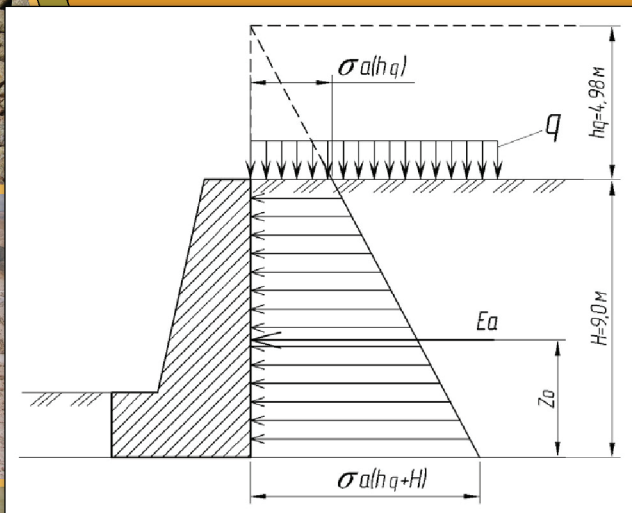


М.И. Наклоннова

ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Практикум



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный
университет», 2020

ISBN 978-5-8259-1519-7

УДК 624.131

ББК 38.58

Рецензенты:

директор ООО «Эколайн проект» г. Тольятти *И.А. Саврин*;
канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное,
гражданское строительство и городское хозяйство»

Тольяттинского государственного университета *Е.М. Третьякова*.

Наклоннова, М.И. Промышленное и гражданское строительство. Механика грунтов : практикум / М.И. Наклоннова. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2020. — 1 оптический диск. — ISBN 978-5-8259-1519-7.

В практикуме изложены требования к выполнению практических заданий, даны задания к выполнению, методические рекомендации со всеми необходимыми справочными материалами, приведены примеры выполнения заданий. Содержание практикума соответствует рабочей программе дисциплины «Механика грунтов».

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения по профилям «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогазоснабжение и вентиляция» направления подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство».



Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования:
IBM PC-совместимый компьютер: Windows
XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент;
128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2020

Редактор *О.И. Елисева*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 23.06.2020.

Объем издания 8,6 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,
первичная упаковка.

Заказ № 1-28-19.



Издательство Тольяттинского
государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Порядок выполнения практической работы	8
Требования к оформлению работы	9
Критерии и нормы текущего контроля	12
Задания для практической работы	15
Методические рекомендации по выполнению заданий с примерами расчета	33
Вопросы для самоконтроля	70
Библиографический список	76
Глоссарий	77
Приложение А	79
Приложение Б	80

Введение

Механика грунтов — дисциплина, изучающая напряженно-деформированные состояния, условия прочности и устойчивости, а также изменения свойств грунтов под влиянием внешних воздействий. Курс построен на материалах современной учебной и справочной методической литературы.

Цель дисциплины — формирование у студентов навыков оценки строительных свойств грунтов, используемых в качестве оснований зданий и сооружений.

Задачи дисциплины:

- 1) познакомить студентов с основными свойствами грунтов и методами проведения лабораторных испытаний;
- 2) научить студентов классифицировать грунты в соответствии с их деформационными и прочностными характеристиками;
- 3) научить студентов оценивать грунты с точки зрения возможности их использования в качестве оснований зданий и сооружений;
- 4) рассмотреть инженерные методы количественной оценки деформационных и прочностных свойств грунтов.

Учебный план предусматривает выполнение студентами направления подготовки 08.03.01 «Строительство» индивидуальной практической работы, состоящей из семи практических заданий (занятий) по дисциплине «Механика грунтов». Цель практической работы — закрепить теоретические знания, полученные студентами за период изучения курса.

В процессе выполнения практической работы студенты должны научиться:

- пользоваться действующими строительными нормами и правилами, справочными и литературными материалами;
- определять физико-механические свойства грунтов, оценивать устойчивость грунтов в основании зданий и сооружений и откосах, а также давление на ограждающие конструкции;
- владеть методами расчета напряженно-деформируемого состояния грунтового массива, оценки пригодности грунтов строительной площадки в качестве основания зданий и сооружений.

В практикуме приведены задачи и список вопросов для самоконтроля, которые помогут студентам закрепить теоретические знания всех разделов дисциплины «Механика грунтов».

Приведены примеры решения задач для облегчения их самостоятельного решения и оформления.

***Тематическое содержание дисциплины
(учебного курса)***

Раздел	Тема
Раздел 1. Природа, физические свойства грунтов	Тема 1.1. Происхождение грунтов. Составные элементы грунтов. Тема 1.2. Структурные связи, строение и состояние грунтов. Тема 1.3. Основные физические характеристики грунтов. Классификация грунтов.
Раздел 2. Основные закономерности механики грунтов	Тема 2.1. Общие положения. Деформируемость грунтов. Тема 2.2. Прочность грунтов. Предельное сопротивление грунтов сдвигу. Условия предельного равновесия для сыпучих и связных грунтов. Изменение прочностных свойств грунтов при динамических воздействиях. Тема 2.3. Водопроницаемость грунтов. Закон ламинарной фильтрации. Эффективные и нейтральные давления в грунтовой массе. Тема 2.4. Структурно-фазовая деформируемость грунтов. Принцип линейной деформируемости. Основные расчетные модели грунтов.
Раздел 3. Определение напряжений в массивах грунтов	Тема 3.1. Основные положения. Определение напряжений по подошве фундаментов и сооружений. Тема 3.2. Определение напряжений в грунтовой массе от действия местной нагрузки на его поверхности. Метод угловых точек. Тема 3.3. Определение напряжений в массиве грунтов от действия собственного веса.
Раздел 4. Прочность, устойчивость грунтовых массивов и давление на ограждение	Тема 4.1. Основные положения. Фазы напряженного состояния грунтов. Критические нагрузки на грунты основания. Расчетное сопротивление грунта. Тема 4.2. Практические способы расчета несущей способности и устойчивости оснований. Устойчивость откосов и склонов. Тема 4.3. Давление грунтов на ограждающие конструкции и трубопроводы.

Раздел	Тема
Раздел 5. Деформации грунтов и расчет осадок фундаментов	<p>Тема 5.1. Основные положения. Виды и причины деформации грунтов. Деформации ползучести и методы их описания.</p> <p>Тема 5.2. Методы (модели) определения деформаций грунтов.</p> <p>Тема 5.3. Расчет осадки фундамента по методу послойного суммирования.</p> <p>Тема 5.4. Расчет осадки фундамента по методу эквивалентного слоя грунта. Изменение осадок во времени.</p>

Порядок выполнения практической работы

На практических занятиях теоретический материал закрепляется путем решения практических заданий и задач, объединенных в практическую работу.

Практическая работа составлена в соответствии с программой дисциплины и содержит семь заданий по следующим основным разделам:

- природа, физические свойства грунтов – задание 1;
- основные закономерности механики грунтов – задание 2;
- определение напряжений в массивах грунтов – задания 3, 4;
- прочность, устойчивость грунтовых массивов и давление грунтов на ограждение – задания 5, 6;
- деформации грунтов и расчет осадок оснований фундаментов – задание 7.

Вариант задания для студентов очной формы обучения выдается преподавателем.

Вариант задания студенты заочной формы обучения выбирают по следующим правилам:

- 1) вариант работы определяется по первой букве фамилии студента;
- 2) первая буква – номер варианта.

Буква	А	Б	В	Г	Д	Е/Ё	Ж	З	И/Й	К
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Буква	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Буква	Х	Ц	Ч	Ш/Щ	Э	Ю	Я			
Вариант	21	22	23	24	25	26	27			

Студенту необходимо выполнить практическую работу в срок, предусмотренный учебным планом на год.

Выполненную практическую работу студент направляет в печатном виде на проверку преподавателю, ведущему дисциплину. Практическая работа также подлежит проверке ее на оригинальность, для этого работа представляется в электронном виде. Контрольную проверку письменных работ на оригинальность осуществляют сотрудники службы проректора по учебной работе.

Вопросы по практической работе студент может задать преподавателю дисциплины «Механика грунтов».

Требования к оформлению работы

Расчетно-пояснительная записка практической работы включает: исходные данные, выбранные студентом по варианту; методику расчетов; расчеты с полученными результатами; расчетные схемы; список использованных источников; приложения (при необходимости).

Расчетные схемы выполняются с соблюдением правил графического оформления и условных обозначений, предусмотренных стандартом на проектную документацию (ГОСТ Р 21.1101–2013. Система проектной документации для строительства) и стандартами Единой системы конструкторской документации. Надписи на расчетных схемах не должны быть мелкими и должны хорошо читаться.

При выполнении расчетных схем должны быть указаны масштабы и все необходимые обозначения и размеры. Все надписи на схемах выполняются стандартным шрифтом.

Расчетно-пояснительная записка выполняется на стандартных листах формата А4 (210×297 мм). Расчеты необходимо сопровождать ссылками на соответствующую литературу. В конце пояснительной записки помещают список использованных источников.

Расчетные схемы выполняются в графическом редакторе (любом) и вставляются в работу в виде рисунка.

Требования к оформлению пояснительной записки

1. Обучающиеся представляют преподавателю практическую работу в электронном виде в формате «*.doc» или «*.docx» [7].

2. Имя файла – Фамилия и инициалы студента, группа, дисциплина, задание с нижним подчеркиванием, например:

Иванов И.И._СТР61603а_Механика грунтов_Практическая работа

3. Пояснительная записка оформляется по ГОСТ 2.106-96 «Текстовые документы», ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам» с одной стороны стандартного листа формата А4 (210×297 мм), без рамки и основной надписи. Размеры полей: правое – не менее 10 мм, верхнее и нижнее – не менее 20 мм, левое – не менее 30 мм.

4. Структура практической работы включает следующие элементы:

- титульный лист (прил. А);
- содержание;
- задание для выполнения практической работы (исходные данные для каждой задачи);
- основную часть (разделы, главы). Например, «1. Практическое задание № 1. Тема: «Природа, физические свойства грунтов»;
- список используемой литературы и (или) источников (до 20);
- приложение (если необходимо).

5. Каждый из основных структурных разделов пояснительной записки (содержание, введение, основная часть и т. д.) должен начинаться с новой страницы. Рекомендуется отделять структурные разделы с помощью разрыва страниц (а не многочисленным вводом клавиши Enter). Заголовок структурного элемента не подчеркивают, располагают посередине без точки в конце. Не допускаются переносы слов в заголовках. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 15 мм. Абзацы в тексте – отступ 15 мм; интервал текста – 15 мм. При оформлении записки – выравнивание по ширине страницы, шрифт Times New Roman, кегль 14.

6. Разделы, подразделы, пункты и подпункты следует нумеровать арабскими цифрами и записывать с абзацного отступа. Подразделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Например, 4.2 – второй подраздел четвертого раздела. Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Наименование подразделов записывают в виде заголовков строчными буквами (кроме первой, прописной) размером 14 пт. Пункты нумеруют арабскими цифрами, например, 4.2.1 – первый пункт второго подраздела четвертого раздела.

Рекомендуется использовать соответствующие стили в Microsoft Word для заголовков разделов и подразделов (например, Заголовок 1 – для раздела 1, Заголовок 2 – для подраздела 1.1 и т. д.). В этом случае будет возможность «Содержание/оглавление» сделать автоматически (Microsoft Word → вкладка «Ссылки» → «Оглавление» → «Автособираемое оглавление»).

7. Нумерация страниц сквозная, в нижней части листа, по центру, без точки. На титульном листе номер страниц не проставляется,

но учитывается при сквозной нумерации. Все приложения, таблицы, иллюстрации включают в общую нумерацию.

8. Формулы набираются в редакторе формул и нумеруются.

9. Список использованных источников должен содержать перечень источников, необходимых при выполнении практической работы. Источники могут располагаться в алфавитном порядке или в порядке появления ссылок в тексте пояснительной записки. Их следует нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа. Список использованных источников выполняется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления». Ссылки в тексте на использованные источники следует давать в виде арабских цифр в квадратных скобках, указывающих порядковый номер источника по списку, например: [2], [15].

10. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 и ЕСКД. Иллюстрации нумеруют арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела, например, «Рисунок 1» или «Рисунок 1.1». Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные. Например, Рисунок 1 – Расчетная схема для определения напряжений методом угловых точек. Слово «Рисунок» и наименование помещают после поясняющих данных и располагают посередине. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в тексте. Если в пояснительной записке есть приложения, то рисунки каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением впереди обозначения приложения.

11. Работы с орфографическими ошибками, с соединением нескольких слов (написанных без пробелов), с двойными пробелами, с использованием нераспространенных сокращений (либо наоборот, написанием полностью единиц измерения), с заменой кириллических букв на латиницу не допускаются к проверке на оригинальность. Сдача такой работы на проверку считается целенаправленной попыткой получения завышенной оценки от Системы обманным путем. Оригинальность работы, допущенной к проверке, должна быть не менее 30 %.

Критерии и нормы текущего контроля

В рамках действующей БРС существуют критерии и нормы оценки практических работ студентов *очной формы* обучения.

Наименование учебных мероприятий	Количество баллов	Критерии и нормы оценки
Практическое занятие 1	6	1–2 балла – работа выполнена не полностью, не все расчеты выполнены верно 3–4 балла – работа выполнена полностью, не все расчеты выполнены верно 5–6 баллов – работа выполнена полностью, все расчеты выполнены верно
Практическое занятие 2	6	1–2 балла – работа выполнена не полностью, не все расчеты выполнены верно 3–4 балла – работа выполнена полностью, не все расчеты выполнены верно 5–6 баллов – работа выполнена полностью, все расчеты выполнены верно
Практическое занятие 3	6	1–2 балла – работа выполнена не полностью, не все расчеты выполнены верно 3–4 балла – работа выполнена полностью, не все расчеты выполнены верно 5–6 баллов – работа выполнена полностью, все расчеты выполнены верно
Практическое занятие 4	9	1–2 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки или не даны правильные ответы на заданные вопросы 3–4 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки, даны правильные ответы на большинство заданных вопросов 5–6 баллов – выполнена работа по заданному варианту, есть незначительные ошибки или ответы на вопросы по работе студент давал только при задании наводящих вопросов 7–8 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы большая часть ответов давалась самостоятельно, без помощи преподавателя 9 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы ответы давались самостоятельно, без помощи преподавателя

Наименование учебных мероприятий	Количество баллов	Критерии и нормы оценки
Практическое занятие 5	8	<p>1–2 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки или не даны правильные ответы на заданные вопросы</p> <p>3–4 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки, даны правильные ответы на большинство заданных вопросов</p> <p>5–6 баллов – выполнена работа по заданному варианту, есть незначительные ошибки или ответы на вопросы по работе студент давал только при задании наводящих вопросов</p> <p>7 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы большая часть ответов давалась самостоятельно, без помощи преподавателя</p> <p>8 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы ответы давались самостоятельно, без помощи преподавателя</p>
Практическое занятие 6	8	<p>1–2 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки или не даны правильные ответы на заданные вопросы</p> <p>3–4 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки, даны правильные ответы на большинство заданных вопросов</p> <p>5–6 баллов – выполнена работа по заданному варианту, есть незначительные ошибки или ответы на вопросы по работе студент давал только при задании наводящих вопросов</p> <p>7 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы большая часть ответов давалась самостоятельно, без помощи преподавателя</p> <p>8 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы ответы давались самостоятельно, без помощи преподавателя</p>
Практическое занятие 7	9	<p>1–2 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки или не даны правильные ответы на заданные вопросы</p> <p>3–4 балла – выполнена работа по заданному варианту, есть грубые ошибки, даны правильные ответы на большинство заданных вопросов</p>

Наименование учебных мероприятий	Количество баллов	Критерии и нормы оценки
		<p>5–6 баллов – выполнена работа по заданному варианту, есть незначительные ошибки или ответы на вопросы по работе студент давал только при задании наводящих вопросов</p> <p>7–8 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы большая часть ответов давалась самостоятельно, без помощи преподавателя</p> <p>9 баллов – выполнена работа по заданному варианту, ошибок в работе не выявлено, при защите работы ответы давались самостоятельно, без помощи преподавателя</p>

Оценка практических работ студентов *заочной формы* обучения проводится иначе.

Работа представляется на проверку в печатном виде.

При сдаче работы студент отвечает на вопросы преподавателя по теме работы в устной форме.

К сдаче работы допускаются студенты, выполнившие работу в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению.

Критерии оценки:

- «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена в соответствии с исходными данными, в расчетах не выявлены ошибки; при защите работы студент показывает знание и понимание представленного материала, самостоятельно дает полные ответы на задаваемые вопросы;
- «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена с грубыми ошибками или не соответствует исходным данным; при защите студент не дает правильных ответов, в том числе после наводящих вопросов.

Задания для практической работы

Задание 1. Определение показателей физических свойств грунтов

Данное задание соответствует первому разделу учебного курса – «Природа, физические свойства грунтов».

Необходимо выполнить расчеты и построить графики, сделать вывод.

Условие задания. По результатам лабораторных испытаний необходимо для образцов *песчаного грунта*:

- 1) построить кривую гранулометрического состава;
- 2) определить разновидность грунта по гранулометрическому составу и по степени его неоднородности;
- 3) вычислить плотность сухого грунта ρ_d , коэффициент пористости e , коэффициент водонасыщения S_r ;
- 4) по полученным данным дать оценку плотности сложения и степени влажности, определить расчетное сопротивление R_0 .

Для *глинистого грунта* следует:

- 1) вычислить число пластичности I_p и показатель текучести I_L ;
- 2) определить разновидность грунта по числу пластичности, разновидность по консистенции и расчетное сопротивление R_0 .

Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты для задания 1

Номер варианта	Плотность, г/см ³		Влажность, %		Содержание частиц, %, при их размере, мм					
	частиц грунта ρ_s	грунта ρ	природная W	на границе		более 2,0	2,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	менее 0,1
				раскалывания W_p	текучести W_L					
1	2,71 (2,66)	1,84 (2,01)	21,2 (19,5)	30,1	42,4	2,5	19,5	25,0	20,0	33,0
2	2,73 (2,65)	1,88 (1,73)	20,4 (6,60)	19,9	31,2	0	22,0	16,0	45,0	17,0
3	2,71 (2,66)	1,93 (1,74)	19,4 (12,5)	23,3	38,4	0	15,1	40,2	33,9	10,8
4	2,71 (2,68)	1,88 (1,89)	22,5 (8,70)	18,4	31,8	1,0	31,0	25,0	10,0	33,0
5	2,74 (2,67)	1,87 (1,80)	20,1 (15,2)	25,6	47,2	1,2	21,5	22,7	19,3	35,3

Окончание таблицы 1

Номер варианта	Плотность, г/см ³		Влажность, %			Содержание частиц, %, при их размере, мм				
	частиц грунта ρ_s	грунта ρ	природная W	на границе		более 2,0	2,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	менее 0,1
				раскагывания W_p	текучести W_L					
6	2,71 (2,67)	1,90 (1,91)	19,2 (13,9)	18,6	28,6	1,2	17,0	20,0	40,0	21,8
7	2,70 (2,65)	1,90 (1,84)	17,5 (10,8)	25,5	38,3	0,4	13,4	32,2	31,4	22,6
8	2,71 (2,66)	1,95 (1,73)	18,1 (8,80)	14,8	22,6	4,5	47,5	16,8	10,2	21,0
9	2,70 (2,66)	1,96 (1,85)	18,0 (13,1)	25,5	35,6	2,1	24,5	29,4	15,4	28,6
10	2,74 (2,65)	1,96 (1,88)	19,7 (14,2)	22,4	40,8	3,8	29,8	29,4	18,5	18,5
11	2,72 (2,66)	1,83 (1,98)	22,4 (19,6)	31,2	44,4	1,5	20,5	25,0	19,0	34,0
12	2,74 (2,65)	1,87 (1,72)	20,7 (6,30)	21,8	29,6	10	10,0	16,0	35,0	29,0
13	2,73 (2,65)	1,9 (1,75)	19,7 (14,1)	25,6	33,4	1,0	18,1	31,2	23,9	25,8
14	2,71 (2,65)	1,82 (1,87)	21,5 (9,9)	16,1	30,5	7,0	23,0	18,0	14,0	38,0
15	2,74 (2,61)	1,89 (1,81)	22,3 (14,7)	23,8	42,2	3,1	33,4	25,5	10,0	28,0
16	2,73 (2,64)	1,85 (1,93)	20,8 (10,8)	20,6	32,7	4,2	14,8	34,0	21,0	26,0
17	2,71 (2,61)	1,94 (1,87)	14,3 (12,3)	27,3	38,6	1,8	23,7	28,5	25,5	20,5
18	2,74 (2,65)	1,95 (1,82)	19,1 (10,2)	25,4	41,4	2,5	31,5	32,5	8,0	25,5
19	2,75 (2,61)	1,94 (1,91)	16,7 (17,2)	26,5	31,6	1,7	34,8	19,0	25,5	19,0
20	2,71 (2,59)	1,87 (1,78)	17,5 (18,4)	20,6	40,9	5,9	19,1	32,5	21,5	21
21	2,72 (2,67)	1,85 (1,83)	17,8 (19,2)	13,9	31,4	0	21,3	29,6	15,3	33,8
22	2,72 (2,63)	1,91 (1,86)	21,3 (9,4)	19,6	21,6	2,0	17,3	38,1	16,2	26,4
23	2,61 (2,66)	1,90 (1,34)	21,7 (15,1)	29,6	33,4	9,8	43,4	24,2	11,4	11,2
24	2,67 (2,65)	1,95 (1,43)	22,5 (10,9)	26,1	37,5	7,5	27,5	19,8	18,2	27,0
25	2,68 (2,66)	1,96 (1,55)	23,3 (16,7)	33,8	46,2	1,1	34,5	19,4	25,4	19,6
26	2,69 (2,65)	1,94 (1,78)	22,8 (12,8)	18,6	32,7	4,8	19,8	29,4	28,5	17,5
27	2,71 (2,65)	1,93 (1,68)	17,3 (14,3)	22,3	28,6	5,5	30,5	25,0	9,0	30,0

Примечание. Величины основных физических характеристик песчаных грунтов ρ_s , ρ , W приведены в скобках.

Задание 2. Определение показателей механических свойств грунтов

Задание 2 соответствует второму разделу учебного курса — «Основные закономерности механики грунтов».

Необходимо выполнить четыре задачи, построить графики, сделать выводы к каждой задаче.

Задача 2.1. По данным лабораторных испытаний необходимо построить компрессионную кривую вида $e = f(p)$. Вычислить коэффициент относительной сжимаемости m_v и модуль деформации E для заданного расчетного интервала давлений. Определить разновидность грунтов по деформируемости. Начальная высота образца грунта $h = 20$ мм.

Разновидность грунта — суглинок с коэффициентом пористости $e = 0,6$ д. е.

Исходные данные приведены в табл. 2.

Задача 2.2. По полученным данным лабораторных испытаний определить нормативное значение угла внутреннего трения φ_n и сцепление c_n грунта. Построить график сдвига вида $\tau = f(\sigma)$.

Исходные данные приведены в табл. 3.

Задача 2.3. По данным компрессионных испытаний необходимо определить модуль деформации грунта при заданном давлении и осевой деформации. Определить разновидность грунтов по деформируемости.

Исходные данные приведены в табл. 4.

Задача 2.4. Поверхность грунтового потока имеет угол уклона α . Коэффициент фильтрации грунта K_f . Необходимо определить ориентировочное время заполнения водой траншеи заданной ширины, которая пересекает грунтовой поток и заглублена ниже уровня грунтовых вод.

Исходные данные приведены в табл. 5.

Варианты к задаче 2.1

Номер вариан- та	Полная осадка грунта S_p , мм, при нагрузке P_p , МПа					Интервал давлений, МПа	
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	P_1	P_2
1	0,07	0,16	0,3	0,41	0,73	0,1	0,2
2	0,12	0,25	0,44	0,62	0,96	0,1	0,3
3	0,2	0,41	0,64	0,81	1,05	0,3	0,5
4	0,07	0,15	0,29	0,45	0,66	0,1	0,3
5	0,16	0,34	0,59	0,76	0,9	0,1	0,2
6	0,15	0,3	0,36	0,5	0,73	0,2	0,3
7	0,14	0,31	0,44	0,56	0,92	0,2	0,5
8	0,13	0,34	0,47	0,7	0,94	0,3	0,5
9	0,18	0,35	0,68	0,89	1,21	0,2	0,3
10	0,15	0,24	0,48	0,68	1,0	0,05	0,1
11	0,19	0,32	0,65	0,97	1,26	0,05	0,2
12	0,21	0,35	0,7	1,01	1,36	0,1	0,2
13	0,23	0,44	0,82	1,14	1,6	0,1	0,2
14	0,11	0,3	0,44	0,7	0,9	0,05	0,3
15	0,15	0,35	0,65	0,81	1,03	0,1	0,3
16	0,2	0,29	0,47	0,61	1,03	0,1	0,2
17	0,25	0,4	0,7	0,9	1,19	0,05	0,1
18	0,17	0,28	0,47	0,6	0,75	0,05	0,2
19	0,12	0,17	0,32	0,43	0,69	0,05	0,3
20	0,16	0,29	0,5	0,7	0,95	0,2	0,3
21	0,22	0,5	0,85	1,08	1,33	0,2	0,5
22	0,1	0,25	0,43	0,57	0,95	0,3	0,5
23	0,26	0,46	0,71	0,93	1,13	0,05	0,2
24	0,12	0,27	0,42	0,55	0,81	0,1	0,5
25	0,08	0,16	0,41	0,62	0,97	0,05	0,2
26	0,1	0,23	0,38	0,47	0,78	0,05	0,3
27	0,09	0,17	0,38	0,68	0,99	0,05	0,2

Варианты к задаче 2.2

Номер вариан- та	Предельное сопротивление образца грунта сдвигу τ_s , МПа, при нормальном давлении σ_s , передаваемом на образец грунта, МПа					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	0,091	0,155	0,218	0,285	0,352	0,419
2	0,075	0,137	0,197	0,262	0,326	0,387
3	0,065	0,099	0,142	0,179	0,209	0,259
4	0,08	0,158	0,232	0,308	0,382	0,458
5	0,079	0,118	0,135	0,173	0,215	0,231
6	0,069	0,136	0,21	0,276	0,351	0,422
7	0,041	0,074	0,101	0,129	0,154	0,187
8	0,081	0,154	0,232	0,299	0,354	0,447
9	0,045	0,079	0,124	0,169	0,211	0,257
10	0,12	0,16	0,196	0,235	0,27	0,308
11	0,061	0,125	0,18	0,246	0,311	0,379
12	0,075	0,136	0,195	0,261	0,326	0,396
13	0,073	0,119	0,163	0,18	0,21	0,269
14	0,082	0,147	0,225	0,317	0,388	0,447
15	0,084	0,13	0,15	0,196	0,224	0,259
16	0,069	0,137	0,209	0,279	0,349	0,424
17	0,055	0,096	0,124	0,14	0,177	0,2
18	0,066	0,134	0,216	0,284	0,333	0,421
19	0,053	0,066	0,122	0,156	0,2	0,244
20	0,11	0,165	0,18	0,24	0,276	0,293
21	0,078	0,143	0,198	0,284	0,302	0,353
22	0,077	0,143	0,184	0,254	0,308	0,338
23	0,067	0,126	0,193	0,251	0,313	0,359
24	0,07	0,136	0,211	0,268	0,348	0,439
25	0,045	0,098	0,145	0,223	0,278	0,321
26	0,083	0,153	0,211	0,298	0,353	0,443
27	0,055	0,097	0,128	0,183	0,235	0,281

Варианты к задаче 2.3

Номер варианта	Давление p , кПа	Осевая деформация ε_z	Коэффициент Пуассона ν
1	300	0,005	0,4
2	500	0,05	0,4
3	200	0,03	0,3
4	100	0,0085	0,45
5	200	0,002	0,3
6	300	0,05	0,45
7	500	0,048	0,28
8	200	0,006	0,3
9	300	0,055	0,3
10	300	0,004	0,1
11	200	0,0245	0,42
12	200	0,04	0,35
13	100	0,0075	0,3
14	500	0,06	0,28
15	500	0,0485	0,35
16	300	0,03	0,42
17	200	0,005	0,4
18	100	0,008	0,2
19	500	0,004	0,3
20	200	0,006	0,42
21	200	0,058	0,35
22	100	0,002	0,4
23	100	0,024	0,3
24	300	0,069	0,31
25	300	0,008	0,3
26	100	0,0065	0,42
27	100	0,0145	0,41

Варианты к задаче 2.4

Номер варианта	Угол наклона α , град	Коэффициент фильтрации, K_f , м/сут	Ширина траншеи L , м
1	26	100	0,5
2	30	105	1
3	40	2	1,5
4	25	50	1,2
5	27	150	1,3
6	28	100	0,5
7	29	95	0,8
8	31	90	1,2
9	32	55	3
10	33	50	2,5
11	24	30	1,5
12	25	150	0,5
13	23	100	0,9
14	21	105	1,1
15	15	80	2
16	20	90	2,1
17	22	150	2
18	31	100	2,5
19	35	105	3
20	36	25	0,5
21	37	40	0,8
22	38	0,5	1
23	39	45	1,1
24	41	150	1,2
25	50	100	1,3
26	52	110	1,5
27	28	120	0,5

Задание 3. Определение напряжений в массиве грунта от совместного действия сосредоточенных сил

Задание 3 соответствует третьему разделу учебного курса – «Определение напряжений в массивах грунтов».

Необходимо выполнить расчеты, построить расчетные схемы, сделать выводы.

Условие задания. К горизонтальной поверхности массива грунта приложены три вертикальные сосредоточенные силы – N_1 , N_2 , N_3 , расстояние между осями действия сил – r_1 и r_2 .

Необходимо определить величины вертикальных напряжений σ_z от совместного действия сосредоточенных сил в точках массива грунта, расположенных в плоскости действия сил:

- 1) по вертикали I-I, проходящей через точку приложения силы N_2 ;
- 2) по горизонтали II-II, проходящей на расстоянии Z от поверхности массива грунта.

Точки располагаются по вертикали от поверхности на расстоянии 1,0; 2,0; 4,0 и 6,0 м. Точки по горизонтали нужно расположить вправо и влево от оси действия силы N_2 на расстоянии 0; 1,0 и 3,0 м. По полученным напряжениям и заданным осям построить эпюры распределения напряжений σ_z .

Схема к заданию представлена на рис. 1.

Исходные данные приведены в табл. 6.

Таблица 6

Варианты для задания 3

Номер варианта	N_1 , кН	N_2 , кН	N_3 , кН	r_1 , м	r_2 , м	Z , м
1	1200	800	1200	3	1	1
2	1200	900	1000	1	2	2
3	1700	600	1500	3	3	1
4	1500	800	1200	3	1	3
5	1300	800	1400	3	1	3
6	1700	700	1300	2	2	1
7	1900	600	1800	1	2	1
8	1100	700	1200	2	3	2
9	1000	700	1300	2	2	1
10	1300	500	1400	2	3	3
11	1600	500	1200	2	3	3

Номер варианта	N_1 , кН	N_2 , кН	N_3 , кН	r_1 , м	r_2 , м	Z , м
12	1800	800	1400	3	1	1
13	1800	800	1500	2	1	1
14	1500	500	1500	2	2	4
15	1900	700	1700	2	3	2
16	1800	900	1600	3	2	2
17	1100	800	1000	2	3	2
18	1600	800	1900	3	2	2
19	1300	800	1300	2	3	2
20	1900	600	1400	3	1	2
21	1000	500	1000	2	2	1
22	1300	500	1100	2	3	3
23	1700	800	1500	3	1	1
24	1500	700	1100	2	2	3
25	1400	500	1400	2	3	2
26	1900	800	1900	3	1	1
27	1000	800	900	3	1	1

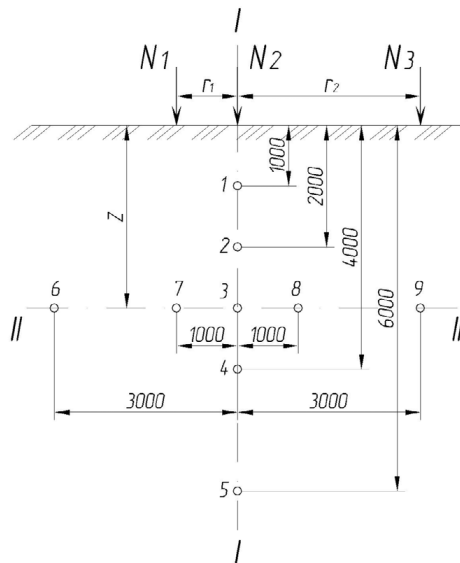


Рис. 1. Схема к заданию 3

Задание 4. Определение напряжений в грунтовом массиве методом угловых точек

Данное задание соответствует третьему разделу учебного курса – «Определение напряжений в массивах грунтов».

Необходимо выполнить расчеты, заполнить таблицы, построить эпюру и сделать вывод.

Условие задания. Горизонтальная поверхность массива грунта нагружена равномерно распределенной вертикальной нагрузкой интенсивностью p_1 и p_2 . Размеры прямоугольных площадок в плане: $l_1 \times b_1$ и $l_2 \times b_2$.

Необходимо определить значения вертикальных напряжений σ_{zp} от совместного действия распределенных нагрузок на поверхности в грунтовом массиве на вертикали, проходящей через точку M , на глубинах 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 м. Расстояние L между осями площадок нагружения принять равным 3,0 м. По вычисленным напряжениям построить эпюру распределения σ_{zp} .

Расчетная схема представлена на рис. 2.

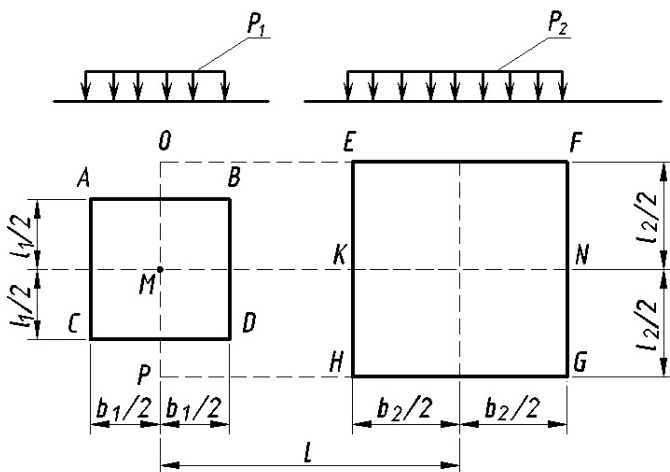


Рис. 2. Расчетная схема к заданию 4

Исходные данные приведены в табл. 7.

Варианты для задания 4

Номер варианта	l_1 , м	b_1 , м	p_1 , кПа	l_2 , м	b_2 , м	p_2 , кПа
1	2,5	1,9	280	5,0	2,4	310
2	3,3	2,3	240	6,0	2,8	350
3	2,9	2,5	320	4,0	2,4	290
4	2,6	2,1	340	5,0	2,4	380
5	2,5	1,9	290	6,0	2,4	330
6	2,2	2,2	260	3,5	2,5	360
7	1,9	1,9	280	4,0	2,4	320
8	2,5	2,1	310	6,0	2,8	410
9	2,7	1,9	320	5,0	2,4	340
10	5,0	2,4	380	4,0	2,4	320
11	3,3	2,3	240	4,0	2,4	350
12	2,9	2,6	320	3,5	2,5	290
13	2,2	2,2	260	3,0	2,4	360
14	2,5	2,1	310	4,0	2,4	410
15	5,0	2,4	380	6,0	2,4	320
16	2,5	1,9	280	3,3	3,3	310
17	2,6	2,1	340	5,0	2,4	370
18	1,9	1,9	270	2,9	2,6	300
19	2,2	2,1	360	4,1	3,8	450
20	2,6	1,9	250	3,3	2,4	320
21	2,4	2,3	280	3,0	2,5	350
22	2,5	2,4	300	4,0	2,5	400
23	3,3	2,4	210	4,2	2,4	440
24	5,0	2,7	330	6,5	2,4	330
25	3,2	1,9	350	3,6	2,1	210
26	1,8	1,2	190	2,2	2,0	250
27	2,8	2,0	320	4,5	4,0	510

Задание 5. Определение устойчивости откоса

Данное задание соответствует четвертому разделу учебного курса – «Прочность, устойчивость грунтовых массивов и давление на ограждение».

Необходимо выполнить расчеты, схему к расчету, сделать вывод.

Условие задания. Определить устойчивость откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Грунт имеет следующие характеристики: сцепление грунта c , угол внутреннего трения φ , удельный вес γ .

Схема к заданию представлена на рис. 3.

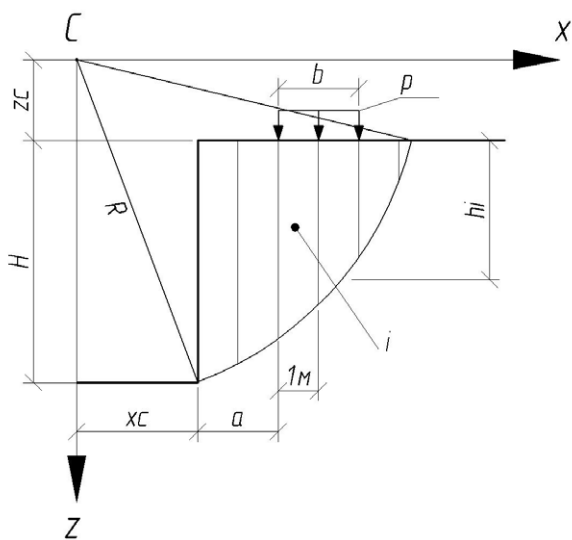


Рис. 3. Расчетная схема к заданию 5

Исходные данные приведены в табл. 8.

Варианты для задания 5

Номер варианта	z_c , м	x_c , м	a , м	b , м	H , м	c , кПа	φ , град	γ , кН/м ³	p , кПа
1	2	2	2	2	6	10	30	20	100
2	1	2	2	2	6	10	30	20	100
3	1	1	2	2	6	10	30	20	100
4	1	3	2	2	6	10	30	20	100
5	4	5	2	2	6	20	20	19	120
6	2	4	2	2	6	10	30	20	100
7	3	3	2	2	6	10	30	20	100
8	4	3	2	2	6	10	30	20	100
9	4	5	2	2	6	10	30	20	100
10	5	5	2	2	6	10	30	20	100
11	2	2	2	2	6	15	25	18	150
12	1	2	2	2	6	15	25	18	150
13	1	1	2	2	6	15	25	18	150
14	1	3	2	2	6	15	25	18	150
15	2	3	2	2	6	15	25	18	150
16	2	4	2	2	6	15	25	18	150
17	3	3	2	2	6	15	25	18	150
18	4	3	2	2	6	15	25	18	150
19	4	5	2	2	6	15	25	18	150
20	5	5	2	2	6	15	25	18	150
21	2	2	2	2	6	20	20	19	120
22	1	2	2	2	6	20	20	19	120
23	1	1	2	2	6	20	20	19	120
24	1	3	2	2	6	20	20	19	120
25	2	3	2	2	6	20	20	19	120
26	2	4	2	2	6	20	20	19	120
27	3	3	2	2	6	20	20	19	120

Задание 6. Определение давления грунта на подпорную стенку

Данное задание соответствует четвертому разделу учебного курса – «Прочность, устойчивость грунтовых массивов и давление на ограждение».

Необходимо выполнить три задачи, построить расчетные схемы, сделать выводы к каждой задаче.

Исходные данные приведены в табл. 9.

Задача 6.1. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта ($c = 0$, $\varphi \neq 0$).

Дана подпорная стенка высотой H с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стенкой, имеющая заглибление на величину h .

Необходимо определить активное и пассивное давление грунта на подпорную стенку.

Схема подпорной стенки представлена на рис. 4.

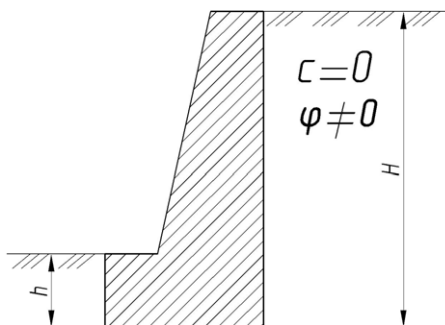


Рис. 4. Схема подпорной стенки к задаче 6.1

Задача 6.2. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта ($c = 0$, $\varphi \neq 0$) с учетом нагрузки на поверхности.

Необходимо определить активное давление грунта на подпорную стенку, учитывая нагрузку на поверхности.

Схема подпорной стенки представлена на рис. 5.

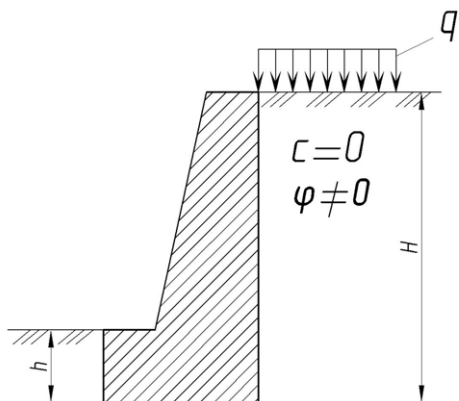


Рис. 5. Схема подпорной стенки к задаче 6.2

Задача 6.3. Определение давления на подпорную стенку от идеально связного грунта ($c \neq 0$, $\varphi \neq 0$).

Необходимо определить активное и пассивное давление связного грунта на подпорную стенку.

Схема подпорной стенки представлена на рис. 6.

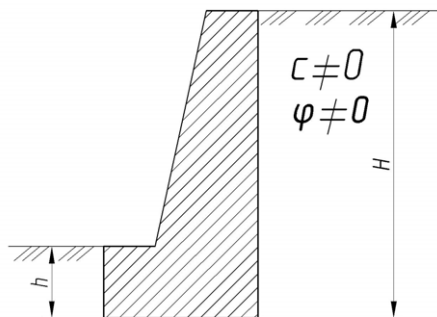


Рис. 6. Схема подпорной стенки к задаче 6.3

Варианты для задания 6

Номер варианта	H , м	h , м	γ , кН/м ³	φ , град	c , кПа	q , кПа
1	6,0	1,8	19,8	19	16	150
2	8,0	2,1	20,1	17	18	150
3	7,0	2,0	20,8	18	15	180
4	5,0	1,8	20,9	20	21	120
5	9,0	2,4	19,6	21	23	240
6	5,0	2,6	20,4	14	19	250
7	6,0	1,8	19,7	22	14	150
8	8,0	2,4	20,2	19	25	120
9	10,0	3,4	19,2	23	22	150
10	6,0	1,8	21,5	16	17	220
11	7,0	2,1	21,2	18	15	250
12	8,0	2,2	20,2	19	20	240
13	9,0	2,6	19,8	20	19	120
14	10,0	2,7	20,2	21	24	200
15	11,0	3,5	19,8	22	21	240
16	12,0	3,8	20,3	19	14	250
17	6,0	1,7	20,4	16	17	180
18	7,0	2,2	20,2	17	16	120
19	8,0	2,4	20,3	20	25	150
20	9,0	2,3	19,7	22	25	150
21	10,0	2,4	20,1	20	22	180
22	11,0	3,1	19,8	23	22	250
23	12,0	3,6	19,8	18	25	200
24	6,0	2,1	20,1	20	18	150
25	7,0	2,5	19,6	23	23	180
26	8,0	2,5	20,4	22	21	210
27	9,0	2,1	16,9	19	23	180

Задание 7. Определение осадки основания методом послойного суммирования

Данное задание соответствует пятому разделу учебного курса – «Деформации грунтов и расчет осадок фундаментов».

Необходимо выполнить расчеты, заполнить таблицу, построить эпюры, сделать вывод.

Условие задания

1. Методом послойного суммирования необходимо определить величину полной стабилизированной осадки основания фундамента, учитывая только осевые сжимающие напряжения (ширина подошвы – b , длина подошвы – l , глубина заложения фундамента – d).
2. Построить эпюру напряжений σ_{zp} в грунтовой толще на вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента.
3. Построить эпюру напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} .

Исходные данные приведены в табл. 10.

Таблица 10

Варианты для задания 7

Номер варианта	b , м	l , м	p , кПа	γ , кН/м ³	d , м	E , МПа
1	2	3	200	18,5	0	10,4
2	3	4	210	19,1	1	20,2
3	4	5	220	20,2	2	30,1
4	5	6	230	18,3	1	15,8
5	2	2	235	19,4	0	25,9
6	3	3	210	20,0	0	10,6
7	4	4	230	18,8	1	20,8
8	5	5	220	19,2	2	30,3
9	6	6	220	20	1	20,2
10	2	4	210	18	0	30,1
11	3	6	230	19	0	15,8
12	4	8	300	20	1	25,9
13	5	8	280	18	2	15,8
14	6	8	310	19	1	25,9

Окончание таблицы 10

Номер варианта	b , м	l , м	p , кПа	γ , кН/м ³	d , м	E , МПа
15	2	3	260	20	0	10,6
16	3	4	240	18	0	20,8
17	4	5	210	19	1	30,3
18	5	6	270	20	2	15,8
19	2	2	320	18	1	25,9
20	3	3	330	19	0	15,8
21	4	4	280	20	0	25,9
22	5	5	210	18	1	10,6
23	6	6	300	19	2	30,1
24	2	4	200	20	1	15,8
25	3	6	280	18	0	25,9
26	4	8	310	19	0	10,6
27	5	8	340	20	1	20,8

Методические рекомендации по выполнению заданий с примерами расчета

Методические рекомендации к выполнению задания 1

Гранулометрическим составом грунтов называется процентное содержание первичных (неагрегированных) частиц различной крупности по фракциям, выраженное отношением их массы к общей массе грунта [6].

Гранулометрический состав грунта определяется методом ситового анализа в соответствии с ГОСТ 12536-2014 [5].

По гранулометрическому составу крупнообломочные грунты и пески подразделяют на разновидности в соответствии с табл. Б.9 [6] ГОСТ 25100-2011 или табл. Б.1 (прил. Б).

Степень неоднородности гранулометрического состава песка C_u определяется по формуле

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (1)$$

где d_{60} – диаметр частиц, мельче которых в данном грунте содержится (по массе) 60 % частиц; d_{10} – диаметр частиц, мельче которых в данном грунте содержится (по массе) 10 % частиц.

Величины d_{60} и d_{10} определяются графически. Строится кривая гранулометрического состава грунта (рис. 7). По горизонтальной оси в логарифмическом масштабе откладываются значения диаметров частиц в миллиметрах (например, если принять, что $\lg 10 = 1$ соответствует отрезку длиной 3 см, то $\lg 2 = 0,301$ будет соответствовать отрезку $0,301 \cdot 3 = 0,903$ см, и так далее); по вертикальной – суммарное содержание в грунте частиц диаметром более данного (в процентах).

По степени неоднородности гранулометрического состава C_u крупнообломочные грунты и пески подразделяют на разновидности в соответствии с табл. Б.10 ГОСТ 25100-2011 [6].

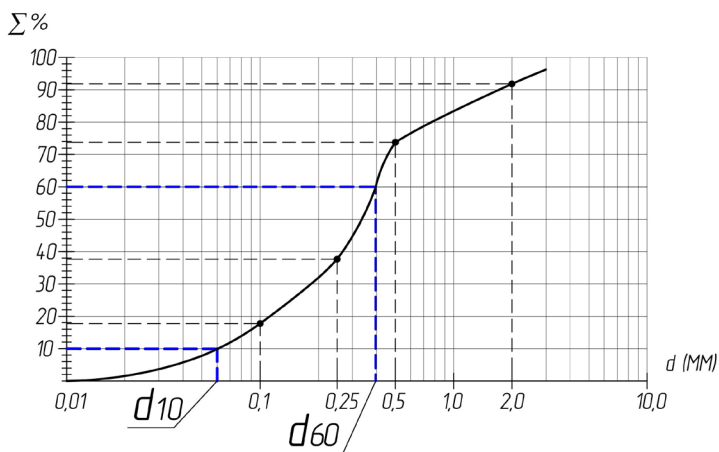


Рис. 7. Кривая гранулометрического состава

При $C_u > 3$ песок является неоднородным по составу частиц.

При $C_u \leq 3$ песок однородный по составу частиц.

Для оценки свойств песчаных грунтов одним из важных показателей является плотность их сложения. Пески по плотности сложения подразделяются на плотные, средней плотности и рыхлые согласно табл. Б.12 ГОСТ 25100-2011 [6] или табл. Б.2 (прил. Б).

Плотность сухого грунта ρ_d определяется по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}. \quad (2)$$

Коэффициент пористости e определяется по формуле

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot (1 + W) - 1. \quad (3)$$

По коэффициенту водонасыщения S_r крупнообломочные грунты и пески подразделяют на разновидности в соответствии с табл. Б.11 ГОСТ 25100-2011 [6] или табл. Б.3 (прил. Б).

Коэффициент водонасыщения S_r определяется по формуле

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}, \quad (4)$$

где ρ_w – плотность воды, г/см³; W_p – значение влажности в долях единиц.

Строительные свойства связных грунтов зависят от их консистенции. Для определения разновидности глинистого грунта необ-

ходимо знать характерные влажности: влажность грунта на границе раскатывания W_p и на границе текучести W_L . Характерные влажности – граничные значения, при которых отмечается переход из одного состояния консистенции в другое: W_p соответствует переходу грунта в твердое состояние, W_L – переходу в текучее состояние.

Величину интервала влажности, в пределах которого грунт сохраняет пластичное состояние, характеризует число пластичности I_p .

Консистенцию грунта характеризует показатель текучести I_L .

Число пластичности I_p глинистого грунта определяется по формуле

$$I_p = W_L - W_p. \quad (5)$$

Наименование связного грунта по числу пластичности определяется по табл. Б.16 ГОСТ 25100-2011 [6] или табл. Б.5 (прил. Б).

По показателю текучести I_L определяют консистенцию грунта с помощью формулы

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}. \quad (6)$$

По показателю текучести I_L глинистые грунты подразделяют на разновидности в соответствии с табл. Б.19 [6] ГОСТ 25100-2011 или табл. Б.6 (прил. Б).

Расчетные сопротивления R_0 песчаных и глинистых грунтов определяются на основании оценки их вида и состояния по заданным характеристикам физических свойств в соответствии с нормами проектирования [8].

Пример выполнения задания

Исходные данные

Номер варианта	Плотность, г/см ³		Влажность, %			Содержание частиц, %, при их размере, мм				
	частиц грунта ρ_s	грунта ρ	Природная W	на границе		более 2,0	2,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	менее 0,1
				раскатывания W_p	текучести W_L					
	2,59 (2,65)	1,87 (1,83)	21,1 (11,5)	27,4	37,4	8,1	18,0	36,0	20,0	17,0

Решение

1. Песчаный грунт

Построение кривой гранулометрического состава

Для построения кривой необходимо проверить, чтобы сумма процентного содержания масс частиц равнялась 100 %.

По заданию процентное содержание масс частиц определенных диаметров (d) равно:

менее 0,1	0,25–0,1	0,5–0,25	2,0–0,5	более 2,0
$a_{01} = 17,9$	$a_{025} = 20,0$	$a_{05} = 36,0$	$a_{02} = 18,0$	$a = 8,1$

Сумма процентов равна:

$$a_{01} + a_{025} + a_{05} + a_2 + a = 17,9 + 20,0 + 36,0 + 18,0 + 8,1 = 100 \%$$

Процентное содержание масс частиц (суммирование начинается с самой мелкой фракции) определяется следующим образом:

- диаметр $d < 0,1$ мм – 17,9 %
- диаметр $d < 0,25$ мм – 17,9 % + 20,0 % = 37,9 %
- диаметр $d < 0,5$ мм – 17,9 % + 20,0 % + 36,0 % = 73,9 %
- диаметр $d < 2,0$ мм – 17,9 % + 20,0 % + 36,0 % + 18,0 % = 91,9 %

Кривая гранулометрического состава грунта строится по вычисленным данным, как показано на рис. 8.

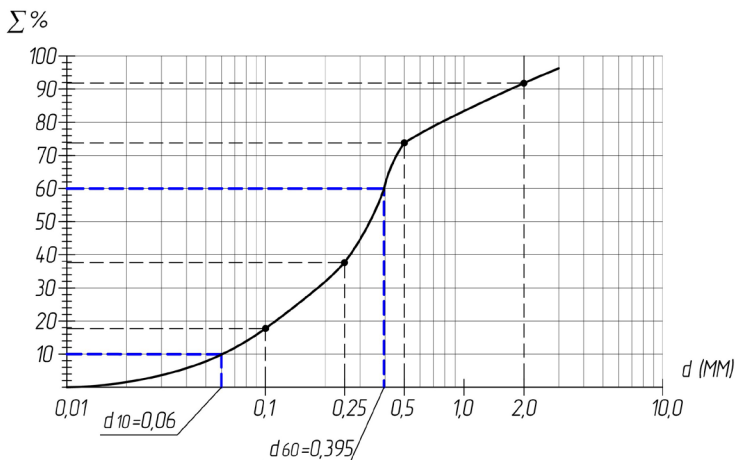


Рис. 8. Кривая гранулометрического состава

Коэффициент неоднородности C_u определяется по кривой гранулометрического состава:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,395}{0,06} = 6,58.$$

Величины d_{60} и d_{10} определяются графически.

*Определение разновидности грунта
по гранулометрическому составу*

Чтобы установить разновидность грунта, последовательно суммируются проценты частиц исследуемого грунта.

Процентное содержание масс частиц крупнее 2 мм:

$$a = 8,1 \%$$

Процентное содержание масс частиц крупнее 0,5 мм:

$$a_2 + a = 18 + 8,1 = 26,1 \%$$

Процентное содержание масс частиц крупнее 0,25 мм:

$$a_{0,25} + a_2 + a = 36 + 18 + 8,1 = 62,1 \%$$

Процентное содержание масс частиц крупнее 0,1 мм:

$$a_{0,1} + a_{0,25} + a_2 + a = 20 + 36 + 18 + 8,1 = 82,1 \%$$

Классифицируется грунт по первому показателю в порядке расположения наименований в таблице сверху вниз (табл. Б.1 прил. Б).

Процентное содержание масс частиц крупнее 0,25 мм $> 50 \%$, грунт – песок средней крупности.

Плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, определяется по формуле

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W} = \frac{1,83}{1+0,115} = 1,64.$$

Коэффициент пористости e определяется по формуле

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{2,65 - 1,64}{1,64} = 0,62 \text{ д. е.}$$

По таблице плотности сложения песчаных грунтов (табл. Б.2 прил. Б) песок средней крупности с коэффициентом пористости $0,55 < e \leq 0,7$ является песком средней плотности сложения.

Коэффициент водонасыщения S_r определяется по формуле

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} = \frac{0,115 \cdot 2,65}{0,62 \cdot 1,0} = 0,492.$$

По табл. Б.3 прил. Б определяется разновидность – пески маловлажные.

По табл. Б.4 прил. Б определяется расчетное сопротивление $R_0 = 400$ кПа.

Вывод. По результатам лабораторных испытаний получили грунт – песок средней крупности, неоднородный, средней плотности сложения, маловлажный с расчетным сопротивлением $R_0 = 400$ кПа.

2. Глинистый грунт

Разновидность глинистого грунта определяется по характерным влажностям и природной влажности W .

Число пластичности I_p глинистого грунта определяется по формуле

$$I_p = W_L - W_p = 0,374 - 0,274 = 0,1 \text{ д.е.}$$

Наименование связного грунта определяется по табл. Б.5 прил. Б. Глинистый грунт – суглинок.

По показателю текучести I_L определяют консистенцию грунта:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{0,211 - 0,274}{0,374 - 0,274} = -0,63 \text{ д. е.}$$

По табл. Б.6 прил. Б определяется консистенция суглинка – твердая.

Коэффициент пористости e определяется по формуле

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot (1 + W) - 1 = \frac{2,59}{1,87} \cdot (1 + 0,211) - 1 = 0,677 \text{ д. е.}$$

По табл. Б.7 прил. Б расчетное сопротивление суглинка твердой консистенции $R_0 = 256$ кПа. (Для определения применялась интерполяция.)

Вывод. По результатам лабораторных испытаний получили глинистый грунт – суглинок твердой консистенции с расчетным сопротивлением $R_0 = 256$ кПа.

Методические рекомендации к выполнению задания 2

Задача 2.1. Для того чтобы построить компрессионную кривую и определить коэффициент относительной сжимаемости грунта m_v , необходимо сначала вычислить коэффициенты пористости грунта e_i , соответствующие заданным ступеням нагрузки, по формуле:

$$e_i = e_0 - \frac{S_i}{h} \cdot (1 + e_0), \quad (7)$$

где e_i – значение коэффициента пористости грунта после уплотнения под нагрузкой; e_0 – начальное значение коэффициента пористости грунта; S_i – полная осадка образца грунта при заданной нагрузке, измеренная от начала нагружения; h – начальная высота образца грунта.

По полученным данным строится график компрессионной зависимости.

Коэффициент относительной сжимаемости m_v определяется по формуле

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0}, \quad (8)$$

где m_0 – коэффициент сжимаемости грунта для заданного расчетного интервала давлений, определяемый по формуле

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}. \quad (9)$$

Модуль деформации грунта определяется по формуле

$$E = \frac{\beta}{m_v}, \quad (10)$$

где β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и вычисляемый по формуле [4]

$$\beta = 1 - \frac{2\vartheta^2}{1 - \vartheta}. \quad (11)$$

При отсутствии экспериментальных данных допускается принимать β равным 0,8 – для песков; 0,7 – для супесей; 0,6 – для суглинков и 0,4 – для глин [4].

По деформируемости дисперсные грунты подразделяют на разновидности в соответствии с табл. В.4 [6] ГОСТ 25100-2011 или табл. Б.8 прил. Б.

Задача 2.2. Для определения нормативного значения угла внутреннего трения грунта φ_n и сцепления грунта c_n следует воспользоваться формулами, составленными на основе законов математической статистики:

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{1}{\Delta} \cdot (n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i); \quad (12)$$

$$c_n = \frac{1}{\Delta} \cdot (\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \tau_i \sigma_i \sum \sigma_i), \quad (13)$$

где n – число испытаний по определению сопротивления грунта сдвигу, $n = 6$; Δ – общий знаменатель, определяемый по формуле

$$\Delta = n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2. \quad (14)$$

Задача 2.3. Осевая деформация при компрессионном сжатии грунта вычисляется по формуле

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \vartheta(\sigma_x + \sigma_y)]. \quad (15)$$

Для условий компрессии (деформации в боковом направлении отсутствуют) $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$, $\sigma_y = \sigma_x$, $\sigma_z = P$:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\vartheta}{1 - \vartheta} \cdot \sigma_z. \quad (16)$$

Если подставить формулу (16) в формулу (15), получится:

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \vartheta(\sigma_x + \sigma_y)] = \frac{1}{E} \left[\sigma_z - \vartheta \left(\frac{\vartheta}{1 - \vartheta} \cdot \sigma_z + \frac{\vartheta}{1 - \vartheta} \cdot \sigma_z \right) \right] = \\ &= \frac{1}{E} \cdot \sigma_z \cdot \left(1 - \frac{2\vartheta^2}{1 - \vartheta} \right) = \frac{1}{E} \cdot \sigma_z \cdot \beta, \end{aligned}$$

где β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе и определяемый по формуле (11).

Из формулы для определения осевой деформации определяется модуль деформации грунта

$$E = \frac{\sigma_z \cdot \beta}{\varepsilon_z}. \quad (17)$$

Разновидность грунта по деформируемости определяется по табл. В.4 ГОСТ 25100-2011 [6] или табл. Б.8 прил. Б.

Задача 2.4. Градиент гидравлического напора определяется по формуле

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L}. \quad (18)$$

Как видно из рис. 9, гидравлический градиент напора будет равен

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{H}{L} = \operatorname{tg}\alpha.$$

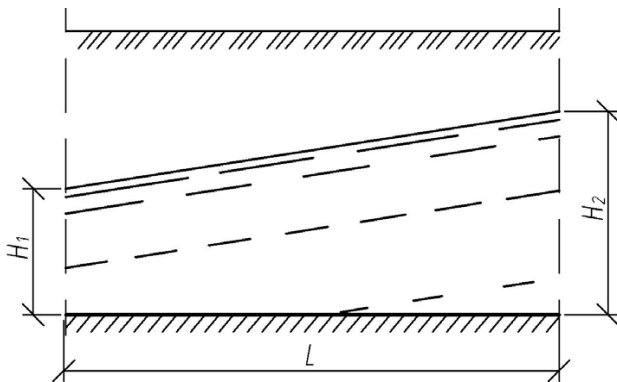


Рис. 9. Определение градиента гидравлического напора

Скорость фильтрации V_ϕ определяется по формуле

$$V_\phi = k_\phi \cdot i. \quad (19)$$

Скорость фильтрации V_ϕ — это расход поровой воды через единицу поперечного сечения в единицу времени.

Путь, равный ширине траншеи, грунтовый поток пройдет за время

$$t = \frac{L}{V_\phi}. \quad (20)$$

Полученное время можно считать ориентировочным временем заполнения траншеи водой.

Пример выполнения задания

Задача 2.1.

Исходные данные

Номер варианта	Полная осадка грунта S_p , мм, при нагрузке P_i , МПа					Интервал давлений, МПа	
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	P_1	P_2
	0,18	0,35	0,48	0,63	0,98	0,05	0,2

Решение

Необходимо построить компрессионную кривую.

Коэффициенты пористости при соответствующих давлениях:

$$e_{0,05} = 0,6 - \frac{0,18}{20} \cdot (1 + 0,6) = 0,586;$$

$$e_{0,1} = 0,6 - \frac{0,35}{20} \cdot (1 + 0,6) = 0,572;$$

$$e_{0,2} = 0,6 - \frac{0,48}{20} \cdot (1 + 0,6) = 0,562;$$

$$e_{0,3} = 0,6 - \frac{0,63}{20} \cdot (1 + 0,6) = 0,550;$$

$$e_{0,5} = 0,6 - \frac{0,98}{20} \cdot (1 + 0,6) = 0,522.$$

По полученным данным строится компрессионная кривая (рис. 10).

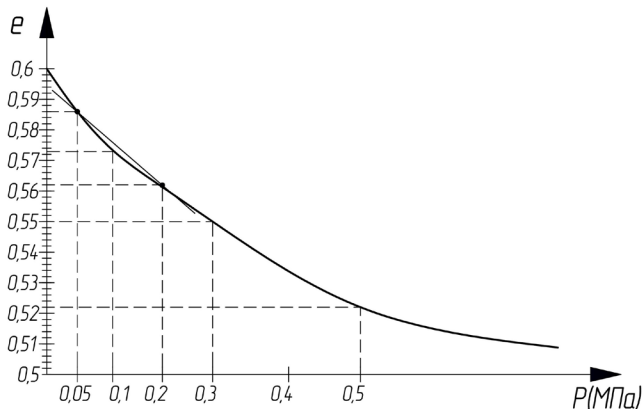


Рис. 10. График компрессионной зависимости

В пределах давлений, указанных в исходных данных, определяется коэффициент сжимаемости грунта

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = \frac{e_{005} - e_{02}}{p_2 - p_1} = \frac{0,586 - 0,562}{0,2 - 0,05} = 0,16 \text{ МПа}^{-1}.$$

Коэффициент относительной сжимаемости определяется по формуле

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0} = \frac{0,16}{1 + 0,6} = 0,1 \text{ МПа}^{-1}.$$

Модуль деформации грунта определяется по формуле

$$E = \frac{\beta}{m_v} = \frac{0,6}{0,1} = 6 \text{ МПа}.$$

Вывод. По табл. Б.8 прил. Б определяется разновидность грунта по деформируемости – грунт является сильно деформируемым.

Задача 2.2

Исходные данные

Номер варианта	Предельное сопротивление образца грунта сдвигу τ_p , МПа, при нормальном давлении σ_p , передаваемом на образец грунта, МПа					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	0,098	0,177	0,264	0,332	0,424	0,52

Решение

По полученным экспериментальным данным необходимо построить график сдвига вида $\tau = f(\sigma)$, как показано на рис. 11.

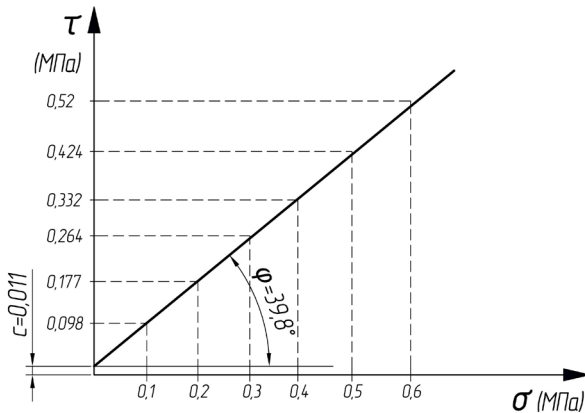


Рис. 11. График сдвига вида $\tau = f(\sigma)$

Для определения нормативного значения угла внутреннего трения грунта и сцепления грунта следует воспользоваться формулами, составленными на основе законов математической статистики:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi^H &= \frac{1}{\Delta} \cdot (n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i); \\ c^H &= \frac{1}{\Delta} \cdot (\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \tau_i \sigma_i \sum \sigma_i), \end{aligned}$$

где n – число экспериментов по определению сопротивления грунта сдвигу ($n = 6$); Δ – общий знаменатель, определяемый по формуле $\Delta = n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2$;

$$\sum \tau_i = 0,098 + 0,177 + 0,264 + 0,332 + 0,424 + 0,52 = 1,815 \text{ МПа};$$

$$\sum \sigma_i = 0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,5 + 0,6 = 2,1 \text{ МПа};$$

$$\begin{aligned} \sum \tau_i \cdot \sigma_i &= 0,098 \cdot 0,1 + 0,177 \cdot 0,2 + 0,264 \cdot 0,3 + 0,332 \cdot 0,4 + \\ &+ 0,424 \cdot 0,5 + 0,52 \cdot 0,6 = 0,781 \text{ МПа}^2; \end{aligned}$$

$$\sum \sigma_i^2 = 0,1^2 + 0,2^2 + 0,3^2 + 0,4^2 + 0,5^2 + 0,6^2 = 0,91 \text{ МПа}^2;$$

$$\Delta = n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2 = 6 \cdot 0,91 - 2,1^2 = 1,05.$$

Нормативное значение сцепления грунта

$$\begin{aligned} c_H &= \frac{1}{\Delta} \cdot (\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \tau_i \sigma_i \sum \sigma_i) = \\ &= \frac{1}{1,05} \cdot (1,815 \cdot 0,91 - 0,781 \cdot 2,1) = 0,011 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Нормативное значение тангенса угла внутреннего трения грунта

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi_H &= \frac{1}{\Delta} \cdot (n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i) = \\ &= \frac{1}{1,05} \cdot (6 \cdot 0,781 - 1,815 \cdot 2,1) = 0,834. \end{aligned}$$

Нормативное значение угла внутреннего трения грунта $\varphi = 39,8^\circ$.

Задача 2.3

Исходные данные

Номер варианта	Давление p , кПа	Осевая деформация ε_z	Коэффициент Пуассона ν
	200	0,0195	0,2

Решение

Осевая деформация при компрессионном сжатии грунта вычисляется по формуле

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \vartheta(\sigma_x + \sigma_y)].$$

Для условий компрессии (деформации в боковом направлении отсутствуют) $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$, $\sigma_y = \sigma_x$, $\sigma_z = P$:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\vartheta}{1 - \vartheta} \cdot \sigma_z.$$

Из формулы для определения осевой деформации определяется модуль деформации грунта:

$$E = \frac{\sigma_z \cdot \beta}{\varepsilon_z} = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} \cdot \left(1 - \frac{2\vartheta^2}{1 - \vartheta}\right) = \frac{200}{0,0195} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,2^2}{1 - 0,2}\right) = 9,23 \text{ МПа.}$$

Вывод. По табл. Б.8 прил. Б определяется разновидность грунта по деформируемости – грунт является сильнодеформируемым.

Задача 2.4

Исходные данные

Номер варианта	Угол наклона α , град	Коэффициент фильтрации K_ϕ , м/сут	Ширина траншеи L , м
	32,0	30,0	1,0

Решение

Необходимо определить градиент гидравлического напора:

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L},$$
$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{H}{L} = \text{tg}\alpha = 0,6249.$$

Скорость фильтрации

$$V_{\phi} = k_{\phi} \cdot i = 30 \cdot 0,6249 = 18,747 \text{ м/сут.}$$

Путь, равный ширине траншеи, грунтовый поток пройдет за время

$$t = \frac{L}{V_{\phi}} = \frac{1}{18,747} = 0,0533 \text{ сут} = 1,28 \text{ часа} = 76,8 \text{ мин.}$$

Полученное время можно считать ориентировочным временем заполнения траншеи водой.

Методические рекомендации к выполнению задания 3

Если к горизонтальной поверхности массива грунта приложено несколько сосредоточенных сил N_1, N_2, \dots, N_n (рис. 12), то величины вертикальных сжимающих напряжений в любой точке массива грунта можно определить суммированием напряжений от действия каждой силы в отдельности с использованием зависимости

$$\sigma_{zi} = \frac{1}{z_i^2} \sum_{i=1}^n k_i \cdot N_i, \quad (21)$$

где k_i – коэффициент, являющийся функцией отношения r_i/z_i ; r_i – расстояние по горизонтальной оси от рассматриваемой точки до оси, проходящей через точку приложения сосредоточенной силы N_i ; z_i – глубина рассматриваемой точки от плоскости приложения сосредоточенной силы N_i .

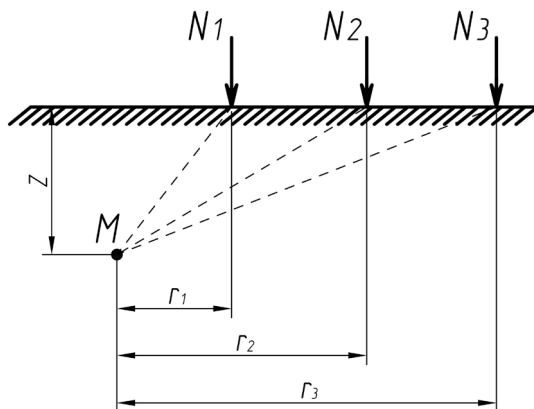


Рис. 12. Схема к определению напряжений от действия нескольких сил

Значения коэффициента k приведены в табл. Б.9 прил. Б.

При построении расчетной схемы и эпюр напряжений следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 50 кПа в 1 см.

Пример выполнения задания

Исходные данные

Номер варианта	N_1 , кН	N_2 , кН	N_3 , кН	r_1 , м	r_2 , м	Z , м
	1200	500	1700	1,0	3,0	3,0

Решение. Напряжения в заданных точках определяем по формуле

$$\sigma_{zi} = k_1 \frac{N_1}{z_i^2} + k_2 \frac{N_2}{z_i^2} + k_3 \frac{N_3}{z_i^2}, \text{ кПа.}$$

Вычисления рекомендуется вести в табличной форме (табл. 11).

Таблица 11

Расчет вертикальных сжимающих напряжений

Номер точки	z_i , м	$N_1 = 1200$ кН			$N_2 = 500$ кН			$N_3 = 1700$ кН			σ_{zi} , кПа
		r_1 , м	r_1/z_i	k_1	r_2 , м	r_2/z_i	k_2	r_3 , м	r_3/z_i	k_3	
По вертикали (сечение I-I)											
1	1,0	1,0	1,00	0,0844	0	0	0,4775	3,0	3	0,0015	342,6
2	2,0	1,0	0,50	0,2733	0	0	0,4775	3,0	1,5	0,0251	152,3
3	3,0	1,0	0,33	0,3687	0	0	0,4775	3,0	1	0,0844	91,6
4	4,0	1,0	0,25	0,4103	0	0	0,4775	3,0	0,75	0,1565	62,3
5	6,0	1,0	0,17	0,4446	0	0	0,4775	3,0	0,5	0,2733	34,4
По горизонтали (сечение II-II)											
7	3,0	0	0,00	0,4775	1	0,33	0,3687	4	1,33	0,0374	91,2
6	3,0	2	0,67	0,1889	3	1,00	0,0844	6	2,00	0,0085	31,5
3	3,0	1	0,33	0,3687	0	0,00	0,4775	3	1,00	0,0844	91,6
8	3,0	2	0,67	0,1889	1	0,33	0,3687	2	0,67	0,1889	81,4
9	3,0	4	1,33	0,0374	3	1,00	0,0844	0	0,00	0,4775	99,9

По полученным в соответствующих точках значениям напряжений строятся эпюры распределения напряжений по вертикали и горизонтали (рис. 13).

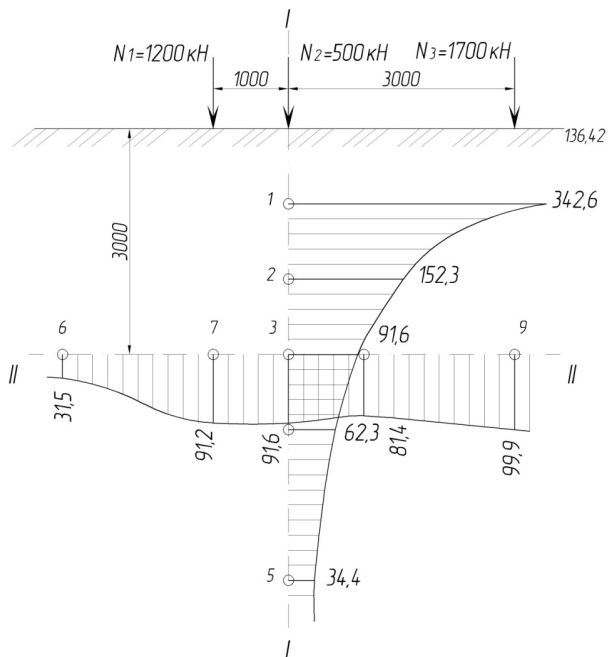


Рис. 13. Эпюры распределения напряжений

Методические рекомендации к выполнению задания 4

Распределение по глубине вертикальных составляющих напряжений σ_{zp} в любой точке массива грунта от действия равномерно распределенной нагрузки в пределах или за пределами плит нагружения может быть определено методом угловых точек.

Метод угловых точек применяется в случае, когда грузовая площадь может быть разбита на отдельные прямоугольники, в которых точка, соответствующая оси, становится угловой.

Для площадок под центром загрузки прямоугольника максимальное сжимающее напряжение определяется по формуле

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p, \quad (22)$$

где α – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площади загрузки $\eta = \frac{l}{b}$ (l – длинная сторона, b – короткая сторона независимо от направления сторон, $l > b$) и отношения $\xi = \frac{z}{b}$ (z – глубина, на которой определяется напряжение); p – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Для площадок под углом загруженного прямоугольника напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{zp} = \frac{1}{4} \alpha \cdot p, \quad (23)$$

где α – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площади загрузки $\eta = \frac{l}{b}$ (l – длинная сторона, b – короткая сторона независимо от направления сторон, $l > b$) и отношения $\xi = \frac{z}{b}$ (z – глубина, на которой определяется напряжение); p – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Значения коэффициента α приведены в табл. 5.8 СП 22.13330.2016 [8] или табл. Б.10 прил. Б.

По полученным значениям строится эпюра напряжений. Масштаб расстояний – 1:50, масштаб напряжений – 50 кПа в 1 см.

Пример выполнения задания

Исходные данные

Номер варианта	l_1 , м	b_1 , м	p_1 , кПа	l_2 , м	b_2 , м	p_2 , кПа
	2,3	2,3	250	3,1	2,4	350

Решение. Расчетная схема представлена на рис. 14.

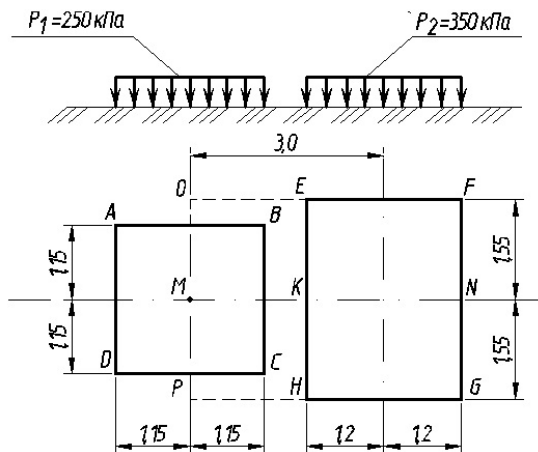


Рис. 14. Расчетная схема к заданию 4

Расчет напряжений и построение эпюры

Плиты разбивают на прямоугольники таким образом, чтобы они имели общую угловую точку M .

Вводятся размеры соответствующих получившихся прямоугольников.

Прямоуг. 1 (ABCD)	Прямоуг. 2 (MOFN)	Прямоуг. 3 (MNGP)	Прямоуг. 4 (MOEK)	Прямоуг. 5 (MKHP)
$l_1 = 2,3$ м	$l_2 = 4,2$ м	$l_3 = 4,2$ м	$l_4 = 1,8$ м	$l_5 = 1,8$ м
$b_1 = 2,3$ м	$b_2 = 1,55$ м	$b_3 = 1,55$ м	$b_4 = 1,55$ м	$b_5 = 1,55$ м
$p_1 = 250$ кПа	$p_2 = 350$ кПа	$p_2 = 350$ кПа	$p_2 = 350$ кПа	$p_2 = 350$ кПа

Искомые напряжения в точке M от действия нагрузки по прямоугольникам 1, 2 и 3, взятые со знаком «+», прямоугольникам 4 и 5 — со знаком «-», определяются по формуле

$$\sigma_{zp,M} = \alpha_1 \cdot p_1 + \frac{1}{4}(\alpha_2 + \alpha_3 - \alpha_4 - \alpha_5) \cdot p_2.$$

Вычисления рекомендуется вести в табличной форме.

Напряжения в точке 1 (на глубине 1 м)

Номер прямоуг.	z_i , м	l_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{l_i}{b}$	ξ	α_i	σ_{zp}
1(+)	1,0	2,3	2,3	250	1,0	0,87	0,7661	191,53
2(+)		4,2	1,55	350	2,71	0,65	0,914	79,975
3(+)		4,2	1,55	350	2,71	0,65	0,914	79,975
4(-)		1,8	1,55	350	1,16	0,65	0,874	76,475
5(-)		1,8	1,55	350	1,16	0,65	0,874	76,475
$\sigma_{zp,M}^1 = 191,53 + 79,975 + 79,975 - 76,475 - 76,475 = 198,53$								

Напряжения в точке 2 (на глубине 2 м)

Номер прямоуг.	z_i , м	l_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{l_i}{b}$	ξ	α_i	σ_{zp}
1(+)	2,0	2,3	2,3	250	1,0	1,74	0,4095	102,38
2(+)		4,2	1,55	350	2,71	1,29	0,715	62,563
3(+)		4,2	1,55	350	2,71	1,29	0,715	62,563
4(-)		1,8	1,55	350	1,16	1,29	0,601	52,588
5(-)		1,8	1,55	350	1,16	1,29	0,601	52,588
$\sigma_{zp,M}^1 = 102,38 + 62,563 + 62,563 - 52,588 - 52,588 = 122,33$								

Напряжения в точке 3 (на глубине 3 м)

Номер прямоуг.	z_i , м	l_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{l_i}{b}$	ξ	α_i	σ_{zp}
1(+)	3,0	2,3	2,3	250	1,0	2,61	0,2276	56,9
2(+)		4,2	1,55	350	2,71	1,94	0,531	46,463
3(+)		4,2	1,55	350	2,71	1,94	0,531	46,463
4(-)		1,8	1,55	350	1,16	1,94	0,384	33,6
5(-)		1,8	1,55	350	1,16	1,94	0,384	33,6
$\sigma_{zp,M}^1 = 56,9 + 46,463 + 46,463 - 33,6 - 33,6 = 82,626$								

Напряжения в точке 4 (на глубине 4 м)

Номер прямоуг.	z_i , м	l_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{l_i}{b}$	ξ	α_i	σ_{zp}
1(+)	4,0	2,3	2,3	250	1,0	3,48	0,1397	34,925
2(+)		4,2	1,55	350	2,71	2,58	0,4	35,0
3(+)		4,2	1,55	350	2,71	2,58	0,4	35,0
4(-)		1,8	1,55	350	1,16	2,58	0,257	22,488
5(-)		1,8	1,55	350	1,16	2,58	0,257	22,488
$\sigma_{zp,M}^1 = 34,925 + 35,0 + 35,0 - 22,488 - 22,488 = 59,949$								

Напряжения в точке 5 (на глубине 5 м)

Номер прямоуг.	z_i , м	l_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{l_i}{b}$	ξ	α_i	σ_{zp}
1(+)	5,0	2,3	2,3	250	1,0	4,35	0,0931	23,275
2(+)		4,2	1,55	350	2,71	3,23	0,305	26,688
3(+)		4,2	1,55	350	2,71	3,23	0,305	26,688
4(-)		1,8	1,55	350	1,16	3,23	0,178	15,575
5(-)		1,8	1,55	350	1,16	3,23	0,178	15,575
$\sigma_{zp,M}^1 = 23,275 + 26,688 + 26,688 - 15,575 - 15,575 = 45,501$								

Напряжения в точке 6 (на глубине 6 м)

Номер прямоуг.	z_i , м	l_i , м	b_i , м	p_i , кПа	$\frac{l_i}{b}$	ξ	α_i	σ_{zp}
1(+)	6,0	2,3	2,3	250	1,0	5,22	0,0666	16,65
2(+)		4,2	1,55	350	2,71	3,87	0,239	20,913
3(+)		4,2	1,55	350	2,71	3,87	0,239	20,913
4(-)		1,8	1,55	350	1,16	3,87	0,131	11,463
5(-)		1,8	1,55	350	1,16	3,87	0,131	11,463
$\sigma_{zp,M}^1 = 16,65 + 20,913 + 20,913 - 11,463 - 11,463 = 35,55$								

Эпюра напряжений строится по полученным значениям, как показано на рис. 15. Масштаб расстояний – 1:50, масштаб напряжений – 50 кПа в 1 см.

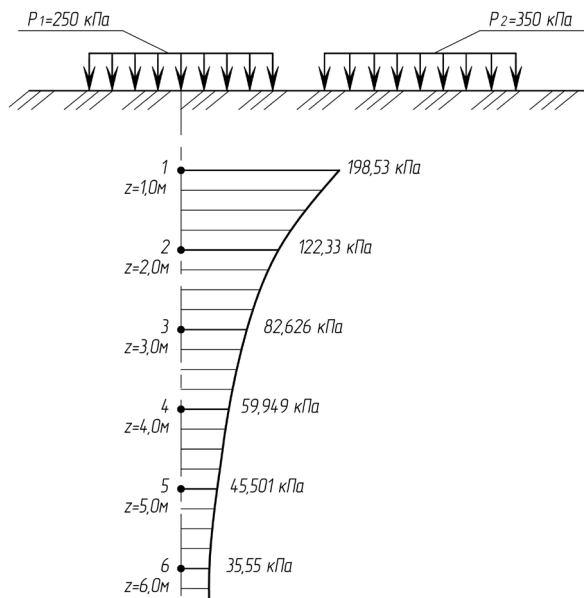


Рис. 15. Эпюра распределения вертикальных напряжений σ_{zp}

Методические рекомендации к выполнению задания 5

Необходимо проверить устойчивость откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Данная задача имеет широкое практическое применение, так как часто необходимо ответить на вопрос о том, не обрушится ли откос под действием собственного веса грунта, а также при размещении на нем здания, транспортного средства или строительной машины (подъемного крана, трубоукладчика и т. п.).

Решение указанной задачи возможно различными методами. Достаточно широкое распространение получил метод, основанный на допущении круглоцилиндрических поверхностей скольжения, которые образуются в момент потери устойчивости откоса.

Практика свидетельствует о том, что сдвиг массива грунта, потерявшего устойчивость, происходит по поверхности, близкой к круглоцилиндрической с центром C (см. рис. 3).

В процессе расчета выявляется такое положение центра вращения, которое соответствует минимальному значению коэффициента запаса устойчивости k_{st} .

Устойчивость откоса или склона будет обеспечена, если $k_{st} \geq k_{st}^H$, где $k_{st}^H = 1,1 \dots 1,3$ – нормативный коэффициент устойчивости.

Коэффициент запаса устойчивости определяется как отношение суммы моментов всех сил, удерживающих грунт от смещения относительно центра вращения $M_{уд}$, к сумме моментов всех сил, сдвигающих грунт относительно того же центра $M_{сдв}$.

Удерживающие и сдвигающие силы показаны на схеме, представленной на рис. 16.

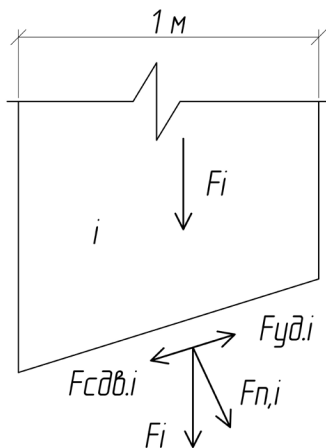


Рис. 16. Схема сил, действующих на поверхности сдвига в пределах i -го участка

Сила F_i равна сумме веса блока грунта в пределах i -го участка и нагрузки, приложенной к поверхности в пределах i -го участка. Толщина блока в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа, равна 1 м:

$$F_i = \gamma \cdot h_i + p_i, \quad (24)$$

Сдвигающая составляющая равна

$$F_{сдв,i} = F_i \cdot \sin \alpha_i. \quad (25)$$

Удерживающая составляющая обусловлена действием сил трения и сцепления и определяется по формуле

$$F_{уд,i} = F_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\cos \alpha_i}. \quad (26)$$

Так как плечо сил равно R , то коэффициент запаса устойчивости

$$k_{st} = \frac{\sum F_{уд,i}}{\sum F_{сдв,i}}. \quad (27)$$

Количество блоков n , на которые разделен массив грунта в зоне предполагаемого сдвига, определяется по формуле

$$n = xa - xc. \quad (28)$$

Координата xa точки пересечения поверхности сдвига с горизонтальной поверхностью грунтового массива может быть определена по формуле

$$xa = \sqrt{R^2 - zc^2}. \quad (29)$$

Радиус R определяется по формуле

$$R = \sqrt{xc^2 + (zc + H)^2}. \quad (30)$$

Высота блока h_i вычисляется так:

$$h_i = \sqrt{R^2 - (xc + i - 0,5)^2} - zc. \quad (31)$$

Значения тригонометрических функций, используемых в расчетах, можно определить по формулам

$$\operatorname{tg}\alpha_i = \frac{xc + i - 0,5}{zc + h_i}; \quad (32)$$

$$\sin\alpha_i = \frac{\operatorname{tg}\alpha_i}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg}\alpha_i)^2}}; \quad (33)$$

$$\cos\alpha_i = \frac{1}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg}\alpha_i)^2}}. \quad (34)$$

Расчет рекомендуется вести в табличной форме.

Пример выполнения задания

Исходные данные

Номер варианта	zc , м	xc , м	a , м	b , м	H , м	c , кПа	φ , град	γ , кН/м ³	p , кПа
	2,0	3,0	2,0	2,0	6,0	10	30	20	100

Решение. Количество блоков n определяется по формуле

$$n = xa - xc = 5,31 = 5.$$

Радиус R определяется по формуле

$$R = \sqrt{xc^2 + (zc + H)^2} = \sqrt{3^2 + (2 + 6)^2} = 8,54 \text{ м.}$$

Координата xa точки пересечения поверхности сдвига с горизонтальной поверхностью грунтового массива может быть определена по формуле

$$xa = \sqrt{R^2 - zc^2} = \sqrt{8,54^2 - 2^2} = 8,31 \text{ м.}$$

Высота блока h_i вычисляется так:

$$h_1 = \sqrt{R^2 - (xc + 1 - 0,5)^2} - zc = \sqrt{8,54^2 - (3 + 1 - 0,5)^2} - 2 = 5,794 \text{ м;}$$

$$h_2 = \sqrt{8,54^2 - (3 + 2 - 0,5)^2} - 2 = 5,263 \text{ м;}$$

$$h_3 = \sqrt{8,54^2 - (3 + 3 - 0,5)^2} - 2 = 4,548 \text{ м;}$$

$$h_4 = \sqrt{8,54^2 - (3 + 4 - 0,5)^2} - 2 = 3,545 \text{ м;}$$

$$h_5 = \sqrt{8,54^2 - (3 + 5 - 0,5)^2} - 2 = 2,093 \text{ м;}$$

Значения тригонометрических функций:

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{xc + 1 - 0,5}{zc + h_1} = \frac{3 + 1 - 0,5}{2 + 5,79} = 0,449$$

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{3 + 2 - 0,5}{2 + 5,26} = 0,620$$

$$\operatorname{tg}\alpha_3 = \frac{3 + 3 - 0,5}{2 + 4,53} = 0,841$$

$$\operatorname{tg}\alpha_4 = \frac{3 + 4 - 0,5}{2 + 3,54} = 1,172$$

$$\operatorname{tg}\alpha_5 = \frac{3 + 5 - 0,5}{2 + 2,09} = 1,833$$

$$\sin\alpha_1 = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg}\alpha_1)^2}} = \frac{0,449}{\sqrt{1 + (0,449)^2}} = 0,410$$

$$\sin\alpha_2 = \frac{0,619}{\sqrt{1 + (0,619)^2}} = 0,527$$

$$\sin\alpha_3 = \frac{0,841}{\sqrt{1 + (0,841)^2}} = 0,644$$

$$\sin\alpha_4 = \frac{1,172}{\sqrt{1 + (1,172)^2}} = 0,761$$

$$\sin\alpha_5 = \frac{1,832}{\sqrt{1 + (1,832)^2}} = 0,878$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg}\alpha_1)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,449)^2}} = 0,912$$

$$\cos\alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,619)^2}} = 0,850$$

$$\cos\alpha_3 = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,841)^2}} = 0,765$$

$$\cos\alpha_4 = \frac{1}{\sqrt{1 + (1,172)^2}} = 0,649$$

$$\cos\alpha_5 = \frac{1}{\sqrt{1 + (1,832)^2}} = 0,479$$

Сила F_i равна сумме веса блока грунта в пределах i -го участка и нагрузки, приложенной к поверхности в пределах i -го участка:

$$F_1 = \gamma \cdot h_1 + p_1 = 20 \cdot 5,794 + 0 = 115,88 \text{ кПа}$$

$$F_2 = 20 \cdot 5,263 + 0 = 105,26 \text{ кПа}$$

$$F_3 = 20 \cdot 4,548 + 100 = 190,96 \text{ кПа}$$

$$F_4 = 20 \cdot 3,545 + 100 = 170,9 \text{ кПа}$$

$$F_5 = 20 \cdot 2,093 + 0 = 41,86 \text{ кПа}$$

Сдвигающая составляющая

$$F_{\text{сдв},1} = F_1 \cdot \sin\alpha_1 = 115,88 \cdot 0,410 = 47,51 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{сдв},2} = 105,26 \cdot 0,527 = 55,47 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{сдв},3} = 190,96 \cdot 0,644 = 122,98 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{сдв},4} = 170,9 \cdot 0,761 = 130,05 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{сдв},5} = 41,86 \cdot 0,878 = 36,75 \text{ кПа}$$

Удерживающая составляющая

$$F_{\text{уд},1} = F_1 \cdot \cos\alpha_1 \cdot \text{tg}\varphi + \frac{c}{\cos\alpha_1} = 115,88 \cdot 0,912 \cdot 0,577 + \frac{10}{0,912} = 71,94 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{уд},2} = 105,26 \cdot 0,85 \cdot 0,577 + \frac{10}{0,85} = 63,39 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{уд},3} = 190,96 \cdot 0,765 \cdot 0,577 + \frac{10}{0,765} = 97,36 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{уд},4} = 170,9 \cdot 0,649 \cdot 0,577 + \frac{10}{0,649} = 79,41 \text{ кПа}$$

$$F_{\text{уд},5} = 41,86 \cdot 0,479 \cdot 0,577 + \frac{10}{0,479} = 32,45 \text{ кПа}$$

Так как плечо сил равно R , то коэффициент запаса устойчивости

$$k_{st} = \frac{\sum F_{\text{уд},i}}{\sum F_{\text{сдв},i}} = \frac{344,55}{392,77} = 0,877.$$

Методические рекомендации к выполнению задания 6

Задача 6.1. Формула для определения активного давления грунта на вертикальную гладкую стенку может быть записана в следующем виде:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (35)$$

где z — расстояние точки от поверхности засыпки.

Максимальное активное давление грунта на вертикальную гладкую стенку при $z = H$

$$\sigma_{a(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right).$$

Эпюра активного давления имеет вид треугольника. Равнодействующая активного давления численно равна площади этой эпюры. При высоте стенки H равнодействующая может быть определена по формуле

$$E_a = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (36)$$

Точка приложения равнодействующей E_a находится в центре тяжести эпюры, т. е. на расстоянии $\frac{1}{3} H$ от ее подошвы.

Аналогично можно найти выражение для пассивного давления грунта.

При этом наибольшим будет горизонтальное напряжение, а не вертикальное, как в случае активного давления. Тогда ордината пассивного давления

$$\sigma_p = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (37)$$

а равнодействующая пассивного давления

$$E_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (38)$$

где h — заглубление подпорной стенки в грунт.

Задача 6.2. Распределенную нагрузку заменяют дополнительным слоем грунта высотой

$$h_q = \frac{q}{\gamma}, \quad (39)$$

где γ — удельный вес грунта; q — интенсивность нагрузки.

Тогда активное давление при $z = 0$

$$\sigma_{a(h_q)} = \gamma \cdot h_q \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (40)$$

Активное давление и его равнодействующая при $z = H$

$$\sigma_{a(h_q + H)} = \gamma \cdot (h_q + H) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (41)$$

$$E_a = \frac{\sigma_{a(h_q)} + \sigma_{a(h_q + H)}}{2} \cdot H. \quad (42)$$

Точка приложения равнодействующей активного давления находится на расстоянии z_0 от подошвы стенки:

$$z_0 = \frac{H}{3} \cdot \frac{H + 3h_q}{H + 2h_q}. \quad (43)$$

Задача 6.3. Действие сил сцепления заменяется всесторонним равномерным давлением связности:

$$p_c = \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi}. \quad (44)$$

Давление связности по вертикали к эквивалентному слою грунта

$$h' = \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi}. \quad (45)$$

В этом случае активное давление на уровне подошвы подпорной стенки можно определить так:

$$\begin{aligned} \sigma_{a(H+h')} &= \gamma \cdot \left(H + \frac{c}{\gamma \operatorname{tg}\varphi}\right) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi} = \\ &= \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \end{aligned} \quad (46)$$

Связный грунт может держать вертикальный откос высотой h_c , определяемой с учетом наличия трения по формуле

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}. \quad (47)$$

Таким образом, в пределах глубины h_c от поверхности засыпки связный грунт не оказывает давления на подпорную стенку.

Тогда равнодействующая активного давления

$$E_a = \frac{\sigma_{a(H+h') \cdot (H - h_c)}}{2}. \quad (48)$$

Равнодействующая пассивного давления в связных грунтах

$$E_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (49)$$

Пример выполнения задания

Задача 6.1

Исходные данные

Номер варианта	H , м	h , м	γ , кН/м ³	φ , град	c , кПа	q , кПа
	9,0	2,1	20,1	18	15	100

Решение. Активное давление грунта на подпорную стенку

$$\sigma_{a(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 20,1 \cdot 9 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{18}{2} \right) = 95,5 \text{ кПа.}$$

Равнодействующая активного давления

$$E_a = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \sigma_{a(H)} \cdot \frac{H}{2} = 95,5 \cdot 4,5 = 429,75 \text{ кПа.}$$

Пассивное давление грунта на подпорную стенку

$$\sigma_{p(h)} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = 20,1 \cdot 2,1 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{18}{2} \right) = 80,0 \text{ кПа.}$$

Равнодействующая пассивного давления

$$E_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \sigma_{p(h)} \cdot \frac{h}{2} = 80,0 \cdot 1,05 = 84 \text{ кПа.}$$

По вычисленным данным строится расчетная схема и эпюра напряжений, как показано на рис. 18.

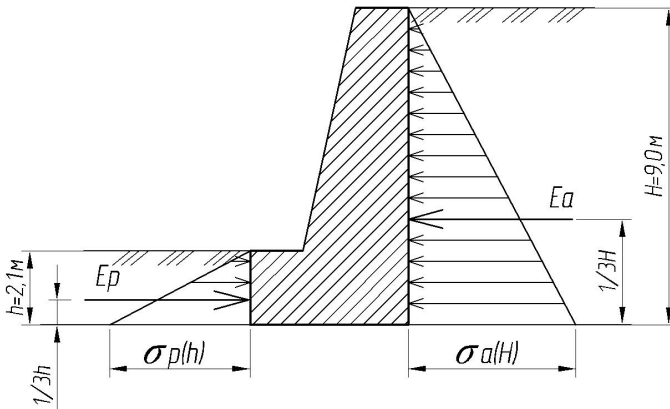


Рис. 18. Расчетная схема подпорной стенки

Задача 6.2

Исходные данные

Номер варианта	H , м	h , м	γ , кН/м ³	φ , град	c , кПа	q , кПа
	9,0	2,1	20,1	18	15	100

Решение. Дополнительный слой грунта имеет высоту

$$h_q = \frac{q}{\gamma} = \frac{100}{20,1} = 4,98 \text{ м.}$$

Тогда активное давление при $z = 0$

$$\sigma_{a(h_q)} = \gamma \cdot h_q \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 20,1 \cdot 4,98 \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{18}{2} \right) = 52,79 \text{ кПа.}$$

Активное давление и его равнодействующая при $z = H$

$$\begin{aligned} \sigma_{a(h_q + H)} &= \gamma \cdot (h_q + H) \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \\ &= 20,1 \cdot (4,98 + 9,0) \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{18}{2} \right) = 148,28 \text{ кПа;} \end{aligned}$$

$$E_a = \frac{\sigma_{a(h_q)} + \sigma_{a(h_q + H)}}{2} \cdot H = \frac{52,79 + 148,28}{2} \cdot 9 = 904,8 \text{ кПа.}$$

Точка приложения равнодействующей активного давления находится на расстоянии z_0 от подошвы стенки:

$$z_0 = \frac{H}{3} \cdot \frac{H + 3h_q}{H + 2h_q} = \frac{9}{3} \cdot \frac{9 + 3 \cdot 4,98}{9 + 2 \cdot 4,98} = 3,79 \text{ м.}$$

По полученным данным строится расчетная схема и эпюра напряжений, как показано на рис. 19.

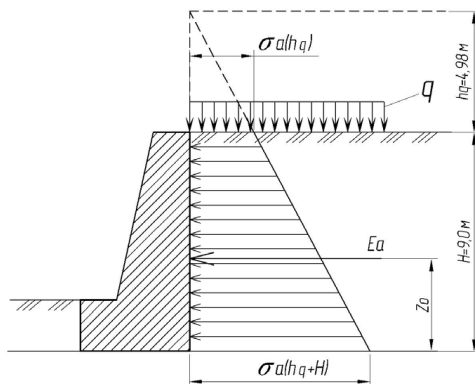


Рис. 19. Расчетная схема подпорной стенки

Задача 6.3

Исходные данные

Номер варианта	H , м	h , м	γ , кН/м ³	φ , град	c , кПа	q , кПа
	9,0	2,1	20,1	18	15	100

Решение. Действие сил сцепления заменяется всесторонним равномерным давлением связности:

$$p_c = \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{15}{0,325} = 46,2 \text{ кПа.}$$

Давление связности по вертикали к эквивалентному слою грунта

$$h' = \frac{c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi} = \frac{15}{20,1 \cdot 0,325} = 2,3 \text{ м.}$$

Активное давление на уровне подошвы подпорной стенки

$$\begin{aligned}\sigma_{a(H+h')} &= \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \\ &= 20,1 \cdot 9,0 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{18}{2}\right) - 2 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{18}{2}\right) = 73,7 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

Первое слагаемое в этой формуле характеризует давление сыпучего грунта без учета сцепления, а второе показывает, насколько снижается интенсивность давления, вследствие того что грунт обладает сцеплением.

Тогда

$$\sigma_{a(H+h')} = \sigma_{a\varphi} - \sigma_{ac},$$

где $\sigma_{a\varphi}$ — давление сыпучего грунта без учета сцепления,

$$\sigma_{a\varphi} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right);$$

σ_{ac} — уменьшение давления за счет связности,

$$\sigma_{ac} = 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right).$$

Высота вертикального откоса

$$h_c = \frac{2c}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} = \frac{2 \cdot 15}{20,1 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{18}{2}\right)} = 2,05 \text{ м.}$$

Равнодействующая активного давления

$$E_a = \frac{\sigma_{a(H+h')} \cdot (H - h_c)}{2} = \frac{73,7 \cdot (9,0 - 2,05)}{2} = 256 \text{ кПа.}$$

Пассивное давление на уровне подошвы подпорной стенки

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = \\ &= 20,1 \cdot 2,1 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{18}{2}\right) + 2 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{18}{2}\right) = 121,26 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

Равнодействующая пассивного давления

$$\begin{aligned}E_p &= \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{20,1 \cdot 2,1^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{18}{2}\right) + \\ &+ 2 \cdot 15 \cdot 2,1 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{18}{2}\right) = 170,67 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

По полученным данным строится расчетная схема и эпюра напряжений, как показано на рис. 20.

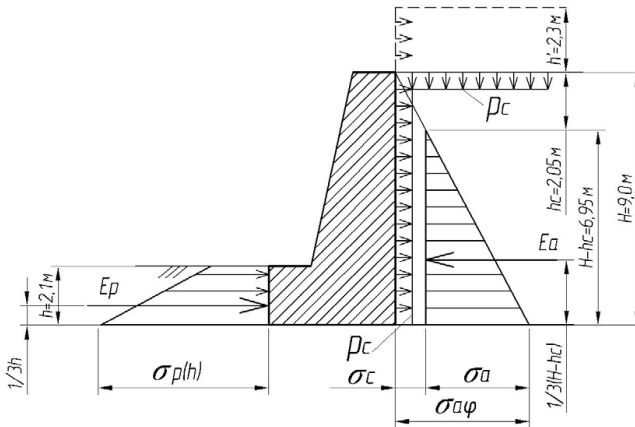


Рис. 20. Расчетная схема подпорной стенки

Методические рекомендации к выполнению задания 7

Определение осадки методом послойного суммирования

Осадка фундамента S с использованием расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства определяется методом послойного суммирования по формуле

$$S = \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\sigma'_{zp,i} \cdot h_i}{E_i}, \quad (50)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8; $\sigma'_{zp,i}$ – среднее значение дополнительного вертикального нормального напряжения в i -м слое грунта, равное полусумме указанных напряжений на верх-

ней и нижней границе слоя по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента,

$$\sigma'_{zp,i} = \frac{\sigma_{zp(i-1)} + \sigma_{zpi}}{2}; \quad (51)$$

h_i – толщина i -го слоя грунта; E_i – модуль обших деформаций грунта i -го слоя грунта; n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Значения вертикальных сжимающих напряжений от внешней нагрузки на глубине z от подошвы фундамента по вертикали, проходящей через центр подошвы, определяют по формуле

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p_0, \quad (52)$$

где α – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения сторон прямоугольной площади загрузки $\eta = \frac{l}{b}$ (l – длинная сторона, b – короткая сторона независимо от направления сторон, $l > b$) и отношения $\xi = \frac{2z}{b}$ (z – глубина, на которой определяется напряжение). Значения коэффициента α приведены в табл. 5.8 СП 22.13330.2016 [8] или табл. Б.10 прил. Б; p_0 – дополнительное вертикальное давление на основание,

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0}, \quad (53)$$

где p – интенсивность равномерно распределенной нагрузки; $\sigma_{zg,0}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы полосы нагружения,

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' \cdot d, \quad (54)$$

где γ' – удельный вес грунта, расположенного выше подошвы; d – глубина заложения фундамента.

Вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта на границе элементарного i -го слоя, расположенного на глубине z_i от подошвы фундамента, определяется по формуле

$$\sigma_{zg,i} = \gamma \cdot (d + z_i), \quad (55)$$

где z_i – глубина i -го слоя от подошвы фундамента.

Нижнюю границу сжимаемой толщи следует принять на уровне, где напряжения от собственного веса грунта превышают напряжения от дополнительной нагрузки в 5 раз, т. е. выполняется условие

$$\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}. \quad (56)$$

Величина элементарного слоя принимается не более $0,4b$.

Грунт делится на элементарные однородные слои. На границе каждого слоя определяются дополнительное и природное давление.

Определяется среднее давление в пределах элементарного слоя.

Проверяется условия границы сжимаемой зоны. Определяется осадка элементарного слоя и суммарная осадка.

Пример выполнения задания

Исходные данные

Номер варианта	b , м	l , м	p , кПа	γ , кН/м ³	d , м	E , МПа
	2,0	3,0	270,0	19,0	1,0	15,8

Решение. Определяем природное давление на уровне подошвы фундамента:

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' \cdot d = 19,0 \cdot 1 = 19,0 \text{ кПа.}$$

Определяем дополнительное вертикальное давление на основание:

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0} = 270 - 19 = 251,0 \text{ кПа.}$$

Величина элементарного слоя принимается не более $0,4b$:

$$h = 0,2b = 0,2 \cdot 2,0 = 0,4 \text{ м.}$$

Значения на уровне поверхности земли: $\sigma_{zg} = 0$; ордината вспомогательной эпюры $0,2\sigma_{zg} = 0$.

Значения на уровне подошвы фундамента (точка 0, $z = 0$):

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' \cdot d = 19,0 \cdot 1,0 = 19,0 \text{ кПа}$$

$$0,2\sigma_{zg,0} = 0,2 \cdot 19,0 \cdot 1,0 = 3,8 \text{ кПа}$$

$$\xi = \frac{2z_0}{b} = \frac{2,0 \cdot 0}{2,0} = 0; \eta = \frac{l}{b} = \frac{3,0}{2,0} = 1,5; \alpha_0 = 1,0$$

$$\sigma_{zp,0} = \alpha \cdot p_0 = 1,0 \cdot 251,0 = 251,0 \text{ кПа}$$

Значения в точке 1:

$$z_1 = 0,4 \text{ м}$$

$$\sigma_{zg,1} = \gamma \cdot (d + z_i) = 19,0 \cdot (1,0 + 0,4) = 26,6 \text{ кПа}$$

$$0,2\sigma_{zg,0} = 0,2 \cdot 26,6 = 5,32 \text{ кПа}$$

$$\xi = \frac{2z_1}{b} = \frac{2,0 \cdot 0,4}{2,0} = 0,4; \alpha_1 = 0,9728$$

$$\sigma_{zp,1} = \alpha_1 \cdot p_0 = 0,9728 \cdot 251,0 = 244,16 \text{ кПа}$$

$$\sigma'_{zp,1} = \frac{\sigma_{zp,0} + \sigma_{zp,1}}{2} = \frac{251,0 + 244,16}{2} = 247,58 \text{ кПа}$$

$$S_1 = \beta \cdot \frac{\sigma'_{zp,1} \cdot h_1}{E_1} = 0,8 \cdot \frac{247,58 \cdot 0,4}{15800} = 0,00501 \text{ м} = 0,501 \text{ см.}$$

Значения в точке 2:

$$z_2 = 0,8 \text{ м}$$

$$\sigma_{zg,1} = \gamma \cdot (d + z_i) = 19,0 \cdot (1,0 + 0,8) = 34,2 \text{ кПа}$$

$$0,2\sigma_{zg,0} = 0,2 \cdot 34,2 = 6,84 \text{ кПа}$$

$$\xi = \frac{2z_2}{b} = \frac{2 \cdot 0,8}{2,0} = 0,8; \alpha_2 = 0,8525$$

$$\sigma_{zp,2} = \alpha_2 \cdot p_0 = 0,8525 \cdot 251,0 = 213,98 \text{ кПа}$$

$$\sigma'_{zp,2} = \frac{\sigma_{zp,1} + \sigma_{zp,2}}{2} = \frac{244,16 + 213,98}{2} = 229,07 \text{ кПа}$$

$$S_2 = \beta \cdot \frac{\sigma'_{zp,2} \cdot h_2}{E_2} = 0,8 \cdot \frac{229,07 \cdot 0,4}{15800} = 0,00464 \text{ м} = 0,464 \text{ см.}$$

Расчет значений в остальных точках производится аналогичным образом.

В точке 14 напряжения от собственного веса грунта превышают напряжения от дополнительной нагрузки в 5 раз:

$$125,4 / 5 = 25,08 > 21,08.$$

Расчет осадки фундамента рекомендуется производить в табличной форме (табл. 13).

При построении расчетной схемы, показанной на рис. 21, следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб напряжений 50 кПа в 1 см.

Расчет осадки фундамента

№ эл. слоя	h_i , м	z_i , м	E_{r^i} кПа	γ_i , кН/м ³	σ_{zg,i^i} кПа	$0,2\sigma_{zg,i^i}$ кПа	$\xi = \frac{2z_i}{b}$	α_i	σ_{zp,i^i} кПа	σ'_{zp,i^i} кПа	S_i , см
0		0			19,0	3,8	0	1,0	251,0	0	0
1		0,4			26,6	5,32	0,4	0,9728	244,16	247,58	0,501
2		0,80			34,2	6,84	0,8	0,8525	213,98	229,07	0,464
3		1,20			41,8	8,36	1,2	0,6908	173,38	193,68	0,392
4		1,60			49,4	9,88	1,6	0,5435	136,42	154,90	0,314
5		2,00			57,0	11,4	2	0,4263	106,99	121,70	0,246
6		2,40			64,6	12,92	2,4	0,3373	84,65	95,82	0,194
7	0,4	2,80	15800	19	72,2	14,44	2,8	0,2710	68,02	76,34	0,155
8		3,20			79,8	15,96	3,2	0,2203	55,28	61,65	0,125
9		3,60			87,4	17,48	3,6	0,1820	45,68	50,48	0,102
10		4,00			95,0	19,0	4	0,1528	38,34	42,01	0,085
11		4,40			102,6	20,52	4,4	0,1298	32,57	35,45	0,072
12		4,80			110,2	22,04	4,8	0,1113	27,92	30,25	0,061
13		5,20			117,8	23,56	5,2	0,0965	24,22	26,07	0,053
14		5,60			125,4	25,08	5,6	0,0840	21,08	22,65	0,046
										ΣS_i	2,81

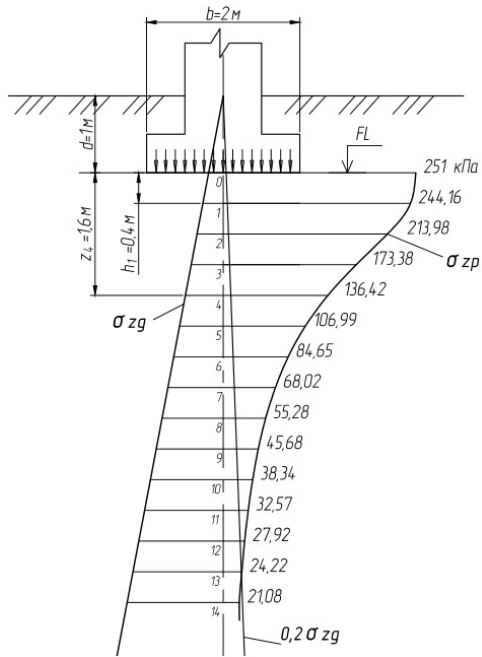


Рис. 21. Расчетная схема определения осадки методом послойного суммирования

Вопросы для самоконтроля

Раздел 1. Природа, физические свойства грунтов

1. Какие элементы входят в состав грунтов?
2. Как классифицируются твердые минеральные частицы грунтов?
3. Как влияет минералогический состав грунтов на их свойства?
4. Что такое удельная поверхность частиц грунта?
5. Как удельная поверхность влияет на поверхностную активность грунта?
6. Какую форму имеют минеральные частицы грунта?
7. Какие размеры имеют частицы песчаных и пылеватоглинистых грунтов?
8. Как форма и размеры минеральных частиц грунтов влияют на их свойства?
9. Чем обусловлено наличие пленок прочносвязанной адсорбированной воды в пылеватоглинистых грунтах?
10. Какие факторы обуславливают наличие в грунте капиллярной воды?
11. Под влиянием каких факторов происходит движение гравитационной воды в грунте?
12. Какие силы возникают при соприкосновении твердых минеральных частиц с водой?
13. Как можно представить схему электромолекулярного взаимодействия минеральной частицы с водой?
14. Каким образом газообразные включения влияют на свойства грунтов?
15. Будут ли оказывать влияние на сжимаемость грунта газы, которые содержатся в порах грунта, сообщающихся с атмосферой?
16. Какие основные виды структурных связей можно выделить в грунтах?
17. Чем водно-коллоидные связи в грунтах отличаются от кристаллизационных связей?
18. Как определяются плотность и удельный вес грунта?
19. Что такое удельный вес частиц грунта?
20. Как определяется весовая влажность грунта?
21. Как оценивается степень заполнения пор грунта водой?

22. Какие физические характеристики используются для определения наименования песчаного грунта?
23. Что такое гранулометрический состав грунта?
24. Какие физические характеристики используются при определении наименования пылеватого-глинистого грунта?
25. Что такое число пластичности грунта?
26. Как определяется показатель, характеризующий консистенцию пылеватого-глинистого грунта?
27. Как определяется относительная просадочность грунтов?

Раздел 2. Основные закономерности механики грунтов

1. Какие основные закономерности рассматриваются в курсе механики грунтов?
2. Чем вызывается сжимаемость грунтов?
3. Что такое компрессия?
4. Какие приборы применяются для определения характеристик сжимаемости в лабораторных условиях?
5. Как строится компрессионная кривая?
6. Как определяется коэффициент сжимаемости в процессе компрессионных испытаний грунтов?
7. Что необходимо знать для определения коэффициента относительной сжимаемости?
8. Что такое коэффициент бокового давления грунта?
9. Чем характеризуется водопроницаемость грунта?
10. В каком режиме происходит движение воды в грунте?
11. Что такое гидравлический градиент и действующий напор?
12. Как формулируется закон ламинарной фильтрации Дарси?
13. Чем обусловлен начальный градиент напора в пылеватых-глинистых грунтах?
14. Что такое грунтовая масса?
15. Какие давления в грунтовой массе являются эффективными?
16. Как формулируется закон Кулона для сыпучих грунтов?
17. Чем отличаются испытания грунтов на сдвиг по закрытой и по открытой схеме?
18. Как определяются характеристики прочности (угол внутреннего трения и удельное сцепление) в процессе консолидированно-дренированных испытаний пылеватых-глинистых грунтов?

19. Как записываются условия предельного равновесия для песчаных и пылеватоглинистых грунтов?
20. С какой целью проводятся испытания грунтов в приборах трехосного сжатия (стабилометрах)?
21. Какие применяются методы испытаний грунтов на сдвиг в полевых условиях?
22. Почему к грунтам при определенных условиях можно применить теорию линейно деформируемых тел?
23. При каких давлениях на грунт зависимость между деформацией и напряжениями можно считать линейной?
24. Как формулируется принцип линейной деформируемости?

Раздел 3. Определение напряжений в массивах грунтов

1. Какие зависимости используются для определения напряжений в грунтовой толще от действия сосредоточенной силы, приложенной перпендикулярно плоскости, ограничивающей линейно деформируемое полупространство?
2. Как изменяются напряжения с возрастанием глубины и по мере удаления от оси действия сосредоточенной нагрузки?
3. Как определяются напряжения от системы сил, приложенных перпендикулярно плоскости, ограничивающей полупространство?
4. Как определяются сжимающие напряжения по методу угловых точек при действии равномерно распределенной нагрузки на поверхности линейно деформируемого полупространства?
5. От каких параметров зависит коэффициент, на который умножается давление на грунт при определении сжимающих напряжений на площадках, перпендикулярных центральной и угловой оси?
6. Как влияет площадь загрузки на величину сжимающих напряжений?
7. В каких случаях применяется способ элементарного суммирования для определения сжимающих напряжений в грунтовой толще?
8. Как определяются нормальные и касательные напряжения в грунтовой толще в случае плоской задачи?
9. В каких областях основания наблюдаются наибольшие касательные напряжения от распределенной нагрузки?
10. Как определяются главные напряжения в грунтовой толще при действии полосообразной нагрузки?

11. Как изменяются контактные давления по подошве в зависимости от гибкости фундамента?
12. Каким образом распределяются сжимающие напряжения в слое грунта ограниченной мощности?
13. Как распределяются напряжения от собственного веса грунта?
14. Каким образом влияет наличие подземных вод на характер эпюры напряжений от собственного веса грунта?
15. Какие особенности имеет эпюра напряжений от собственного веса грунта при наличии слоя водонепроницаемого грунта?

Раздел 4. Прочность, устойчивость грунтовых массивов и давление на ограждение

1. Какое состояние грунта соответствует предельному напряженному состоянию?
2. В чем заключается отличие механических процессов, возникающих в грунтах при действии местной нагрузки и сплошной равномерно распределенной нагрузки?
3. Какие участки можно наблюдать на кривой зависимости осадки фундамента от нагрузки?
4. Какому моменту соответствует граница между линейным и нелинейным участками на графике зависимости осадки фундамента от нагрузки?
5. Когда образуется уплотненное ядро под подошвой фундамента?
6. Чем обусловлена структурная прочность грунта?
7. Какие фазы напряженного состояния грунтового основания можно выделить при приложении местной нагрузки?
8. Что характерно для фазы уплотнения?
9. Чем характеризуется конец фазы уплотнения?
10. Какая нагрузка называется начальной критической?
11. Какая нагрузка соответствует концу фазы сдвига?
12. Как записываются условия предельного равновесия для сыпучих и связных грунтов?
13. Как определяется начальная критическая нагрузка на грунт для условий плоской задачи?
14. Как записывается формула Пузыревского?
15. Что такое расчетное сопротивление грунта?

16. Чем отличаются расчетное сопротивление грунта и начальная критическая нагрузка?
17. Что можно определить, используя формулу Прандтля?
18. Чем определяется устойчивость откосов?
19. Какие характеристики грунтов являются прочностными?
20. Как используется метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения для проверки устойчивости склонов?
21. Чему равен предельный угол откоса сыпучих грунтов?
22. Какой высоты может быть вертикальный откос для идеально связного грунта?

Раздел 5. Деформации грунтов и расчет осадок фундаментов

1. Какие факторы определяют долговечность сооружений?
2. Как влияет разность осадок отдельных частей зданий и сооружений на распределение усилий в их конструкциях?
3. Какие физические причины обуславливают деформации грунтов?
4. Чем принципиально отличаются упругие и остаточные деформации грунтов?
5. Вследствие чего в грунтах проявляются деформации уплотнения и набухания?
6. Как протекают в грунтах реологические процессы?
7. Какие методы применяются для определения упругих деформаций грунтов?
8. Чем метод общих упругих деформаций отличается от метода местных упругих деформаций?
9. Можно ли применять метод общих упругих деформаций для определения общих деформаций линейно деформируемого полупространства?
10. Чему равен коэффициент относительной поперечной деформации для различных грунтов?
11. Как связаны между собой модуль общих деформаций грунта и коэффициент относительной сжимаемости грунта?
12. К каким грунтам применима модель местных упругих деформаций?
13. Что такое коэффициент постели и как он определяется?

14. Какие предпосылки положены в основу метода послойного элементарного суммирования?
15. Как определяется осадка методом послойного элементарного суммирования?
16. Как можно определить осадку слоя грунта при сплошной нагрузке?
17. Как изменяются осадки во времени?
18. На каких предпосылках строится теория фильтрационной консолидации грунтов?
19. Как определяется коэффициент консолидации грунта?
20. Что такое эквивалентный слой грунта?
21. Что положено в основу вывода основной зависимости метода эквивалентного слоя?
22. Как метод угловых точек реализуется в рамках метода эквивалентного слоя?
23. Каким образом прогнозируется изменение осадок во времени в рамках использования метода эквивалентного слоя?

Библиографический список

1. Абуханов, А.З. Механика грунтов : учеб. пособие / А.З. Абуханов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 336 с. — URL: <http://znanium.com/catalog/product/938941> (дата обращения: 01.09.2018).
2. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии) [Электронный ресурс] : учебник / Б.И. Далматов. — СПб. : Лань, 2017. — 416 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/90861> (дата обращения: 01.09.2018).
3. Ким, М.С. Основы механики грунтов [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и 08.03.01 «Строительство» / М.С. Ким, В.Х. Ким. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 142 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/72928.html> (дата обращения: 01.09.2018).
4. ГОСТ 12248—2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Методы контроля : утв. приказом № 46-ст от 19.04.2011. — М. : Стандартиформ, 2012. — 82 с.
5. ГОСТ 12536—2014. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Методы контроля : утв. приказом № 2022-ст от 12.12.2014. — М. : Стандартиформ, 2015. — 24 с.
6. ГОСТ 25100—2011. Грунты. Классификация. Методы контроля : утв. приказом № 190-ст от 12.07.2012. — М. : Стандартиформ, 2013. — 38 с.
7. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ. — URL: https://www.tltsu.ru/upravlenie/educational-methodical-management/regulatory-documents-of-educational-process/16_Порядок%20обеспечения%20самостоятельности%20выполнения%20письменных%20работ%20в%20ТГУ.pdf (дата обращения: 01.09.2018).
8. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Методы контроля : утв. приказом № 970/пр от 16.12.2016. Минстрой России. — М. : НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2016. — 220 с.

Глоссарий

Глинистый грунт — связный грунт, состоящий в основном из пылеватых и глинистых (не менее 3 %) частиц, обладающий свойством пластичности ($I_p \geq 1 \%$) [6].

Грунт — любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и как часть геологической среды и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека [6].

Дисперсный грунт — грунт, состоящий из совокупности твердых частиц, зерен, обломков и др. элементов, между которыми есть физические, физико-химические или механические структурные связи [6].

Закон Дарси — зависимость скорости фильтрации в водонасыщенном грунте от гидравлического градиента.

Закон Кулона — зависимость предельного сопротивления сдвигу от нормального напряжения.

Напряжение — внутреннее усилие, возникающее в грунте при его нагрузке.

Несвязный грунт — дисперсный грунт, обладающий механическими структурными связями и сыпучестью в сухом состоянии [6].

Осадки — вертикальные составляющие деформаций основания, происходящих в результате внешних воздействий и в отдельных случаях от собственного веса грунта, не сопровождающихся изменением его структуры [6].

Откос — это искусственная поверхность, ограничивающая природный грунтовый массив, выемку или насыпь и имеющая выдержанный угол наклона к горизонту.

Песчаный грунт (песок) — несвязный минеральный грунт с массой частиц размером 0,05–2 мм более 50 % и числом пластичности $I_p < 1 \%$ [6].

Плотность грунта — отношение массы грунта вместе с водой в порах к занимаемому этим грунтом объему вместе с порами [3].

Плотность сухого грунта — отношение массы грунта, за вычетом массы воды и льда в порах, к его объему (масса твердых частиц грунта в единице объема).

Связный грунт — дисперсный грунт с физическими и физико-химическими структурными связями.

Стенка подпорная — сооружение, удерживающее грунт в откосе от обрушения.

Угол внутреннего трения — показатель прочности грунта. Для идеально сыпучего грунта численно равен углу естественного откоса. Для связного грунта представляет собой угол наклона к оси нормальных напряжений графика зависимости предельного сопротивления сдвигу от нормального напряжения [3].

Угол естественного откоса — максимальный угол между поверхностью насыпи или отвала и горизонтальной плоскостью, при котором сохраняется состояние равновесия.

Фильтрация — движение воды в порах грунта.

Основание — область грунта, воспринимающая давление от сооружения.

Эквивалентный слой грунта — слой, осадка которого при сплошной нагрузке в точности равна осадке фундамента на мощном массиве грунта (полупространстве).

Форма титульного листа

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт
Центр архитектурных, конструктивных решений
и организации строительства

08.03.01 Строительство
профиль «Промышленное и гражданское строительство»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА
по дисциплине (учебному курсу)
«Механика грунтов»

Номер варианта _____

Студент _____
(И. О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель _____
(И. О. Фамилия) (личная подпись)

Оценка: _____

Дата: _____

Тольятти 20__

Справочные таблицы

Таблица Б.1

Разновидности крупнообломочных и песчаных грунтов по гранулометрическому составу [6]

Грунты	Размер частиц, d , мм	Масса частиц, % от массы воздушно-сухого грунта
<i>Крупнообломочные:</i>		
валунный (глыбовый)	$d > 200$	> 50
галечниковый (щебенистый)	$d > 10$	> 50
гравийный (дресвяный)	$d > 2$	> 50
<i>Песок:</i>		
гравелистый	$d > 2$	> 25
крупный	$d > 0,5$	> 50
средней крупности	$d > 0,25$	> 50
мелкий	$d > 0,1$	≥ 75
пылеватый	$d > 0,1$	< 75

Таблица Б.2

Плотность сложения песчаных грунтов [6]

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д. e .		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

Таблица Б.3

Разновидности крупнообломочных грунтов и песков
по коэффициенту водонасыщения S_r [6]

Разновидность крупнообломочных грунтов и песков	Коэффициент водонасыщения S_r , д. е.
Малой степени водонасыщения (маловлажные)	$0 < S_r \leq 0,5$
Средней степени водонасыщения (влажные)	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Водонасыщенные	$0,8 < S_r \leq 1,0$

Таблица Б.4

Расчетные сопротивления R_0 песчаных грунтов [8]

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

Таблица Б.5

Виды глинистых грунтов [6]

Вид грунта	Число пластичности I_p
Супесь	$0,01 \leq I_p < 0,07$
Суглинок	$0,07 \leq I_p < 0,17$
Глина	$I_p \geq 0,17$

Таблица Б.6

Консистенция глинистых грунтов
по показателю текучести [6]

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести, I_L , д. е.
<i>Супеси:</i>	
Твердые	$I_L < 0$
Пластичные	$0 \leq I_L \leq 1,0$
Текучие	$I_L > 1,0$
<i>Суглинки и глины:</i>	
Твердые	$I_L < 0$, т. е. когда $W < W_p$
Полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
Тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,5$
Мягкопластичные	$0,5 < I_L \leq 0,75$
Текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,0$
Текучие	$I_L > 1,0$

Таблица Б.7

Расчетные сопротивления R_0 глинистых
(непросадочных) грунтов [8]

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

Таблица Б.8

Разновидности дисперсных грунтов
по деформируемости [6]

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

Таблица Б.9

Значения коэффициента k для вычисления сжимающих напряжений от действия сосредоточенной силы в зависимости от отношения r/z

r/z	k	r/z	k	r/z	k	r/z	k
0	0,4775	0,5	0,2733	1	0,0844	1,5	0,0251
0,01	0,4773	0,51	0,2679	1,01	0,0823	1,51	0,0245
0,02	0,477	0,52	0,2625	1,02	0,0803	1,52	0,024
0,03	0,4764	0,53	0,2571	1,03	0,0783	1,53	0,0234
0,04	0,4756	0,54	0,2518	1,04	0,0764	1,54	0,0229
0,05	0,4745	0,55	0,2466	1,05	0,0744	1,55	0,0224
0,06	0,4732	0,56	0,2414	1,06	0,0727	1,56	0,0219
0,07	0,4717	0,57	0,2363	1,07	0,0709	1,57	0,0214
0,08	0,4699	0,58	0,2313	1,08	0,0691	1,58	0,0209
0,09	0,4679	0,59	0,2263	1,09	0,0674	1,59	0,0204
0,1	0,4657	0,6	0,2214	1,1	0,0658	1,6	0,02
0,11	0,4633	0,61	0,2165	1,11	0,0641	1,61	0,0195
0,12	0,4607	0,62	0,2117	1,12	0,0626	1,62	0,0191
0,13	0,4579	0,63	0,207	1,13	0,061	1,63	0,0187
0,14	0,4548	0,64	0,2024	1,14	0,0595	1,64	0,0183
0,15	0,4516	0,65	0,1978	1,15	0,0581	1,65	0,0179
0,16	0,4482	0,66	0,1934	1,16	0,0567	1,66	0,0175
0,17	0,4446	0,67	0,1889	1,17	0,0553	1,67	0,0171
0,18	0,4409	0,68	0,1846	1,18	0,0539	1,68	0,0167
0,19	0,437	0,69	0,1804	1,19	0,0526	1,69	0,0163
0,2	0,4329	0,7	0,1762	1,2	0,0513	1,7	0,016
0,21	0,4286	0,71	0,1721	1,21	0,0501	1,72	0,0153
0,22	0,4242	0,72	0,1681	1,22	0,0489	1,74	0,0147
0,23	0,4197	0,73	0,1641	1,23	0,0477	1,76	0,0141
0,24	0,4151	0,74	0,1603	1,24	0,0466	1,78	0,0135
0,25	0,4103	0,75	0,1565	1,25	0,0454	1,8	0,0129
0,26	0,4054	0,76	0,1527	1,26	0,0443	1,82	0,0124
0,27	0,4004	0,77	0,1491	1,27	0,0433	1,84	0,0119
0,28	0,3954	0,78	0,1455	1,28	0,0422	1,86	0,0114
0,29	0,3902	0,79	0,142	1,29	0,0412	1,88	0,0109
0,3	0,3849	0,8	0,1386	1,3	0,0402	1,9	0,0105

Продолжение табл. Б.9

r/z	k	r/z	k	r/z	k	r/z	k
0,31	0,3796	0,81	0,1353	1,31	0,0393	1,92	0,0101
0,32	0,3742	0,82	0,132	1,32	0,0384	1,94	0,0097
0,33	0,3687	0,83	0,1288	1,33	0,0374	1,96	0,0093
0,34	0,3632	0,84	0,1257	1,34	0,0365	1,98	0,0089
0,35	0,3577	0,85	0,1226	1,35	0,0357	2	0,0085
0,36	0,3521	0,86	0,1196	1,36	0,0348	2,1	0,007
0,37	0,3465	0,87	0,1166	1,37	0,034	2,2	0,0058
0,38	0,3408	0,88	0,1138	1,38	0,0332	2,3	0,0048
0,39	0,3351	0,89	0,111	1,39	0,0324	2,4	0,004
0,4	0,3294	0,9	0,1083	1,4	0,0317	2,5	0,0034
0,41	0,3238	0,91	0,1057	1,41	0,0309	2,6	0,0029
0,42	0,3181	0,92	0,1031	1,42	0,0302	2,7	0,0024
0,43	0,3124	0,93	0,1005	1,43	0,0295	2,8	0,0021
0,44	0,3068	0,94	0,0981	1,44	0,0288	2,9	0,0017
0,45	0,3011	0,95	0,0956	1,45	0,0282	3	0,0015
0,46	0,2955	0,96	0,0933	1,46	0,0275	3,5	0,0007
0,47	0,2899	0,97	0,091	1,47	0,0269	4	0,0004
0,48	0,2843	0,98	0,0887	1,48	0,0263	4,5	0,0002
0,49	0,2788	0,99	0,0865	1,49	0,0257	5	0,0001

Значения коэффициента α [8]

ξ	Соотношение размеров подошвы прямоугольных фундаментов $\eta = \frac{l_i}{b}$					
	1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977
0,8	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881
1,2	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754
1,6	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639
2,0	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545
2,4	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470
2,8	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410
3,2	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360
3,6	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319
4,0	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285
4,4	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,255
4,8	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230
5,2	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208
5,6	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189
6,0	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173
6,4	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158
6,8	0,040	0,055	0,064	0,088	0,110	0,145
7,2	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133
7,6	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123
8,0	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113
8,4	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105
8,8	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098
9,2	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091
9,6	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085
10,0	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079
10,4	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074

ξ	Соотношение размеров подошвы прямоугольных фундаментов $\eta = \frac{l_i}{b}$					
	1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5
10,8	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069
11,2	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065
11,6	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061
12,0	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058

Примечание. Для промежуточных значений ξ и η коэффициенты α определяют интерполяцией.