

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
Практическое занятие 1 .....	6
1.1. Основные физические характеристики грунта.....	6
1.2. Производные физические характеристики грунта .....	6
1.3. Классификационные физические характеристики грунта .....	6
1.4. Расчетные сопротивления грунтов основания $R_0$ .....	9
1.5. Минералогический и гранулометрический составы грунтов.....	10
1.6. Нормативные и расчетные характеристики грунтов .....	12
Практическое занятие 2.....	13
2.1. Определение деформационных характеристик грунтов.....	13
2.2. Выбор схемы испытаний .....	14
Практическое занятие 3.....	16
3.1. Построение характерных эпюр распределения природных напряжений в массиве грунта.....	16
3.2. Распределение напряжений от собственного веса грунта в однородном грунтовом массиве .....	16
3.3. Распределение напряжений от собственного веса грунта в грунтовом массиве, представленном несколькими слоями грунта .....	17
3.4. Распределение напряжений от собственного веса грунта в грунтовом массиве, представленном несколькими слоями грунта, один из которых является водоупором .....	18
Практическое занятие 4.....	21
4.1. Определение напряжений при действии местного равномерно распределенного давления .....	21
4.2. Метод угловых точек.....	22
4.3. Определение осадки методом послойного суммирования.....	22
4.4. Определение осадки методом эквивалентного слоя .....	26
4.5. Метод линейно-деформируемого слоя .....	29
4.6. Определение нижней границы сжимаемой толщи (активной зоны) грунта в основании фундаментов .....	31
Практическое занятие 5.....	33
5.1. Определение активного и пассивного давлений грунта на подпорные стены .....	33
5.2. Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения .....	34
Практическое занятие 6.....	37
6.1. Определение типа фундамента.....	37
6.2. Привязка здания к конкретному инженерно-геологическому разрезу .....	38
6.3. Определение глубины заложения фундамента исходя из инженерно-геологических, гидрогеологических, климатических и конструктивных факторов .....	42
Примеры типовых контрольных вопросов .....	44
Библиографический список .....	45

## ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей дисциплины «Основы геотехники» является изучение свойств грунтов и их характеристик (физических, деформационных, прочностных, фильтрационных); основных законов и принципиальных положений механики грунтов; методов расчета напряженного состояния грунтового массива; методов расчета осадок (согласно действующим нормативно-техническим документам); методов расчета прочности грунтов. Особое внимание уделяется общим принципам проектирования оснований и фундаментов по I и II группам предельных состояний и определению типа и габаритов фундамента здания (сооружения).

На практических занятиях решаются конкретные задачи по определению разновидностей пылевато-глинистых и песчаных грунтов. Также приведены примеры выбора типа фундамента и определения глубины заложения фундаментов.

Практические вопросы и примеры решения задач, рассматриваемые в учебно-методическом пособии, будут способствовать освоению и закреплению материала, помогут организовать самостоятельную работу обучающихся в процессе практических занятий.

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

## 1.1. Основные физические характеристики грунта

*Основными* называются характеристики грунта, которые определяются непосредственно опытным путем.

Таблица 1.1

Основные физические характеристики грунта

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Плотность грунта	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho = G / V$
Удельный вес грунта	$\gamma$	кН/м <sup>3</sup>	$\gamma = \rho g$
Плотность частиц грунта	$\rho_s$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_s = G_s / V_s$
Удельный вес частиц грунта	$\gamma_s$	кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_s = \rho_s g$
Влажность грунта	$W$	д.е. или %	$W = G_w / G_s$
Влажность на границе пластичности	$W_p$	д.е. или %	$W_p = G_{w,p} / G_s$
Влажность на границе текучести	$W_L$	д.е. или %	$W_L = G_{w,L} / G_s$

## 1.2. Производные физические характеристики грунта

*Производными физическими характеристиками грунта* называются характеристики, получаемые из основных характеристик с помощью различных математических операторов.

Таблица 1.2

Производные физические характеристики грунта

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Плотность сухого грунта	$\rho_d$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_d = \rho / (1 + W)$
Удельный вес сухого грунта	$\gamma_d$	кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_d = \rho_d g = \gamma / (1 + W)$
Коэффициент пористости	$e$	д.е. или %	$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = \rho_s / \rho_d - 1$
Пористость	$n$	д.е. или %	$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s = 1 - \rho_d / \rho_s$

## 1.3. Классификационные физические характеристики грунта

По классификационным характеристикам определяют разновидность грунта для дальнейшего его применения в качестве оснований зданий и сооружений.

Таблица 1.3

Классификационные физические характеристики грунта пылевато-глинистого грунта

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Число пластичности	$I_p$	д.е. или %	$I_p = W_L - W_p$
Показатель текучести	$I_L$	д.е. или %	$I_L = (W - W_p) / I_p$

Пылевато-глинистые грунты характеризуются преобладанием в их составе пылеватых и глинистых частиц и в зависимости от числа пластичности  $I_p$  выделяются по типу согласно табл. 1.4.

Таблица 1.4

**Тип пылевато-глинистых грунтов**

Тип	Число пластичности, %
Супеси	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинки	$7 < I_p \leq 17$
Глины	$17 < I_p$

По консистенции определяется разновидность пылевато-глинистых грунтов. Консистенция пылевато-глинистого грунта характеризуется показателем текучести  $I_L$  согласно табл. 1.5.

Таблица 1.5

**Разновидность пылевато-глинистых грунтов**

Разновидность	Показатель текучести
<i>Супеси:</i>	
твердые	$I_L < 0$
пластичные	$0 \leq I_L \leq 1$
текучие	$1 < I_L$
<i>Суглинки и глины:</i>	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 \leq I_L < 0,25$
тугопластичные	$0,25 \leq I_L < 0,5$
мягкопластичные	$0,5 \leq I_L < 0,75$
текучепластичные	$0,75 \leq I_L \leq 1$
текучие	$1 < I_L$

Таблица 1.6

**Классификация песчаных грунтов в зависимости от гранулометрического состава**

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Размер частиц, мм	Содержание частиц, % по массе
<i>Гравийный песок:</i>	$> 2,00$	$> 50$
гравелистый	$> 2,00$	$> 25$
крупный	$> 0,50$	$> 50$
средней крупности	$> 0,25$	$> 50$
мелкий	$> 0,10$	$\geq 75$
пылеватый	$> 0,10$	$< 75$

Таблица 1.7

**Классификационные физические характеристики грунта для пылевато-глинистого и песчаного грунтов**

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Коэффициент водонасыщения	$S_r$	д.е. или %	$S_r = (\rho_s W) / (\rho_w e)$
Полная влагоемкость	$W_{sat}$	д.е. или %	$W_{sat} = (\rho_w / \rho_s) e$ (соответствует $S_r = 1$ )

*Гранулометрическим составом грунта* называется содержание по массе групп частиц (фракций) грунта различного размера по отношению к общей массе абсолютно сухого грунта, выраженное в процентах.

### Пример 1.1

Для песчаных грунтов были получены результаты гранулометрического анализа, приведенные в табл. 1.8. Определить тип (наименование) грунтов.

Таблица 1.8

Результаты гранулометрического анализа

№ грунта	Гранулометрический состав, % (размер частиц в мм)							
	> 2,0	2,0–0,5	0,50–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	< 0,005
1	26,6	13,5	28,6	20,0	13,3	–	–	–
2	11,2	38,9	19,9	12,5	16,9	0,6	–	–
3	0,5	14,8	35,7	29,5	19,5	–	–	–
4	0,9	13,4	15,7	16,8	17,3	20,2	15,7	–

Для определения типа грунтов необходимо данные процентного содержания (см. табл. 1.8) просуммировать в направлении уменьшения фракции (от максимального размера к минимальному), каждый раз сравнивая полученную сумму с границами весового содержания частиц по табл. Б.7 ГОСТ 25100–2020 (см. табл. 1.6 настоящего учебно-методического пособия).

#### Решение

Определяем суммарное количество частиц для грунтов.

Грунт 1 содержит частиц крупнее 2 мм: 26,6 % — это песок гравелистый.

Грунт 2 содержит частиц крупнее 2 мм: 11,2 % — значит, это песок не гравелистый. Проверяем далее. Грунт 2 содержит частиц крупнее 0,5 мм:  $11,2 + 38,9 = 50,1$  % — это песок крупный.

Грунт 3 содержит частиц крупнее 2 мм: 0,5 % — значит, это песок не гравелистый. Проверяем далее. Грунт 3 содержит частиц крупнее 0,5 мм:  $0,5 + 14,8 = 15,3$  % — это песок не крупный. Проводим проверку далее. Грунт 3 содержит частиц крупнее 0,25 мм:  $0,9 + 13,4 + 35,7 = 51$  % — следовательно, это песок средней крупности.

Грунт 4 содержит частиц крупнее 2 мм: 0,9 % — значит, это песок не гравелистый. Проверяем далее. Грунт 4 содержит частиц крупнее 0,5 мм:  $0,9 + 13,4 = 14,3$  % — значит, это песок не крупный. Проводим проверку далее. Грунт 4 содержит частиц крупнее 0,25 мм:  $0,5 + 14,8 + 15,7 = 31$  % — это песок не средней крупности. Далее, грунт 4 содержит частиц крупнее 0,1 мм:  $0,5 + 14,8 + 15,7 + 16,8 = 47,8$  % — следовательно, это песок пылеватый.

*Ответ.* Грунт 1 содержит частиц крупнее 2 мм более 25 % — значит, это песок гравелистый; грунт 2 — песок крупный, так как суммарное содержание частиц крупнее 0,5 мм составляет  $50,1 > 50,0$  %; грунт 3 — песок средней крупности, так как частиц крупнее 0,25 мм содержится 51 % (более 50 %), а грунт 4 содержит частиц крупнее 0,1 мм 47,8 % (менее 75 %) — это песок пылеватый.

### Пример 1.2

Удельный вес части грунта 2:  $\gamma = 26,8$  кН/м<sup>3</sup>, удельный вес грунта  $\gamma = 20$  кН/м<sup>3</sup>, природная влажность  $w = 24,5$  %. Определить вид и разновидность песчаного грунта.

#### Решение

Вычисляем коэффициент пористости:

$$e = \frac{26,8}{20,0}(1 + 0,01 \cdot 24,5) - 1 = 0,0668.$$

Согласно табл. 1.8 и табл. Б.10 ГОСТ 25100-2020 классифицируем песок как песок крупный средней плотности, поскольку  $0,55 < e = 0,668 < 0,7$ .

Вычисляем коэффициент водонасыщения:

$$S_r = \frac{0,01 \cdot 24,5 \cdot 26,8}{0,668 \cdot 10} = 0,983,$$

следовательно, разновидность песка — насыщенный водой ( $0,8 < S_r = 0,983 < 1$ ).

*Ответ.* Тип грунта — песок крупный, вид — средней плотности, разновидность — насыщенный водой.

### Пример 1.3

Дано: естественная влажность  $w = 24,5 \%$ , влажность на границе раскатывания  $w_p = 21,5 \%$ , влажность на границе текучести  $w_L = 31,4 \%$ . Определить тип и разновидность глинистого грунта.

*Решение*

Вычислим число пластичности:

$$I_p = 31,4 - 21,5 = 9,9 \%$$

В соответствии с данными табл. Б.13 ГОСТ 25100-2020

$$7 < I_p = 9,9 < 17.$$

Следовательно, тип грунта — суглинок.

Вычислим показатель текучести:

$$I_L = \frac{24,5 - 21,5}{31,4 - 21,5} = 0,3.$$

Сравнивая полученное значение с данными табл. Б.16 ГОСТ 25100-2020, классифицируем данный глинистый грунт как суглинок тугопластичный.

*Ответ.* Рассмотренный глинистый грунт относится к суглинкам тугопластичным.

## 1.4. Расчетные сопротивления грунтов основания $R_0$

Важнейшей характеристикой несущей способности грунтов является расчетное сопротивление грунтов основания  $R$ , кПа, которое зависит от физико-механических свойств основания и геометрических параметров фундамента. Однако для предварительных расчетов допускается использовать условное расчетное сопротивление грунтов  $R_0$ , кПа, ориентировочно оценивающее допускаемое давление на данный грунт под подошвой фундамента, который имеет ширину 1 м и глубину заложения 2 м.

Для песчаных грунтов согласно СП 22.13330.2016 расчетное сопротивление определяется по табл. Б.2.

Расчетное сопротивление  $R_0$  глинистых (непросадочных) грунтов определяется согласно табл. Б.3 СП 22.13330.2016 в зависимости от типов грунтов, значения показателей текучести и коэффициента пористости. В табл. Б.3 приведены значения  $R_0$  для крайних (верхних и нижних) значений  $I_L$  и  $e$ , для промежуточных значений показателя текучести и коэффициента пористости величина  $R_0$  определяется интерполяцией.

### Пример 1.4

Дано: грунт — песок средней крупности, плотный. Определить расчетное сопротивление песчаного грунта.

### Решение

Для песчаных грунтов согласно СП 22.13330.2016 расчетное сопротивление определяется по табл. Б.2 в зависимости от крупности, плотности и насыщенности водой.

Ответ.  $R_0 = 500$  кПа.

### Пример 1.5

Определить расчетное сопротивление глинистого грунта.

Расчетное сопротивление  $R_0$  глинистых грунтов определяется согласно СП 22.13330.2016 по табл. Б.3 в зависимости от типов грунтов, значения показателей текучести и коэффициента пористости. В табл. Б.3 приведены значения  $R_0$  для крайних (верхних и нижних) значений  $I_L$  и  $e$ , для промежуточных значений показателя текучести и коэффициента пористости величина  $R_0$  определяется интерполяцией.

Дано:  $I_p = 9,9 \%$ ,  $I_L = 0,3$ ,  $e = 0,75$ .

### Решение

Определяем пределы интерполяции по коэффициенту пористости  $e = 0,75$ , поэтому выбираем интервал от  $e_1 = 0,7$  до  $e_2 = 1,0$ .

При постоянном  $I_L$  величина  $R_0$  для промежуточного значения коэффициента пористости может быть вычислена по формуле

$$R_0 = R_0^{e_1} - \frac{R_0^{e_1} - R_0^{e_2}}{e_2 - e_1}(e - e_1),$$

где  $R_0^{e_1}$ ,  $R_0^{e_2}$  — значения расчетного сопротивления при коэффициенте пористости  $e_1$  и  $e_2$  соответственно.

Вычислим значение  $R_0$  при  $I_L = 0$ :

$$R_0^{I_L=0} = 250 - \frac{250 - 200}{1 - 0,7}(0,75 - 0,7) = 241,67 \text{ кПа.}$$

Вычислим значение  $R_0$  при  $I_L = 1$ :

$$R_0^{I_L=1} = 180 - \frac{180 - 100}{1 - 0,7}(0,75 - 0,7) = 166,67 \text{ кПа.}$$

Зная значение  $R_0$  для расчетного коэффициента пористости  $e$ , найдем интерполяцией расчетное сопротивление для  $I_L = 0,3$ :

$$R_0 = R_0^{I_L=0} - (R_0^{I_L=0} - R_0^{I_L=1})I_L.$$

Искомое значение:

$$R_0 = 241,67 - (241,67 - 166,67)0,3 = 219,17 \text{ кПа.}$$

Ответ.  $R_0 = 219,17$  кПа  $\approx 220$  кПа.

## 1.5. Минералогический и гранулометрический составы грунтов

Строительные свойства грунтов зависят от минералогического и гранулометрического составов, структуры, текстуры и состояния в природном залегании, в массиве. Выделяют четыре основные группы минералов: первичные — кварц, полевые шпаты, слюды; вторичные — образовавшиеся в результате выветривания магматических и метаморфических пород, глинистые, чешуйчатые по структуре; первичные осадочные ми-

нералы — сульфаты (гипс, ангидрит), карбонаты (кальцит, доломит, арагонит), галоиды (галит и сильвин).

*Минералогический состав* рыхлых грунтов закономерно меняется по мере уменьшения зерен: чем они меньше, тем большее значение приобретают вторичные глинистые минералы, содержание которых определяет физико-механические свойства разных типов грунтов и методы их изучения.

Наиболее распространенные в природе кварц и полевые шпаты определяют прочность и сжимаемость грунтов. Одинаковые по форме и величине (меньше 0,001 мм) частицы слюд, мусковит и биотит притягивают из воздуха различное количество воды. Гигроскопичность и высота капиллярного подъема на грунтах с белой мусковитовой слюдой в 1,5–2,0 раза больше, чем с крошкой черно-коричневого биотита.

От минералогического состава и крупности частиц зависит величина угла внутреннего трения, характеризующего сдвигающие грунт усилия. Так, примесь глауконита всего в 3–4 % снижает прочностные характеристики в 3 раза и увеличивает сжимаемость до 4 раз. Содержание карбонатов в грунтах вызывает повышение скорости размокания и значений коэффициентов фильтрации.

Содержание глинистых минералов определяет пластичность грунтов, их влагоемкость. Добавление к грунту 10 % монтмориллонита уменьшает его водопроницаемость в 10 000 раз. Прибавление бентонита до 10 % ведет к четырехкратному снижению угла внутреннего трения. Однако смеси с каолинитом почти не отличаются под нагрузкой от практически несжимаемой кварцевой муки.

*Гранулометрический состав* грунтов характеризуют по размеру частиц, количественное соотношение которых в пробах определяют визуально и на основе зернового анализа, при просеивании через набор сит (для песчаных грунтов). Содержание каждой фракции определяют в процентах от массы высушенной пробы.

Содержание частиц различных фракций оказывает существенное влияние на свойства грунтов. Поэтому для количественной оценки его гранулометрического состава строят интегральную кривую распределения различных по размеру частиц грунта, называемую кривой гранулометрического состава и построенную в полулогарифмическом масштабе (рисунок ниже).

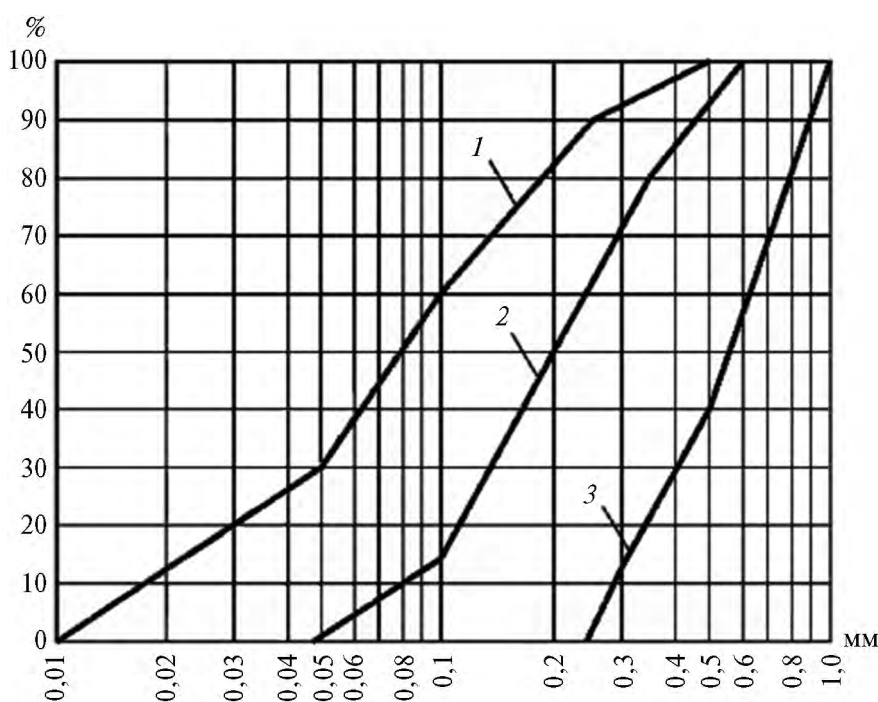


Рисунок. Интегральная кривая зернового состава песка:  
1 — пылеватого; 2 — мелкого; 3 — крупного



С ростом неоднородности наклон графика гранулометрического состава становится меньше и наоборот. Для численного показателя неоднородности крупнообломочных и песчаных грунтов используется выражение

$$C = d_{60} / d_{10},$$

где  $d_{60}$  и  $d_{10}$  — диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится соответственно 60 и 10 % частиц.

Однородный грунт имеет показатель  $C_u \leq 3$ , неоднородный —  $C_u > 3$ .

## 1.6. Нормативные и расчетные характеристики грунтов

Согласно методике, приведенной в ГОСТ 20522-2012, нормативные и расчетные характеристики грунтов необходимо определять на основании статистической обработки результатов испытаний.

Нормативные значения характеристики грунта или параметров, которые определяют свойства грунтового массива, всегда отклоняются на какую-либо неопределенную величину от математического ожидания. Это связано с естественной неоднородностью грунта и ограниченным количеством проводимых испытаний. Поэтому нормативные значения содержат некоторую погрешность. В геотехнических расчетах используются не нормативные, а расчетные характеристики свойств грунтов.

Расчетные значения характеристик грунта определяют с учетом их возможных отклонений в неблагоприятную сторону от их нормативных значений. Учет таких отклонений следует выполнять с помощью использования частных коэффициентов надежности по грунту  $\gamma_g$ . Значения этих коэффициентов могут быть различны для разных характеристик и предельных состояний.

Все расчеты оснований следует выполнять с использованием расчетных значений характеристик грунтов  $X$ , вычисляемых по формуле

$$X = X_n / \gamma_g,$$

где  $X_n$  — нормативное значение данной характеристики;

$\gamma_g$  — коэффициент надежности по грунту.

Коэффициент надежности по грунту при вычислении расчетных значений прочностных характеристик  $\phi$  дисперсных грунтов, а также плотности грунта  $\rho$  устанавливаются в зависимости от изменчивости этих характеристик, числа определений и значения доверительной вероятности  $\alpha$  (по ГОСТ 20522-2012). Для прочих характеристик грунта допускается принимать  $\gamma_g = 1$ .

При расчете по первой группе предельных состояний доверительная вероятность расчетных значений характеристик грунтов  $\alpha$  принимается равной 0,95, а при расчетах по второй группе предельных состояний — 0,85.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

### 2.1. Определение деформационных характеристик грунтов

Выбор типа лабораторных и полевых испытаний и их объема определяется в основном опытом инженера-геолога. Следующие минимальные критерии должны быть использованы при составлении программы лабораторных испытаний:

- 1) тип проекта (здание жилое или промышленное, мост, насыпь, подпорная стенка и т.п.);
- 2) размер проектируемого объекта;
- 3) величина нагрузок, которые предполагается передать на основание;
- 4) тип нагрузки: статическая, динамическая, сейсмическая, траектории напряжений;
- 5) ограничения по предельным состояниям: несущая способность и деформация основания;
- 6) точность построения профиля грунта с выделением отдельных инженерно-геологических элементов;
- 7) особенности грунтов (лессовые, набухающие, вечномёрзлые и т.п.).

Результаты полевых и лабораторных испытаний должны дать достаточное представление о профиле грунтовой толщи и физико-механических характеристиках, необходимых для проектирования зданий или сооружений.

Основным параметром, характеризующим сжимаемость дисперсных грунтов, является модуль общей деформации  $E$ . Этот модуль используется при расчете осадки фундаментов методом послойного элементарного суммирования и называется нормативным модулем деформации, который определяют с коэффициентом надежности  $\gamma_g = 1$ . Кроме модуля общей деформации, к параметрам, характеризующим сжимаемость и начальное напряженное состояние грунта, относятся: коэффициент Пуассона  $\nu$ ; давление предварительного уплотнения  $S_p$ ; степень переуплотнения  $OCR$ ; модуль сдвига  $G$ ; модуль объемной деформации  $K$ ; коэффициент бокового давления в состоянии покоя  $K_0$ ; коэффициент первичной консолидации  $c_v$ ; коэффициент вторичной консолидации  $c_\alpha$ .

В СП 22.13330.2016 нормативное значение модуля деформации  $E$  принимается равным модулю деформации, определенному путем испытаний грунтов штампами  $E_{шт}$ . Достоверным считается значение модуля деформации, найденное из испытаний штампами площадью 5000 и 10 000 см<sup>2</sup>. Поэтому модули деформации, найденные другими методами испытаний, приводятся к штамповому, с использованием коэффициентов перехода  $m_k$ . В частности, при переходе от компрессионного модуля деформации к штамповому для зданий и сооружений III уровня ответственности допускается использовать коэффициент перехода  $m_k$ , который зависит от вида грунта и изменяется от 1 до 6.

Для зданий и сооружений I и II уровней ответственности этот коэффициент следует находить из опытов, путем сравнительных лабораторных и полевых испытаний плоским, винтовым штампом и прессиомером.

Следует иметь в виду, что значения штампового модуля деформации зависят от площади штампа: чем больше площадь штампа, тем больше значение модуля деформации.

Модуль деформации, найденный из трехосных испытаний, так же менее штампового, но не столь значительно, как компрессионный модуль деформации. Для модуля деформации, найденного из трехосных испытаний, необходима корреляция с штамповым модулем деформации. В ГОСТ 12248.3-2020, в условиях трехосного сжатия, рекомендуется определять начальный или касательный модуль деформации, используя опытную зависимость  $\varepsilon_1 = f(s_1)$ . В то же время может быть найден секущий модуль деформации, который зависит от уровня напряжений  $s_1$ . При малом уровне осевой деформации  $\varepsilon_1$  начальный и секущий модули деформации совпадают.

Упругий модуль деформации не равен начальному модулю деформации, найденному из трехосных испытаний, он может быть более чем до десяти раз. Поэтому при опре-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)