условия ее применения.
8. Покажите, как выводится дифференциальное уравнение одномерной задачи теории фильтрационной консолидации грунтов.
9. Что такое степень консолидации осадки и как она определяется?
10. Как определяется изменение осадки во времени по теории фильтрационной консолидации грунтов?
11. Назовите основные явления, определяющие реологические свойства грунтов.
12. Охарактеризуйте основные стадии ползучести грунта и процесс релаксации напряжений.
13. Как определяется относительная деформация грунта при затухающей ползучести?
14. Изложите основные рекомендации по определению осадок фундаментов с учетом ползучести грунта.

#### **Тема 5. Предельное равновесие грунтов и устойчивость массивов грунта. Методические рекомендации по изучению**

Студент должен иметь отчетливое представление о фазах напряженного состояния и соответствующих им критических нагрузках на грунт.

Необходимо обратить внимание на природу устойчивости грунта в основании. Следует знать, какие факторы повышают, а какие понижают устойчивость грунта под нагрузкой. Этому может способствовать внимательный анализ формул для определения второй критической нагрузки.

При рассмотрении устойчивости откосов и склонов нужно помнить, что она зависит от природных условий изучаемых методами инженерной геологии, а расчет является вспомогательным материалом

Для расчета конструкций подпорных стен, стен подвалов и пр. существует ряд методов, большинство из которых являются сугубо приближенными. Необходимо знать предпосылки, принятые в рассматриваемых методах, и уметь оценить достоверность получаемых результатов.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется предельным равновесием грунта?
2. Какие фазы напряженного состояния претерпевает грунт при возрастании нагрузки?
3. Какие существуют критические нагрузки на грунт?
4. Какие существуют условия предельного равновесия для сыпучих и связных грунтов?
5. Как определяется величина начальной (первой) критической нагрузки грунт?
6. Как определяется предельная (вторая) критическая нагрузка с учетом жесткого ядра (по решению проф. В.Г. Березанцева)?
7. Как определяется устойчивость откоса грунта, обладающего только трением?
8. Как определяется устойчивость вертикального откоса, обладающего только сцеплением?
9. Какие задачи устойчивости откосов рассматриваются для грунтов, обладающих трением и

сцеплением?

10. Как определяется устойчивость откосов методом кругоцилиндрических поверхностей скольжения?

11. Как определяется давление сыпучих грунтов на подпорные стенки?

12. Каким образом учитывается наличие нагрузки на горизонтальной поверхности засыпки при определении давления грунта на стенки?

13. Как рассчитывается давление сыпучих грунтов на подпорные стенки?

14. Начертите эпюры распределения давления на подпорную стенку при слоистом напластовании грунтов.

## 6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

### 6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

#### 1. Выполнение и защита практической работы

*Критерии оценивания:*

Оценка «5» – наличие правильно выполненного задания.

Оценка «4» – наличие правильно выполненного задания, но с незначительными ошибками.

Оценка «3» – наличие правильно выполненного с небольшими ошибками задания.

Оценка «2» – наличие не выполненного задания или выполненного задания с большим количеством ошибок.

#### 2. Тестирование

Пример тестового задания

##### 1. Выбрать правильный ответ.

Назовите размер пылеватых частиц.

1. 2–05 мм

2. 2 мм

3. 0,05–0,005 мм

4. < 0,005 мм

Ответ: X

Найдите примерный удельный вес грунта, если его плотность  $\rho = 1,86 \text{ г/см}^3$ .

1. 18 кН/м<sup>3</sup>

2. 18,6 кН/м<sup>3</sup>

3. 20 т/м<sup>3</sup>

4. 18,6 т/м<sup>3</sup>

Ответ: X

### 6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Для экзамена предложено два варианта тестов по 50 вопросов. На их решение отводится один час времени и одна попытка.

Критерии оценивания: баллов

Отл – 9–10

Хор – 8–9

Уд – 5–8

Неуд – < 5

**Вопросы для подготовки к экзамену:**

1. Состав грунтов. Классификация грунтов.
2. Свойства воды в грунте.
3. Характеристики физических свойств грунтов.
4. Характеристики физического состояния грунтов.
5. Плотность грунтов. Коэффициент пористости.
6. Пластичность грунтов. Показатель текучести.
7. Характеристики грунтов, определяющие его деформационные свойства.
8. Фильтрационные свойства грунтов (водопроницаемость грунтов).
9. Значение гидравлического градиента для глинистых грунтов
10. Характеристики грунтов, определяющие его прочностные свойства.
11. Компрессионные свойства грунтов.
12. Испытания грунтов пробными статическими нагрузками. Определение модуля деформации.
13. Сопротивление грунтов сдвигу.
14. Определение механических характеристик грунтов в приборах трехоснего сжатия
15. Соотношения между максимальными и минимальными значениями главных нормальных напряжений
16. Полевые методы сопротивления грунта сдвигу.
17. Доказательство применимости теории упругости к грунтам.
18. Определение напряжений в массиве грунта от сосредоточенной силы.
19. Определение напряжений  $\sigma_z$  в массиве грунта от действия нескольких сосредоточенных сил.
20. Определение  $\sigma_z$  под центром прямоугольной площадки загрузки при равномерной нагрузке.
21. Определение напряжений  $\sigma_z$  по методу угловых точек.
22. Определение напряжений  $\sigma_z$  в массиве грунта при плоской задаче. Построение эпюры напряжений.
23. Распределение напряжений по подошве фундамента (контактная задача).
24. Определение напряжений от собственного веса грунта.
25. Фазы напряженного состояния грунта.
26. Поверхности скольжения.
27. Расчетное сопротивление грунта.
28. Предельно равновесие в точке и положение поверхностей скольжения.
29. Предельная нагрузка на грунт основания.
30. Устойчивость откоса грунта, обладающего только трением.
31. Устойчивость откоса грунта, обладающего только сцеплением.
32. Устойчивость откоса грунта, обладающего и трением и сцеплением.

33. Давление грунта на опорные стенки. Поверхностное скольжение.
34. Давление сыпучего грунта на вертикальную опорную стенку при отсутствии трения на задней грани
35. Давление связного грунта на вертикальную опорную стенку при отсутствии трения на задней грани (учет сцепления).
36. Определение давления грунта на опорную стенку графо-аналитическим методом Ш. Кулона.
37. Давление грунта на трубу и тоннели.
38. Влияние различных факторов на величину их характер деформаций.
39. Осадка слоя грунта при сплошной нагрузке.
40. Определение осадки фундамента методом послойного суммирования.
41. Определение осадки фундамента по методу эквивалентного слоя.
42. Определение осадок фундаментов по методу эквивалентного слоя при слоистом напластовании грунтов.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

### **7.1. Основная литература**

1. Алексеев С.И. Механика грунтов : учебное пособие для бакалавров / Алексеев С.И. Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. 168 с. ISBN 978-5-4497-0734-5. Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/98509.html>
2. Пронозин Я.А. Механика грунтов : учебное пособие / Пронозин Я.А., Наумкина Ю.В.. — Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. — 82 с. — ISBN 978-5-9961-1628-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/83702.html>
3. Пыхтеева Н.Ф. Механика грунтов : учебное пособие / Пыхтеева Н.Ф., Букша В.В., Миронова В.И.. — Саратов : Вузовское образование, 2018. — 94 с. — ISBN 978-5-4487-0305-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/77220.html>
4. Мангушев, Р. А. Механика грунтов. Решение практических задач : учебное пособие для вузов / Р. А. Мангушев, Р. А. Усманов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 109 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08990-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453648>.

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Далматов Б. И. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2002.
2. Малышев М. В. Механика грунтов. Основания и фундаменты / М. В. Малышев, Г. Г. Болдырев. М.: АСВ, 2001.
3. Проектирование оснований и фундаментов. В. А. Веселов. М.: Стройиздат, 1990.
4. Цытович Н. А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. — 288 с.
5. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01–83). — М.: Стройиздат, 1986.

### **Справочно-нормативная**

6. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стройиздат, 2011.
7. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испыта-

ний. М.: Стандартинформ, 2013.

8. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Госстандарт, 1986.

9. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985.

10.

11. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. – М.: Стройиздат, 1986.

12. СНиП 2.01.01–82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1983.

13. СНиП 2.02.01–83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985.

14. СП50-101–2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: ГП ЦПП, 2005.

15. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под. общ. ред. Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименко. – М.: Стройиздат, 1985.

### **7.3. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- <https://docs.cntd.ru/document/1200095052> (Фонд нормативно-правовых документов)
- <http://www.nlr.ru> (Российская национальная библиотека);
- <http://www.viniti.ru> (Реферативный журнал);
- <http://www.library.ru> (Виртуальная справочная служба);
- <http://dic.academic.ru> (Словари и энциклопедии);
- <http://elibrary.ru> (Научная электронная библиотека);
- <http://www.ribk.net> (Российский информационно-библиотечный консорциум);
- <http://www.consultant.ru> (Законодательство РФ, кодексы, законы, приказы и другие документы);
- <http://www.garant.ru> (Законодательство РФ, кодексы, законы, приказы и др. документы);
- <http://www.gisa.ru> (Геоинформационный портал);

### **8. Материально-техническая база**

Необходимый для реализации бакалаврской программы перечень материально-технического обеспечения включает в себя (уч. корпус № 1, ауд.3):

1. Аналитические весы ВСЛ-60/0, 1А.
2. Конус балансирный Васильева для определения текучести глиняных грунтов КБВ.
3. Одометр 60 (модель № 5 А).
4. Пенетрометр грунтовой ПСГ-МГ4.
5. Плотномер грунтовой динамический ПДУ-МГ 4.01 «Удар».
6. Плотномер динамический Д-51.
7. Полевая лаборатория для испытания грунтов ПЛЛ-9.
8. Полевая лаборатория Литвинова ПЛЛ-9.
9. Прибор компрессионно-фильтрационный ПКФ-01 для глинистых грунтов.
10. Прибор компрессионный ПКГ-Ф (для испытания грунтов).
11. Прибор КФ-ООМ для определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов.
12. Прибор настольный УПС-40 (уплотнение грунта перед сдвигом).
13. Прибор УВТ-3М для определения угла естественного откоса песков.
14. Фильтрационный прибор СОЮЗДОРНИИ (ПКФ).
15. Электронные порционные весы НЛ-100.
16. Прибор УГПС-12М.



17. Прибор сдвиговой ВСВ-25М.
18. Прибор УПГ-МГ4 «Грунт».
19. Буровой комплект геолога.
20. Набор сит КП 109.
21. Пенетрометр ручной РП-1.
22. Прибор ПКФ-СД для определения коэффициента фильтрации.
23. Сдвигомер-крыльчатка (для испытания слабых грунтов)т.
24. Прибор для стандартного уплотнения грунта мод. 927.
25. Комплект аппаратуры ТЕСТ-АМ (для зондирования песчаных и глинистых грунтов).
26. Комплект аппаратуры ТЕСТ-К2 для статического зондирования грунтов.
27. Пикнометр ПТ-25 Testo.
28. Прессиометр ПЭВ-89МК.
29. Ареометр для грунта.
30. Ноутбук НР.

### **9. Программное обеспечение**

KasperskyEndpointSecurity для бизнеса Стандартный АО «Лаборатория Касперского», лицензия 1FB6-161215-133553-1-6231

Microsoft Open License, лицензия 49463448 в составе:

1. MicrosoftWindows Professional 7 Russian
2. Microsoft Office 2010 Russian

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0  
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич  
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022