

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. Ю. Михайлов

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по изучению дисциплины для студентов, обучающихся
в бакалавриате по направлению подготовки
08.03.01 Строительство

Калининград
2022

УДК 72 (076)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры строительства ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

Л. В. Узунова

Михайлов, А. Ю.

Основания и фундаменты зданий, сооружений: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 08.03.01 Строительство / А. Ю. Михайлов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 110 с.

Учебно-методическое пособие содержит рекомендации по изучению теоретического материала и подготовке к практическим занятиям при самостоятельной работе, использованию основных нормативных документов, справочной и иной литературы в области проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений. Дано описание видов текущего контроля, критерии оценок и условия допуска к текущей и промежуточной аттестации.

Рис. – 18, табл. – 38, список лит. – 13 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 26.04.2022 г., протокол № 3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	8
2 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ	10
3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	13
Тема 1. Основы проектирования оснований и фундаментов	13
Лекция 1.1. Основы проектирования оснований и фундаментов	13
Тема 2. Деформации и осадки фундаментов	22
Лекция 2.1. Деформации и осадки фундаментов	22
Тема 3. Морозное пучение грунтов	25
Лекция 3.1. Морозное пучение грунтов	25
Тема 4. Проектирования фундаментов на пучинистых грунтах	29
Лекция 4.1. Особенности проектирования фундаментов на пучинистых грунтах	29
Тема 5. Столбчатые фундаменты	31
Лекция 5.1. Проектирование фундаментов, возводимых в открытых котлованах	31
Лекция 5.2. Проектирование столбчатых фундаментов под колонны	34
Лекция 5.3. Расчет фундаментов по осадкам	45
Тема 6. Проектирование ленточных фундаментов	50
Лекция 6.1. Проектирование ленточных фундаментов при центрально приложенной нагрузке	50
Лекция 6.2. Проектирование ленточных фундаментов при внецентренно приложенной нагрузке	53
Тема 7. Расчет конструкций фундаментов	60
Лекция 7.1. Расчет конструкции фундаментов	60
Тема 8. Свайные фундаменты	68
Лекция 8.1. Проектирование свайных фундаментов	68
Тема 9. Фундаменты на вечномерзлых грунтах и рыхлых песках	75
Лекция 9.1. Фундаменты на вечномерзлых грунтах и рыхлых песках	75
Тема 10. Фундаментные плиты на упругом основании	79
Лекция 10.1. Проектирование фундаментных плит на упругом основании	79
Тема 11. Грунтовые откосы и подпорные стены	86
Лекция 11.1. Устойчивость грунтовых откосов и подпорных стен	86
Тема 12. Проектирование фундаментов в особых инженерно-геологических условиях	93
Лекция 12.1. Проектирование фундаментов в особых инженерно-геологических условиях	93
4. ВОПРОСЫ И ТИПЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЭКЗАМЕН	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
Приложение А. Варианты грунтовых условий с 1 по 30	100
Приложение Б. Нагрузки на фундамент	109
Приложение В. Варианты районов строительства	110
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	111

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основания и фундаменты зданий, сооружений» является дисциплиной профессионального модуля основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль программы «Промышленное и гражданское строительство».

Дисциплина опирается на профессиональные компетенции, знания, умения и навыки, полученные при изучении таких дисциплин как: «Инженерная геология», «Основы геотехники», «Строительные материалы», «Архитектура зданий и сооружений», «Железобетонные и каменные конструкции», «Металлические конструкции».

Дисциплина «Основания и фундаменты зданий, сооружений» является одной из базовых при изучении дисциплины «Обследование зданий и сооружений».

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся профессиональных компетенций, предусмотренных ФГОС ВО.

В результате освоения дисциплины каждый обучающийся должен:

знать: нормативные акты, нормативные технические документы, правила и нормы, относящиеся к сфере промышленного и гражданского строительства в части проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений; виды и конструкции фундаментов, область их применения;

уметь: проводить оценку устойчивости и деформируемости грунтового основания, котлованов, откосов и склонов; проектировать и рассчитывать различные типы фундаментов; проводить обследования фундаментов с целью их усиления;

владеть: навыками выбора нормативной документации, устанавливающей требования к зданиям (сооружениям) промышленного и гражданского назначения, для производства работ на выбранном объекте; составления проектной рабочей документации на устройство оснований и фундаментов.

Трудоемкость освоения дисциплины – 5 зачетных единиц, или 180 академических часов учебной работы студента.

При очной форме обучения дисциплина изучается в 7 семестре, контактная работа с преподавателем составляет 76 часов, из них: лекции – 30 час, практические – 30 час, работа в ЭИОС – 16 час, самостоятельная работа – 55 час, выполнение курсового проекта.

При заочной форме обучения дисциплина изучается в 9 семестре, контактная работа с преподавателем составляет 26 часов, из них: лекции – 8 час, практические – 14 час, работа в ЭИОС – 4 час, самостоятельная работа – 142 час, выполнение курсового проекта.

Текущая и промежуточная аттестация студентов

Для оценки результатов поэтапного освоения дисциплины (текущая аттестация) используются следующие оценочные средства:

- тестовые задания по отдельным темам (по очной форме обучения);
- устный опрос на практических занятиях (по очной форме обучения);
- проверка выполнения индивидуальных практических заданий (для всех форм обучения);
- задания по курсовому проекту (для всех форм обучения), выдаваемого на одном из первых практических занятий в семестре.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся:

- экзаменационные вопросы (для очной формы обучения), содержащие два теоретических вопроса и одно практическое задание;
- итоговый тест (для заочной формы обучения), состоящий из 50 вопросов.

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Тестовые задания текущего контроля используются для оценки освоения отдельных тем дисциплины студентами очной формы обучения. Тестирование проводится перед началом практических занятий по времени не более 10 минут. Тест оценивается в процентах на правильные ответы: менее 60 % – «неудовлетворительно», 61–70 % – «удовлетворительно», 71–90 % – «хорошо», свыше 91 % – «отлично».

Устный опрос проводится на практических занятиях (по очной форме обучения) с целью уточнения правильного понимания рассматриваемых вопросов, оценивается как «правильно» или «неправильно».

Проверка выполнения индивидуальных практических заданий (для всех форм обучения) осуществляется по критерию: «зачтено» или «не зачтено». Задание считается невыполненным, если в результатах расчетов допущены грубые ошибки, повлиявшие на общий результат, использованы устаревшие (не действующие) нормативные документы, неправильно составлена расчетная схема или рабочий чертеж (схема).

Проверка задания по курсовому проекту (для всех форм обучения) проводится в форме защиты. При защите курсового проекта студент кратко докладывает суть принятых решений и полученных результатов. После доклада он должен быть готовым ответить на вопросы, которые заранее ему не были известны, но могут возникнуть в ходе защиты. Оценивая курсовой проект, преподаватель учитывает обоснованность и оригинальность принятых решений, глубину и полноту проработки проектного материала, умение

использовать актуальную научно-техническую литературу, качество оформления, самостоятельность, ответы на вопросы.

Оценивание защиты курсового проекта осуществляется по четырехбалльной системе.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется в случае выполнения не своего задания, допущения грубых ошибок, повлиявших на результаты расчетов, использовании неактуальных нормативных документов, оформления графической и тестовых частей работы не по требованиям ЕСКД, неспособность доложить о принятых решениях.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется в случае допущения незначительных ошибок, в целом не повлиявших на результаты расчетов. При оформлении графической и тестовых частей курсового проекта допущены некоторые отступления от требований ЕСКД, при защите курсового проекта могут быть допущены незначительные неточности в ответах на вопросы.

Оценка *«хорошо»* выставляется в случае выполнения курсового проекта, полностью соответствующего критериям правильности полученных результатов расчетов принятых конструктивных решений, оформления по ЕСКД, грамотного изложения и ответов на вопросы, но при этом нет вариативного проектирования.

Оценка *«отлично»* выставляется при выполнении всех условий как при оценивании на «хорошо», но при этом используется вариативное проектирование и выполнен анализ принятого решения.

Экзамен (для очной формы обучения), проводится в конце семестра по расписанию в устной форме. Экзаменационный билет содержит три вопроса: два теоретических и один практический. Продолжительность экзамена не должна превышать более 3-х часов, из них время для ответа – не более 30 мин. Перечень вопросов, выносимых на экзамен, приведен в п. 3.

Оценка за экзамен осуществляется по четырехбалльной системе.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется в случае незнания ответов на поставленные вопросы либо даны ответы на совершенно другие вопросы, допущения грубых ошибок при выполнении практической части задания, повлиявших на результаты расчетов, использования неактуальных нормативных документов.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется в случае допущения незначительных ошибок или при неполном ответе на теоретические вопросы, затруднениях с ответами на уточняющие вопросы или при их неправильном освещении. При решении практической задачи допущены незначительные ошибки, в целом не повлиявшие на результат, либо при неполном ответе на вопросы по билету (два из трех).

Оценка «хорошо» выставляется в случае полного ответа на вопросы по билету, но при этом допущены неточности или неполные ответы на дополнительные (уточняющие) вопросы.

Оценка «отлично» выставляется при полном и уверенном ответе на теоретические вопросы по билету, решении задачи, а также ответах на дополнительные вопросы (1–2 вопроса) в пределах изучаемого курса.

Экзамен в виде итогового теста (для заочной формы обучения), состоящий из 50 вопросов, проводится в ЭИОС с произвольным чередованием вопросов, продолжительностью в 55 мин. Попыток – одна. Перечень вопросов, выносимых на тестирование, полностью соответствует тематике изучаемого курса дисциплины. Тест оценивается в процентах на правильные ответы: менее 60 % – «неудовлетворительно», 61–70 % – «удовлетворительно», 71–90 % – «хорошо», свыше 91 % – «отлично».

Условием допуска к экзамену (промежуточной аттестации) является:

– посещение лекционных и практических занятий согласно расписанию из расчета не менее 60 % учебного времени, пропуски по неуважительным причинам не допускаются (независимо от форм обучения);

– пропущенные темы подлежат отработке в дни проведения консультаций по расписанию в виде тестирования (для очной формы обучения) и тестирования в ЭИОС (для заочной формы обучения);

– получение «зачета» по всем выполненным индивидуальным практическим заданиям;

– успешная защита курсового проекта с оценкой не ниже «удовлетворительно».

При успешном выполнении программы изучения дисциплины и высоких индивидуальных показателях отдельные студенты могут быть освобождены от сдачи экзамена, решение принимается преподавателем(и), ведущим(и) дисциплину, а решение доводится до начала экзаменационной сессии.

Структура учебно-методического пособия представлена тематическим планом изучаемой дисциплины для каждой из форм обучения отдельно, содержащим: лекции; практические занятия; указания для самостоятельной работы студентов по изучению отдельных тем; перечень вопросов для обсуждения по каждой теме; перечень вопросов и типов задач, выносимых на экзамен (промежуточную аттестацию), список рекомендованной литературы.

Трудоемкость дисциплины (час)

Форма обучения	УЗ	Лек.	Лаб.	Пр.	РЭ	КА	СРС	Подготовка к аттестации
очная	-	30	-	30	16	6,8	55	42,2
заочная	2	6	-	14	4	5,6	142	6,4

Обозначения: УЗ – установочное занятие; Лек. – лекционные занятия; Лаб. – лабораторные занятия; Пр – практические занятия; РЭ – контактная работа с преподавателем в ЭИОС; КА – контактная работа, включающая консультации, инд. занятия, практики и аттестации; СРС – самостоятельная работа студентов

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа студентов – это планируемая работа, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, является одним из основных видов деятельности обучающихся.

Самостоятельная работа студентов включает в себя изучение лекционного материала и первоисточников, подготовку к практическим занятиям и сообщения, выступления на групповых занятиях, другие задания преподавателя, а также работу над курсовым проектом.

Целью самостоятельных занятий является более глубокое изучение студентами отдельных вопросов курса с использованием рекомендуемой дополнительной литературы и других информационных источников.

Задачами самостоятельной работы обучающихся являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умения использовать нормативную и справочную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, ответственности и организованности.

Основными формами внеаудиторной самостоятельной работы, используемыми при изучении дисциплины «Основания и фундаменты зданий, сооружений», являются:

1. Индивидуальные занятия (домашние занятия):

- изучение программного материала дисциплины (работа с учебником и конспектом лекций);
- изучение и конспектирование рекомендуемых источников;
- просмотр рекомендуемых обучающих видеофильмов и роликов по ссылкам в сети Internet;
- работа с электронными информационными ресурсами (ЭИОС КГТУ) и ресурсами Internet;
- выполнение тестовых заданий и решение задач;
- подготовка презентаций;
- работа с компьютерными программами;
- работа над курсовым проектом;
- получение консультаций по вопросам изучаемой дисциплины (очно, в дни консультаций по расписанию; в любой доступной форме в электронной

образовательной среде ЭИОС КГТУ; по видеоконференции и другими доступными способами).

- поиск (подбор) литературы (в том числе электронных источников информации) по заданной теме;

- подготовка к экзамену и другим формам контроля.

2. Групповая самостоятельная работа обучающихся:

- подготовка к занятиям, проводимым с использованием активных форм обучения;

- участие в интернет-конференциях.

Университет обеспечивает учебно-методическую и материально-техническую базу для организации самостоятельной работы студентов. Библиотека университета обеспечивает:

- учебный процесс необходимой литературой и информацией (комплектует библиотечный фонд учебной, методической, научной, периодической и справочной литературой в соответствии с учебными планами и программами, в том числе на электронных носителях);

- доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.

Учебные программы раскрывают рекомендуемый режим и характер различных видов учебной работы (в том числе самостоятельной работы над рекомендованной литературой).

Для подготовки к занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации обучающиеся могут воспользоваться электронной библиотекой Университета, где имеется возможность получить доступ к учебно-методическим материалам как этой библиотеки, так и иных электронных библиотечных систем. Также студенты могут взять на дом необходимую литературу на абонементе или воспользоваться читальным залом. Ответы на вопросы, выносимые для самостоятельного изучения (повторения), должны быть кратко законспектированы в тетради для лекций.

При подготовке к практическим занятиям студентам рекомендуется изучить лекционный материал, а также вопросы, выносимые для самостоятельного изучения. При выполнении практических заданий необходимо обратить внимание на использование актуальных нормативных документов, справочной и другой литературы, применяемой размерности в расчетах, установленного порядка проектирования, принятых расчетных схем и выводов. Выполненная практическая работа должна быть соответствующим образом оформлена в отдельной тетради для практических работ или на отдельных листах формата А4 в текстовом редакторе Word, с использованием графических программ и собранных в отдельную папку. Конкретные указания

к внеаудиторной самостоятельной работе приведены к каждой теме. В начале практического занятия может проводиться тестирование по изучаемой теме продолжительностью до 10 мин.

2 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Распределение учебных часов по видам занятий для студентов очной формы приведено в таблице 2.1, для студентов заочной формы обучения – в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Распределение часов по видам занятий для студентов очной формы обучения

№ п/п	Наименование тем, лекций и практических занятий	Распределение по времени (час)		
		Лек.	Пр.	СРС
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Основы проектирования оснований и фундаментов			
2	Л.1.1. Основы проектирования оснований и фундаментов	2	-	-
3	Пр.1.1. Определение физико-механических характеристик грунтов	-	2	3
4	Тема 2. Деформации и осадки фундаментов			
5	Л.2.1. Деформации и осадки фундаментов	2		1
6	Пр.2.1. Оценка инженерно-геологических условий ИГУ строительной площадки		2	3
7	Тема 3. Морозное пучение грунтов			
8	Л.3.1. Морозное пучение грунтов	2		1
9	Пр.3.1. Определение степени пучинистости грунтов		2	3
10	Тема 4. Проектирование фундаментов на пучинистых грунтах			
11	Л.4.1. Особенности проектирования фундаментов на пучинистых грунтах	2		1
12	Пр.4.1. Определение степени пучинистости грунтов строительной площадки		2	3
13	Тема 5. Столбчатые фундаменты			
14	Л.5.1. Проектирование фундаментов, возводимых в открытых котлованах	2		1
15	Пр.5.1. Определение глубины заложения фундаментов по ИГУ		2	3
16	Л.5.2. Проектирование столбчатых фундаментов под колонны	2		1
17	Пр. 5.2. Расчет столбчатых фундаментов аналитическим способом		2	3
18	Л.5.3. Расчет фундамента по осадкам	2		1
19	Пр.5.3. Расчет осадки столбчатого фундамента		2	3
20	Тема 6. Ленточные фундаменты			
21	Л.6.1. Проектирование ленточного фундамента при центрально приложенной нагрузке	2		1
22	Пр.6.1. Проектирование ленточного фундамента бесподвального здания		2	3

1	2	3	4	5
23	Л.6.2. Проектирование ленточного фундамента при внецентренно приложенной нагрузке	2		1
24	Пр.6.2. Проектирование ленточного фундамента здания с подвалом		2	3
25	Тема 7. Расчет конструкции фундамента			
26	Л.7.1. Расчет конструкции фундамента	2		1
27	Пр.7.1. Расчет фундамента по материалу		4	3
28	Тема 8. Свайные фундамента			
29	Л.8.1. Свайные фундамента	2		1
30	Пр.8.1. Проектирование свайного фундамента		2	3
31	Тема 9. Фундаменты на вечномерзлых грунтах			
32	Л.9.1. Фундаменты на вечномерзлых грунтах	2		1
33	Пр.9.2. Определение толщины песчаной подушки на слабых грунтах		2	3
34	Тема 10. Фундаментные плиты на упругом основании			
35	Л.10.1. Проектирование фундаментных плит	2		1
36	Пр.10.1. Определение усилий в фундаментной плите		2	3
37	Тема 11. Грунтовые откосы и подпорные стены			
38	Л.11.1. Устойчивость грунтовых откосов и подпорных стен	2		1
39	Пр.11.1. Проверка устойчивости грунтовых откосов и подпорных стен		2	3
40	Тема 12. Проектирование фундаментов в особых условиях			
41	Л.12.1. Проектирование фундаментов в особых условиях	2		-
	Итого	30	30	55

Примечание: Чтение лекции осуществляется традиционным способом с использованием технических средств обучения, учебная информация представлена на слайдах и размещена в ЭИОС КГТУ. В процессе занятия демонстрируются актуальные нормативные документы: ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация; СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений; материалы инженерно-геологических изысканий и другие материалы.

Таблица 2.2 – Распределение часов по видам занятий для студентов заочной формы обучения

№ п/п	Наименование тем, лекций и практических занятий	Распределение по времени (час)		
		Лек.	Пр.	СРС
1	2	3	4	5
1	Тема 1. Основы проектирования оснований и фундаментов			
2	Л.1.1. Основы проектирования оснований и фундаментов	-	-	6
3	Пр.1.1. Определение физико-механических характеристик грунтов	-	-	6
4	Тема 2. Деформации и осадки фундаментов			
5	Л.2.1. Деформации и осадки фундаментов	-		6
6	Пр.2.1. Оценка инженерно-геологических условий ИГУ строительной площадки		-	6

1	2	3	4	5
7	Тема 3. Морозное пучение грунтов			
8	Л.3.1. Морозное пучение грунтов	-		6
9	Пр.3.1. Определение степени пучинистости грунтов		-	6
10	Тема 4. Проектирование фундаментов на пучинистых грунтах			
11	Л.4.1. Особенности проектирования фундаментов на пучинистых грунтах	-		6
12	Пр.4.1. Определение степени пучинистости грунтов строительной площадки		-	6
13	Тема 5. Столбчатые фундаменты			
14	Л.5.1. Проектирование фундаментов, возводимых в открытых котлованах	1		6
15	Пр.5.1. Определение глубины заложения фундаментов по ИГУ		2	-
16	Л.5.2. Проектирование столбчатых фундаментов под колонны	1		6
17	Пр. 5.2. Расчет столбчатых фундаментов аналитическим способом		2	2
18	Л.5.3. Расчет фундамента по осадкам	1		6
19	Пр.5.3. Расчет осадки столбчатого фундамента		2	-
20	Тема 6. Ленточные фундаменты			
21	Л.6.1. Проектирование ленточного фундамента при центрально приложенной нагрузке	-		6
22	Пр.6.1. Проектирование ленточного фундамента бесподвального здания		-	6
23	Л.6.2. Проектирование ленточного фундамента при внецентренно приложенной нагрузке	1		6
24	Пр.6.2. Проектирование ленточного фундамента здания с подвалом		2	2
25	Тема 7. Расчет конструкции фундамента			
26	Л.7.1. Расчет конструкции фундамента	-		6
27	Пр.7.1. Расчет фундамента по материалу		-	6
28	Тема 8. Свайные фундаменты			
29	Л.8.1. Свайные фундаменты	1		6
30	Пр.8.1. Проектирование свайного фундамента		2	2
31	Тема 9. Фундаменты на вечномерзлых грунтах			
32	Л.9.1. Фундаменты на вечномерзлых грунтах	-		6
33	Пр.9.2. Определение толщины песчаной подушки на слабых грунтах		2	2
34	Тема 10. Фундаментные плиты на упругом основании			
35	Л.10.1. Проектирование фундаментных плит	1		6
36	Пр.10.1. Определение усилий в фундаментной плите		2	2
37	Тема 11. Грунтовые откосы и подпорные стены			
38	Л.11.1. Устойчивость грунтовых откосов и подпорных стен	-		6
39	Пр.11.1. Проверка устойчивости грунтовых откосов и подпорных стен		-	6
40	Тема 12. Проектирование фундаментов в особых условиях			
41	Л.12.1. Проектирование фундаментов в особых условиях	-		6
	Итого	2+6	14	142

3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Основы проектирования оснований и фундаментов

Лекция 1.1. Основы проектирования оснований и фундаментов

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Цель и задачи дисциплины. Факторы, определяющие надежность оснований и фундаментов. Требования к надежности фундаментов как системы $O + \Phi + K$.

Предельные состояния оснований зданий и сооружений. Нагрузки и воздействия, учитываемые при расчете оснований и фундаментов. Оценка инженерно-геологических и гидрологических условий площадки строительства.

Вопросы, выносимые для самостоятельного изучения (повторения)

1. Термины и определения
2. Деформационные и прочностные характеристики грунтов.
3. Методы определения механических характеристик грунтов (опытным путем, расчетами по известным формулам и по нормативным документам).

Вопросы, рекомендуемые для самостоятельного изучения (повторения), рассматривались в дисциплине «Основы геотехники» в 6 семестре и имеют важное значение при дальнейшем изучении дисциплины «Основания и фундаменты зданий, сооружений», выполнении практических заданий и курсового проектирования.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется просмотреть обучающие видеофильмы по определению физико-механических характеристик песчаных и глинистых грунтов по ссылкам в сети Internet. Ссылка отправляется преподавателем на групповую электронную почту.

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [1, с. 1–24; 3, Приложения А, Б, В; 10, с.13–26]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 1.1. Определение физико-механических характеристик грунтов

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие состоит из трех задач (определение наименования песчаного грунта по гранулометрическому составу и определение физико-механических характеристик глинистого грунта) и выполняется каждым студентом индивидуально по вариантам. Варианты заданий приведены ниже.

Цель практического занятия. Научиться определять наименование и типы грунтов, используемых в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений, их основные физико-механические, прочностные и

деформационные характеристики по расчетным формулам и нормативным документам.

В результате выполнения практических заданий студент должен:

- знать способы определения наименования грунтов по их некоторым физико-механическим характеристикам;
- уметь определять недостающие физико-механические, прочностные и деформационные характеристики грунтов.

Нормативные документы: [1, с.1–24; 3, Приложения А, Б, В].

Задание 1. Определить наименование песчаного грунта и его физико-механические свойства.

Исходные данные к заданию

Вариант	Гранулометрический состав в %, размер в мм						Физические характеристики		
	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–01	0,1–0,05	0,05–0,01	ρ_s , г/см ³	ρ , г/см ³	W , %
0	1,5	8,0	28,0	45,5	10,0	7,0	2,65	1,68	9,3
1	1,0	9,0	35,0	30,0	15,0	10,0	2,40	1,42	10,0
2	2,0	11,0	40,0	30,0	12,0	5,0	2,54	1,52	9,6
3	1,8	14,0	42,2	20,0	10,0	12,0	2,62	1,62	10,5
4	2,1	13,9	25,0	41,0	8,0	10,0	2,60	1,58	9,2
5	2,0	15,0	35,0	40,0	4,0	4,0	2,58	1,56	8,4
6	3,2	14,0	20,8	30,0	12,0	20,0	2,65	1,61	14,0
7	12,0	12,0	36,0	12,0	12,0	16,0	2,64	1,62	12,0
8	11,0	32,0	32,0	15,0	5,0	5,0	2,60	1,58	9,5
9	2,0	4,0	46,0	40,0	2,0	6,0	2,59	1,48	10,6
10	4,0	4,0	12,0	20,0	40,0	20,0	2,64	1,62	6,0
11	11,0	11,0	11,0	11,0	44,0	12,0	2,64	1,58	9,5
12	2,0	12,0	20,5	34,0	12,5	19,0	2,56	1,52	8,2
13	4,0	4,0	30,0	60,0	1,2	0,0	2,65	1,68	8,0
14	14,0	24,0	30,0	12,0	12,0	8,0	2,63	1,62	9,5
15	2,0	14,0	34,0	15,0	25,0	10,0	2,60	1,60	10,0
16	2,5	28,5	31,0	32,0	2,0	4,0	2,68	1,62	9,0
17	3,0	14,0	17,0	16,0	40,0	10,0	2,64	1,60	10,2
18	12,0	12,0	12,0	16,0	30,0	18,0	2,56	1,48	9,0
19	2,0	18,0	21,0	16,0	36,0	4,0	2,65	1,60	9,4
20	20,0	10,0	30,0	30,0	5,0	5,0	2,62	1,60	9,2
21	3,0	25,0	22,0	30,0	10,0	10,0	2,62	1,62	11,0
22	13,0	25,0	12,0	20,0	25,0	5,0	2,65	1,68	9,8
23	2,5	13,5	28,0	40,0	12,0	4,0	2,63	1,64	9,0
24	15,0	12,0	28,0	15,0	15,0	15,0	2,64	1,61	14,0
25	15,0	13,0	31,0	21,0	12,0	8,0	2,66	1,61	10,0
26	1,0	32,0	32,0	21,0	10,0	4,0	2,62	1,60	10,2
27	8,0	32,0	40,0	10,0	6,0	4,0	2,62	1,58	9,0
28	3,0	3,0	42,0	12,0	30,0	10,0	2,63	1,58	9,4
29	5,0	35,0	40,0	10,0	6,0	4,0	2,64	1,64	10,0
30	12,0	30,0	40,0	8,0	4,0	6,0	2,65	1,65	9,0

Наименование крупнообломочного и песчаного грунта определяют по гранулометрическому составу, последовательно суммируя содержание фракций, сначала крупнее 2 мм, затем крупнее 0,5 мм и т. д. Наименование грунта принимают по первому удовлетворяющему показателю их расположения в таблице 3.1

Пример решения (вариант 0):

1. частиц > 2 мм 1,5 %; частиц > 0,5 мм 1,5 + 8 = 9,5 %;
 частиц > 0,25 мм 9,5 + 28 = 37,5 %; частиц > 0,1 мм 37,5 + 45,5 = 83 %.

Так как частиц крупнее 0,1 мм – 83 %, что больше 75 % (таблица 3.1), то это будет мелкий песок.

Таблица 3.1 – Основные разновидности крупнообломочных и песчаных грунтов

Грунты	Размер частиц d, мм	Масса воздушно-сухого грунта, %
Крупнообломочные		
Валунный (глыбовый)	> 200	> 50
Галечный (щебенистый)	> 10	> 50
Гравийный (дресвяный)	> 2	> 50
Песчаные		
Песок гравелистый	> 2	> 25
Песок крупный	> 0,5	> 50
Песок средней крупности	> 0,25	> 50
Песок мелкий	> 0,1	> 75
Песок пылеватый	> 0,1	≤ 75

2. Далее определяем плотность сложения грунта по коэффициенту пористости и плотность сухого грунта (таблица 3.2):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01W} = \frac{1,68}{1 + 0,01 \cdot 9,3} = 1,54 \text{ г/см}^3;$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,65}{1,54} - 1 = 0,72.$$

Таблица 3.2 – Классификация песчаного грунта по плотности

Виды песков	Плотность сложения по коэффициенту пористости e		
	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	≤ 0,55	0,55 ≤ e ≤ 0,7	e > 0,7
Пески мелкие	≤ 0,6	0,6 ≤ e ≤ 0,75	e > 0,75
Пески пылеватые	≤ 0,6	0,6 ≤ e ≤ 0,8	e > 0,8

Таким образом, имеем – *песок мелкий средней плотности.*

3. Далее определим степень влажности грунта (плотность воды 1,0 г/см³):

$$S_r = \frac{0,01 \cdot W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} = \frac{0,01 \cdot 9,3 \cdot 2,65}{0,72 \cdot 1,0} = 0,34.$$

Следовательно, данный грунт – *песок мелкий средней плотности маловлажный* (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Степень влажности грунта

Состояние	Степень влажности
Маловлажные	0 – 0,5
Влажные	0,5 – 0,8
Насыщенные водой	> 0,8

4. Далее определяем прочностные и деформационные характеристики песчаного грунта (таблицы 3.4, 3.5).

Таблица 3.4 – Условное расчетное сопротивление R_0 песчаного грунта

Вид грунтов	R_0 кПа, в зависимости от плотности		
	плотные	средней плотности	
Пески крупные независимо от влажности	600	500	
Пески средние независимо от влажности	500	400	
Пески мелкие: маловлажные	400	300	
	водонасыщенные	250	
Пески пылеватые: маловлажные	300	250	
	влажные	250	150
	водонасыщенные	200	100

Таблица 3.5 – Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа, угла внутреннего трения φ_n , град и модуля деформации E_n , МПа

Наименование песчаных грунтов	Характеристики грунта	Значения характеристик грунта при коэффициенте пористости e			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c_n	2	1	-	-
	φ_n	43	40	38	35
	E_n	50	40	30	15
Средние	c_n	3	2	1	-
	φ_n	40	38	35	33
	E_n	45	35	25	13
Мелкие	c_n	6	4	2	-
	φ_n	38	36	32	28
	E_n	40	30	20	12
Пылеватые	c_n	8	6	4	2
	φ_n	36	34	30	26
	E_n	35	25	18	11

Тогда для *песка мелкого, средней плотности, маловлажного* при пористости $e = 0,72$:

$$R_0 = 300 \text{ кПа}; \quad c_n = 0,6 \text{ кПа}; \quad \varphi_n = 29,2 \text{ град}; \quad E_n = 14,4 \text{ МПа}.$$

Задание 2. Определить наименование глинистого грунта и его физико-механические свойства по следующим исходным данным:

Исходные данные к заданию

Вариант	ρ г/см ³	ρ_s г/см ³	W %	W_p %	W_L %
0	2,08	2,67	20,0	16,5	22,0
1	2,06	2,54	10,0	6,5	20,0
2	2,09	2,62	20,0	12,0	21,0
3	2,05	2,62	19,0	15,0	22,0
4	2,06	2,62	18,0	15,0	21,0
5	2,04	2,65	19,0	14,0	23,0
6	2,07	2,61	17,0	16,0	22,0
7	2,04	2,65	16,0	12,0	21,0
8	2,05	2,59	14,0	9,0	16,0
9	2,06	2,66	20,0	16,0	22,0
10	2,03	2,67	21,0	17,0	24,0
11	2,04	2,58	19,0	15,0	25,0
12	2,05	2,60	20,0	12,0	24,0
13	2,06	2,62	20,0	11,0	23,0
14	2,08	2,64	18,0	12,0	22,0
15	2,03	2,65	17,0	10,0	19,0
16	2,04	2,66	18,0	11,0	19,0
17	2,05	2,67	19,0	10,0	24,0
18	2,06	2,68	14,0	7,0	24,0
19	2,07	2,69	12,0	6,0	25,0
20	2,03	2,58	14,0	8,0	24,0
21	2,04	2,60	12,0	9,0	26,5
22	2,05	2,61	10,0	6,0	20,0
23	2,06	2,62	12,0	7,0	21,0
24	2,07	2,63	12,0	8,0	25,0
25	2,08	2,65	14,0	6,0	20,0
26	2,08	2,68	13,0	7,0	25,0
27	2,03	2,60	12,0	8,5	15,5
28	2,04	2,62	12,5	9,5	16,5
29	2,05	2,63	14,0	10,0	23,0
30	2,06	2,66	12,0	8,0	25,5

Пример решения (вариант 0)

1. Наименование глинистых грунтов определяется по показателю пластичности:

$$I_p = W_L - W_p = 22 - 16,5 = 5,5\%$$

Значения показателя пластичности (в %) приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Значения показателя пластичности I_p

Грунт	Число пластичности, %
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 \leq I_p \leq 17$
Глина	$I_p \geq 17$

2. По показателю текучести I_L определяют состояние глинистого грунта (таблица 3.7):

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{20 - 16,5}{22 - 16,5} = 0,64.$$

Таблица 3.7 – Значения показателя пластичности I_L

Грунт	Показатель текучести
Супесь: твердая	$I_L \leq 0$
пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
текучая	$I_L \geq 1$
Суглинок и глина: твердые	$I_L \leq 0$
полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 \leq I_L \leq 0,5$
мягкопластичные	$0,5 \leq I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 \leq I_L \leq 1$

Нормативные значения физико-механических характеристик для глинистых грунтов приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Физико-механические характеристики глинистых грунтов

Наименование глинистых грунтов	Показатель текучести I_L	Характеристики грунта	Характеристики грунта при коэффициенте пористости e						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_n	21	17	15	13	-	-	-
		φ_n	30	29	27	24	-	-	-
		E	32	24	16	10	7	-	-
	$0,25 \leq I_L \leq 0,75$	c_n	19	15	13	11	9	-	-
		φ_n	28	26	24	21	18	-	-
		E	31	23	15	9	6	-	-
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_n	47	37	31	25	22	19	-
		φ_n	26	25	24	23	22	20	-
		E	34	27	22	17	14	11	-
	$0,25 \leq I_L \leq 0,50$	c_n	39	34	28	23	18	15	-
		φ_n	24	23	22	21	19	17	-
		E	32	25	19	14	11	8	-
$0,50 \leq I_L \leq 0,75$	c_n	-	-	25	20	16	14	12	
	φ_n	-	-	19	18	16	14	12	
	E	-	-	17	12	8	6	5	

Окончание таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_n	-	81	68	54	47	41	36
		φ_n	-	21	20	19	18	16	14
		E	-	28	24	21	18	15	12
	$0,25 \leq I_L \leq 0,50$	c_n	-	-	57	50	43	37	32
		φ_n	-	-	18	17	16	14	11
		E	-	-	21	18	15	12	9

3. Определяем плотность сложения грунта по коэффициенту (таблица 3.9) пористости и плотность сухого грунта:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01W} = \frac{2,08}{1 + 0,01 \cdot 20} = 1,73 \text{ г/см}^3;$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,67}{1,73} - 1 = 0,54.$$

Таблица 3.9 – Условное расчетное сопротивление R_0 глинистых непросадочных грунтов

Вид грунта	Коэффициент пористости, e	R_0 , кПа, при показателе текучести I_L		
		0	0,5	0,75
Супеси	0,5	400	300	250
	0,7	300	250	200
Суглинки	0,5	400	350	300
	0,7	350	300	200
	1	250	200	150
Глины	0,5	600	500	400
	0,6	500	400	300
	0,8	300	250	200
	1,1	250	200	150

Для определения искомых нормативных значений механических показателей используют линейную интерполяцию.

Для нашего примера, для супеси пластичной при $e = 0,54; I_L = 0,64$;

$$c_n = 15,4 \text{ кПа};$$

$$\varphi_n = 26,1^\circ;$$

$$R_0 = 275,4 \text{ кПа};$$

$$E = 24,8 \text{ МПа}.$$

Задание 3. Определить наименование и расчётное сопротивление грунта R_0 на одноосное сжатие, если известно число пластичности $I_p = 8$, показатель текучести $I_L = 0,2$ и коэффициент пористости $e = 0,6$.

Исходные данные к заданию

Вариант	I_p	I_L	e	Вариант	I_p	I_L	e
0	8	0,2	0,6	-	-	-	-
1	2	0,4	0,65	16	8	0,2	0,4
2	4	0,5	0,7	17	4	0,5	0,2
3	7	0,1	0,4	18	6	0,4	0,4
4	8	0,3	0,45	19	17	0,5	0,5
5	9	0,6	0,5	20	18	0,2	0,6
6	10	0,7	0,6	21	19	0,4	0,5
7	11	0,8	0,7	22	6	0,4	0,6
8	12	0,6	0,6	23	8	0,2	0,7
9	13	0,5	0,6	24	9	0,5	0,4
10	14	0,6	0,7	25	4	0,3	0,5
11	17	0,7	0,7	26	10	0,5	0,6
12	17	0,2	0,6	27	12	0,5	0,2
13	18	0,4	0,5	28	13	0,7	0,7
14	2	0,3	0,6	29	6	0,4	0,7
15	5	0,6	0,4	30	7	0,3	0,5

Пример решения (вариант 0)

1. По таблице Б.11 ГОСТ 25100. 2020 «Грунты. Классификация» определяем наименование грунта по числу пластичности I_p (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Разновидность глинистых грунтов в зависимости от числа пластичности

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p
Супесь	1 – 7
Суглинок	7 – 17
Глина	> 17

2. По I_L (таблица Б.14 ГОСТа) определяем разновидность грунта (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Разновидность глинистых грунтов по показателю текучести

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести I_L
Суглинки и глины	
Твёрдые	< 0
Полутвёрдые	0 – 0,25
Тугопластичные	0,25 – 0,5
Мягкопластичные	0,5 – 0,75
Текучепластичные	0,75 – 1,0
Текучие	> 1,0

В нашем случае это будет *суглинок полутвердый*.

Примечание: текучие супеси, текучие и текучепластичные суглинки и глины применять в качестве оснований не рекомендуется.

3. По таблице В.3 СП 22.13330.2016 Приложения В методом интерполяции определяем расчётное сопротивление R_0 на одноосное сжатие (таблица 3.12).

Таблица 3.12 – Расчетные сопротивления глинистых (непросадочных) грунтов (кПа)

Глинистые грунты	Коэффициент пористости e	$I_L=0$	$I_L=1$
Суглинки	0,5	350	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100

Вначале определяем значение R_0 для $I_L=0$ и $I_L=1,0$ для промежуточного значения $e = 0,6$.

$$(350 + 250) / 2 = 300, \quad (250 + 180) / 2 = 215.$$

Затем определяем цену деления 1/10 части:

$$(300 - 215) / 10 = 8,5.$$

Далее определяем требуемое значение R_0 при $I_L = 0,2$:

$$R_0 = 300 - 2 \times 8,5 = 283 \text{ кПа} \quad \text{или} \quad R_0 = 215 + 8 \times 8,5 = 268 \text{ кПа}.$$

Вопросы для обсуждения к теме 1

1. Назовите факторы, определяющие надежность оснований и фундаментов
2. По каким группам предельных состояний рассчитываются основания под здания и сооружения?
3. Как классифицируются нагрузки по их длительности воздействия на строительные конструкции?
4. Что означает основное и особое сочетание нагрузок?
5. По каким параметрам производится оценка ИГУ площадки строительства?
6. По каким параметрам производится классификация грунтов в соответствии с ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация?
7. Назовите основные физико-механические характеристики песчаных грунтов.
8. Назовите основные физико-механические характеристики глинистых грунтов.
9. Назовите основные прочностные и деформационные характеристики грунтов, используемых в качестве естественных оснований.
10. Модуль упругости (строительные конструкции) и модуль деформации (грунты оснований), в чем принципиальная разница?

Тема 2. Деформации и осадки фундаментов

Лекция 2.1. Деформации и осадки фундаментов

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Оценка гидрологических условий строительной площадки. Влияние уровня грунтовых вод (УГВ) на прочностные характеристики грунтов, активизацию инженерно-геологических процессов (оползни, обвалы, деформации грунтов и т. д.). Причины подтопления территорий. Влияние снижения УГВ на прочностные и деформационные характеристики грунтов.

Типы сооружений по жесткости. Виды деформаций и смещений сооружений. Причины развития неравномерных осадок сооружений (деформации уплотнения, разуплотнения, выпирания и расструктурирования; неравномерные осадки в период эксплуатации сооружений).

Конструктивные мероприятия по снижению чувствительности сооружений к неравномерным осадкам.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Оценка вариативных проектных решений и технико-экономические показатели

При самостоятельном изучении данного вопроса следует особое внимание обратить на критерии, используемые при вариативной оценке принятых проектных решений, такие как экономичность, надежность, долговечность, технологичность и другие.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется просмотреть обучающие видеофильмы по определению деформационных характеристик грунтов по ссылкам в сети Internet. Ссылка отправляется преподавателем на групповую электронную почту. При этом особое внимание следует обратить на влияние УГВ на физико-механические и деформационные характеристики грунтов. Причины возникновения неравномерных осадок и проводимые мероприятия по их снижению.

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [10, с. 32–49; 11, с. 652–654; 8, с. 9–16, 37–42]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 2.1. Оценка ИГУ площадки строительства

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. По исходным данным грунтовых условий (по вариантам, Приложение А) определить недостающие физико-механические характеристики и условное расчетное сопротивление грунтов для каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ), построить эпюры распределения значений для модуля деформации E и R_0 .

Сделать предварительное заключение о пригодности грунтов в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений.

Цель практического занятия. Научиться делать заключение о пригодности грунтов в качестве естественного основания по их физико-механическим и деформационным характеристикам.

В результате выполнения практического задания студент должен:

- знать способы определения наименования грунтов по их физико-механическим характеристикам;
- уметь определять недостающие физико-механические, прочностные и деформационные характеристики грунтов, делать заключение о пригодности грунтов в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений.

Нормативные документы: [1, с.1–24; 3, Приложения А, Б, В].

Исходные данные к заданию

Вариант 1

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	231,1	Песок пылеватый	2,2	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	6,0	УГВ = 3,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	1,9	1,9	0,21	0,40	0,30	1,70	35	13	8,0	
		Глина со щебнем до 12 %	2,8	2,5	0,19	0,37	0,22	1,93	60	22	20,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,0	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	46,0	
2	229,9	Песок пылеватый	2,1	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	6,0	УГВ = 4,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	2,5	1,9	0,21	0,40	0,30	1,70	35	13	8,0	
		Глина со щебнем до 12 %	1,9	2,5	0,19	0,37	0,22	1,93	60	22	20,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,5	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	46,0	

Порядок выполнения работы

1. По исходным данным грунтовых условий вычертить геологический разрез площадки строительства по двум скважинам. Расстояние между скважинами 50 м. Горизонтальный масштаб принять 1:500; вертикальный масштаб 1:100 (рисунок 3.1).

2. Определить недостающие физико-механические характеристики для каждого инженерно-геологического элемента (см. Пр. 1). Полученные значения характеристик представить в табличной форме для каждого слоя грунта основания (таблица 3.13).

3. По таблицам Приложений СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» определить расчетные сопротивления R_0 (модуль деформации грунтов дан в задании).

4. Построить эпюры для модуля деформации и условного расчетного сопротивления грунтов основания.

5. Сделать заключение о пригодности грунтов в качестве естественных оснований под фундаменты.

Таблица 3.13 – Физико-механические характеристики грунтов

Наименование ИГЭ	Характеристики грунтов					
	ρ_d т/м ³	e	I_L	S_r	E МПа	R_0 кПа
Песок пылеватый						
Глина со щебнем до 5 %						
Глина со щебнем до 12 %						
Глина со щебнем до 20 %						

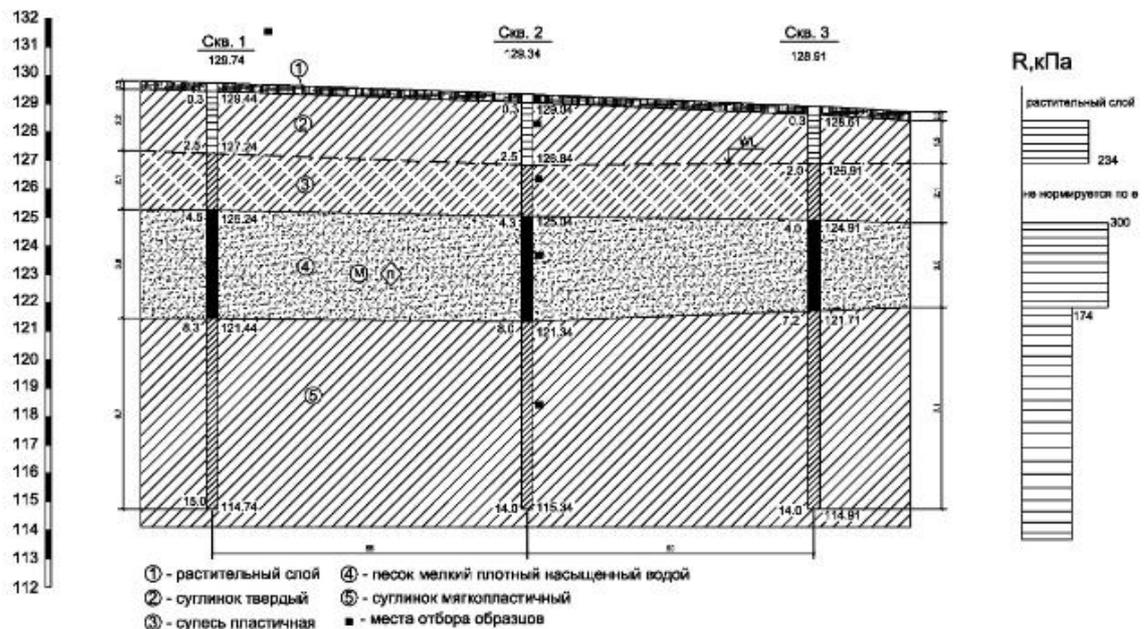


Рисунок 3.1 – Инженерно-геологический разрез площадки строительства

Вопросы для обсуждения к теме 2

1. Назовите факторы, определяющие режим функционирования грунтовых вод (региональные и локальные факторы).

2. Каким образом уровень грунтовых вод оказывает влияние на прочностные характеристики грунтов?

3. Назовите причины подтопления территорий.

4. Назовите причины снижения прочностных и деформационных характеристик грунтов при понижении УГВ.

5. Назовите причины возникновения неравномерных осадок грунтов.
6. Назовите типы сооружений по жесткости фундаментов
7. Назовите конструктивные мероприятия, проводимые для снижения чувствительности сооружений к неравномерным осадкам оснований.
8. Назовите критерии оценки вариативного проектирования оснований и фундаментов.
9. Перечислите способы защиты территории от затопления и подтопления поверхностными водами.
10. Перечислите способы понижения уровня грунтовых вод с открытых котлованах.

Тема 3. Морозное пучение грунтов

Лекция 3.1. Морозное пучение грунтов

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Термины и определения. Общие сведения о пучении грунтов. Стадии промерзания грунтов. Физические процессы, протекающие в грунтах при промерзании. Свойства грунтов при промерзании и критерии их оценки. Разновидности грунтов по степени пучинистости.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения.

Оценка пучинистости грунтов

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на критерии, используемые для оценки степени пучинистости песчаных и глинистых грунтов.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется ознакомиться с методическим пособием «Проектирование оснований фундаментов на пучинистых грунтах».

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [9, с. 5–10; 8, с. 57–71]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 3.1. Оценка степени пучинистости грунтов

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. Определение степени пучинистости песчаных и глинистых грунтов аналитическим методом по исходным данным грунтовых условий по вариантам. Данная практическая работа является логическим продолжением темы 1 и основывается на тех же исходных данных.

Второй важной составляющей частью практического задания является выполнение предварительного заключения о степени пучинистости грунтов и

их пригодности в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений.

Цель практического занятия. Научиться делать заключение о пригодности грунтов в качестве естественного основания по их степени пучинистости аналитическим методом.

В результате выполнения практических заданий студент должен:

- знать методику определения степени пучинистости грунтов аналитическим методом;
- уметь делать заключение о степени пучинистости грунтов по их физико-механическим характеристикам и пригодности в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений

Учебные пособия: [9, с. 5–10].

Задание 1. По исходным данным, представленным ниже, определить степень пучинистости песчаных грунтов.

Сделать предварительное заключение о степени пучинистости грунтов и их пригодности в качестве естественных оснований под фундаменты.

Исходные данные к заданию

Вариант	Гранулометрический состав в %, размер в мм						Физические характеристики		
	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-01	0,1-0,05	0,05-0,01	ρ_s , г/см ³	ρ , г/см ³	W , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1,5	8,0	28,0	45,5	10,0	7,0	2,65	1,68	9,3
1	1,0	9,0	35,0	30,0	15,0	10,0	2,40	1,42	10,0
2	2,0	11,0	40,0	30,0	12,0	5,0	2,54	1,52	9,6
3	1,8	14,0	42,2	20,0	10,0	12,0	2,62	1,62	10,5
4	2,1	13,9	25,0	41,0	8,0	10,0	2,60	1,58	9,2
5	2,0	15,0	35,0	40,0	4,0	4,0	2,58	1,56	8,4
6	3,2	14,0	20,8	30,0	12,0	20,0	2,65	1,61	14,0
7	12,0	12,0	36,0	12,0	12,0	16,0	2,64	1,62	12,0
8	11,0	32,0	32,0	15,0	5,0	5,0	2,60	1,58	9,5
9	2,0	4,0	46,0	40,0	2,0	6,0	2,59	1,48	10,6
10	4,0	4,0	12,0	20,0	40,0	20,0	2,64	1,62	6,0
11	11,0	11,0	11,0	11,0	44,0	12,0	2,64	1,58	9,5
12	2,0	12,0	20,5	34,0	12,5	19,0	2,56	1,52	8,2
13	4,0	4,0	30,0	60,0	1,2	0,0	2,65	1,68	8,0
14	14,0	24,0	30,0	12,0	12,0	8,0	2,63	1,62	9,5
15	2,0	14,0	34,0	15,0	25,0	10,0	2,60	1,60	10,0
16	2,5	28,5	31,0	32,0	2,0	4,0	2,68	1,62	9,0
17	3,0	14,0	17,0	16,0	40,0	10,0	2,64	1,60	10,2
18	12,0	12,0	12,0	16,0	30,0	18,0	2,56	1,48	9,0
19	2,0	18,0	21,0	16,0	36,0	4,0	2,65	1,60	9,4
20	20,0	10,0	30,0	30,0	5,0	5,0	2,62	1,60	9,2
21	3,0	25,0	22,0	30,0	10,0	10,0	2,62	1,62	11,0
22	13,0	25,0	12,0	20,0	25,0	5,0	2,65	1,68	9,8
23	2,5	13,5	28,0	40,0	12,0	4,0	2,63	1,64	9,0
24	15,0	12,0	28,0	15,0	15,0	15,0	2,64	1,61	14,0

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	15,0	13,0	31,0	21,0	12,0	8,0	2,66	1,61	10,0
26	1,0	32,0	32,0	21,0	10,0	4,0	2,62	1,60	10,2
27	8,0	32,0	40,0	10,0	6,0	4,0	2,62	1,58	9,0
28	3,0	3,0	42,0	12,0	30,0	10,0	2,63	1,58	9,4
29	5,0	35,0	40,0	10,0	6,0	4,0	2,64	1,64	10,0
30	12,0	30,0	40,0	8,0	4,0	6,0	2,65	1,65	9,0

Пример решения (вариант 0)

1. Из решения задания 1 (пр. 1.1) имеем наименование грунта – *песок мелкий, средней плотности, маловлажный с коэффициентом пористости $e = 0,72$.*

2. Для удобства выполнения расчетов представим гранулометрический состав в табличной форме (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Гранулометрический состав грунта

Размер частиц фракций, мм	2-1	1,0-0,5	0,25-0,1	0,5-0,25	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005
Содержание фракций в %	1,5	8,0	28,0	45,5	17,8	10,0	7,0
Расчетный размер частиц фракций, см $1,4=(1,0 \times 1,4)$	1,4	0,7	0,14	0,35	0,07	0,014	0,007

Средний диаметр частиц грунта d_0 равен:

$$d_0 = \left(\frac{0,015}{1,4} + \frac{0,08}{0,7} + \frac{0,28}{0,14} + \frac{0,455}{0,35} + \frac{0,178}{0,07} + \frac{0,10}{0,014} + \frac{0,07}{0,007} \right)^{-1} = 0,0287 \text{ см.}$$

Показатель дисперсности D составляет:

$$D = \frac{K_1}{d_0^2 \cdot e} = \frac{1,85 \cdot 10^{-4}}{(28,7 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,72} = 0,31.$$

Таким образом, *песок мелкий, средней плотности, маловлажный с коэффициентом пористости $e = 0,72$ при показателе дисперсности $D < 1,0$ относится к непучинистым (неморозоопасным) грунтам с $\varepsilon_{fh} \leq 0,01$ [7, с. 4-53].*

Задание 2. По исходным данным, представленным ниже, определить степень пучинистости глинистого грунта (район строительства принять по Приложению В).

Исходные данные к заданию

Вариант	ρ г/см ³	ρ_s г/см ³	W %	W_p %	W_L %
1	2	3	4	5	6
0	2,08	2,67	20,0	16,5	22,0

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
1	2,06	2,54	10,0	6,5	20,0
2	2,09	2,62	20,0	12,0	21,0
3	2,05	2,62	19,0	15,0	22,0
4	2,06	2,62	18,0	15,0	21,0
5	2,04	2,65	19,0	14,0	23,0
6	2,07	2,61	17,0	16,0	22,0
7	2,04	2,65	16,0	12,0	21,0
8	2,05	2,59	14,0	9,0	16,0
9	2,06	2,66	20,0	16,0	22,0
10	2,03	2,67	21,0	17,0	24,0
11	2,04	2,58	19,0	15,0	25,0
12	2,05	2,60	20,0	12,0	24,0
13	2,06	2,62	20,0	11,0	23,0
14	2,08	2,64	18,0	12,0	22,0
15	2,03	2,65	17,0	10,0	19,0
16	2,04	2,66	18,0	11,0	19,0
17	2,05	2,67	19,0	10,0	24,0
18	2,06	2,68	14,0	7,0	24,0
19	2,07	2,69	12,0	6,0	25,0
20	2,03	2,58	14,0	8,0	24,0
21	2,04	2,60	12,0	9,0	26,5
22	2,05	2,61	10,0	6,0	20,0
23	2,06	2,62	12,0	7,0	21,0
24	2,07	2,63	12,0	8,0	25,0
25	2,08	2,65	14,0	6,0	20,0
26	2,08	2,68	13,0	7,0	25,0
27	2,03	2,60	12,0	8,5	15,5
28	2,04	2,62	12,5	9,5	16,5
29	2,05	2,63	14,0	10,0	23,0
30	2,06	2,66	12,0	8,0	25,5

Пример решения (вариант 0)

1. На площадке строительства слой сезонного промерзания сложен супесью пластичной со следующими характеристиками: плотность частиц грунта $\rho_d = 1,73 \text{ г/см}^3$; число пластичности $I_p = 5,5$; показатель текучести $I_L = 0,64$; коэффициент пористости $e = 0,54$; природная влажность $W = 0,2$; влажность на границе раскатывания $W_p = 0,165$; плотность грунта $2,08 \text{ т/м}^3$; влажность на границе текучести $W_L = 0,22$.

2. Определим параметр R_f по формуле:

$$R_f = 0,67 p_d \left[0,012(W - 0,1) + \frac{W(W - W_{cr})^2}{W_{sat} W_p \sqrt{M_0}} \right] =$$

$$= 0,67 \cdot 1,73 \left[0,012 \cdot (0,2 - 0,1) + \frac{0,2(0,2 - 0,15)^2}{0,22 \cdot 0,165 \cdot \sqrt{9,02}} \right] = 0,00670 = 0,67 \cdot 10^{-2}$$

где $W_{cr} = 0,15$ – критическая влажность грунта, определяется по графику $J_p = 5,5$ (рисунок 3.4 Л.3) [2];

$$J_p = W_L - W_p = 0,22 - 0,165 = 0,55.$$

$W_{sat} = W_L = 0,22$ – полная влагоемкость грунта, доли единицы, для глинистых грунтов принимается влажность на границе текучести W_L ; ρ_d – плотность сухого грунта (кг/м^3), определяемая по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W} = \frac{2,08}{1+0,2} = 1,73 \cdot 10^3;$$

M_0 – безразмерный коэффициент, численно равный абсолютному значению средней многолетней температуры за зимний период в г. Чебоксары, принимаемый равным 9,02 (СП 131.13330.2018) [9, с. 4–50].

Относительная деформация суглинка в соответствии с параметром $R_f \times 10^2 = 0,67$ составляет $\varepsilon_{fn} = 0,045$, определяемая по рисунку 5.2 и таблице 5.1 [9] $\varepsilon_{fn} = 0,067$, в слое сезонного промерзания данный грунт относится к *среднепучинистому грунту*.

Вопросы для обсуждения к теме 3

1. Дайте определение термину «пучинистый грунт».
2. Дайте определение термину «грунт сезонномерзлый».
3. Дайте определение термину «вечномерзлый грунт».
4. Назовите стадии промерзания грунтов и дайте краткую характеристику происходящих при этом процессов.
5. Назовите причины возникновения неравномерных осадок грунтов.
6. Назовите свойства грунтов при их промерзании.
7. Назовите критерии оценок степени пучинистости грунтов.
8. Перечислите разновидности грунтов по их степени пучинистости.
9. Перечислите мероприятия, назначаемые при проектировании фундаментов по снижению пучинистости грунтов.
10. Назовите условия строительства зданий на пучинистых грунтах.

Тема 4. Проектирования фундаментов на пучинистых грунтах

Лекция 4.1. Особенности проектирования фундаментов на пучинистых грунтах

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Деформации пучения ненагруженной поверхности. Количественные оценки деформации пучения. Влияние промерзающих пучинистых грунтов на подземную часть зданий и сооружений. Устойчивость фундаментов на действие нормальных и касательных сил морозного пучения. Расчет фундаментов по 1-й и 2-й группам предельных состояний.

При изучении данной темы вопросы для самостоятельного изучения не предусмотрены.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется углубленно изучить рекомендации по проектированию фундаментов при различных инженерно-геологических условиях, изложенных в СП 22.13330.2016 «Основания и фундаменты».

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [3, п. 6.8, с. 107–113; 9, с. 19–25]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 4.1. Оценка степени пучинистости грунтов

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. По материалам инженерно-геологических изысканий определить степень пучинистости грунтов для первых двух инженерно-геологических элементов (ИГЭ) площадки строительства (данная работа является продолжением Пр. 2.1; варианты грунтовых условий те же).

Сделать заключение о степени пучинистости грунтов и их пригодности в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений.

Назначить мероприятия по снижению влияния сил морозного пучения на подземные части здания или сооружения.

Цель практического занятия. Научиться делать заключение о пригодности грунтов в качестве естественного основания по их степени пучинистости.

В результате выполнения практических заданий студент должен:

- знать методику определения степени пучинистости грунтов аналитическим методом;
- уметь делать заключение о степени пучинистости грунтов по их физико-механическим характеристикам и пригодности в качестве естественных оснований под фундаменты зданий и сооружений, а также назначать мероприятия по снижению влияния сил морозного пучения на конструкции зданий и сооружений.

Учебные пособия: [9, с. 5–10; 19–25].

Порядок выполнения работы

1. По исходным данным грунтовых условий (Приложение А) вычертить геологический разрез площадки строительства по двум скважинам. Расстояние между скважинами 50 м. Горизонтальный масштаб принять 1:500; вертикальный масштаб 1:100 (см. рисунок 3.1).

2. Определить или использовать из Пр. 2.1 недостающие физико-механические характеристики для первых двух инженерно-геологических

элементов (ИГЭ). Полученные значения характеристик представить в табличной форме для каждого слоя грунта основания (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Физико-механические характеристики и свойства грунтов

Наименование ИГЭ	Характеристики грунтов					
	ρ_d	e	I_p	I_L	S_r	ε_{fh}
Песок пылеватый						
Глина со щебнем до 5%						

3. Определить степень пучинистости грунтов первых двух инженерно-геологических элементов (ИГЭ) – см. Л. 3.1 и Пр. 3.1 (Задания 1 и 2).

4. Сделать заключение о пригодности грунтов в качестве естественных оснований под фундаменты для каждого рассматриваемого слоя.

Вопросы для обсуждения к теме 4

1. Назовите факторы, определяющие пучинистые свойства грунтов.
2. Назовите количественные оценки деформации пучения.
3. Каким образом влияют касательные и нормальные усилия от сил морозного пучения на заглубленные сооружения?
4. Назовите особенности расчета фундаментов на пучинистых грунтах по 1-й группе предельных состояний.
5. Назовите особенности расчета фундаментов на пучинистых грунтах по 2-й группе предельных состояний.
6. Перечислите особенности проектирования фундаментов на пучинистых грунтах.
7. Назовите мероприятия, назначаемые для снижения пучинистости грунтов.

Тема 5. Столбчатые фундаменты

Лекция 5.1. Проектирование фундаментов, возводимых в открытых котлованах

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Классификация фундаментов, возводимых в открытых котлованах. Особенности проектирования оснований и фундаментов по предельным состояниям. Нагрузки и воздействия при расчете фундаментов по 1-й и 2-й группам предельных состояний. Определение глубины заложения фундаментов. Особенности определения глубины заложения фундаментов исходя из инженерно-геологических условий строительной площадки.

При изучении данной темы вопросы для самостоятельного изучения не предусмотрены.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется углубленное изучение особенностей проектирования фундаментов при различных инженерно-геологических условиях, изложенных в СП 22.13330.2016 «Основания и фундаменты».

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [8, с. 228–247; 7, с. 84–108, 113–116]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 5.1. Определение глубины заложения фундаментов по инженерно-геологическим условиям

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. По материалам инженерно-геологических изысканий и заданного района строительства определить глубину заложения фундаментов из условия промерзания грунтов (по вариантам, Приложение В).

Цель практического занятия. Научиться осуществлять выбор естественного грунтового основания и определять необходимую глубину заложения фундамента из условия промерзания грунтов.

В результате выполнения практических заданий студент должен:

- знать методику назначения глубины заложения исходя из геологических и природно-климатических условий;
- уметь пользоваться нормативными документами (СП 22.13330.2016 и СП 131.13330.2018) и выполнять необходимые расчеты по определению нормативной и расчетной глубины заложения фундаментов.

Учебные пособия и нормативная литература: [3, с. 6–12; 6, с. 2–40; 11, с. 656–658].

Примеры решения

Задание 1. Определить нормативную глубину промерзания грунта (глина) при возведении фундамента для бесподвального здания в г. Москве (варианты по районам строительства см. Приложение В).

1. По СП 131.13330.2018 «Строительная климатология» выписываем отрицательные значения среднемесячных температур:

- январь 10,2 °С;
- февраль 9,2 °С;
- март 4,3 °С;
- ноябрь 1,9 °С;
- декабрь 7,3 °С.

2. Определяем сумму абсолютных значений (по модулю) среднемесячных отрицательных температур:

$$M_t = 10,2 + 9,2 + 4,3 + 1,9 + 7,3 = 32,9.$$

3. Определяем нормативную глубину промерзания грунта по формуле:

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t} = 0,23 \sqrt{32,9} = 1,32 \text{ м} [2],$$

где $d_0 = 0,23$ – коэффициент для глины [2].

Задание 2. По исходным данным инженерно-геологических условий района строительства (по вариантам, Приложения А и В) определить нормативную и расчетную глубину промерзания грунта.

Район строительства – г. Самара. Полы первого этажа устроены на лагах по грунту. Среднесуточная температура внутри помещений здания 20°C . Ширина фундамента $b = 1,4$ м. Толщина стены $t = 0,51$ м. Грунт основания – супесь с показателем текучести $I_L = 0,34$. Уровень грунтовых вод находится на глубине $d_w = 5,0$ м от поверхности земли.

1. Нормативную глубину промерзания для супеси определяем аналогично ранее рассмотренному примеру.

Нормативная глубина промерзания для супеси в г. Самаре составляет $d_f = 1,88$ м.

Вылет наружного ребра фундамента от внешней грани стены составляет:

$$a_f = \frac{b - t}{2} = \frac{1,4 - 0,51}{2} = 0,445 \leq 0,5 \text{ м}.$$

Условие выполнено (см. примечание к таблице 3.16), следовательно, коэффициент k_h принимаем табличным, без корректировки.

2. Значение коэффициента k_h принимаем равным 0,6. Тогда расчетная глубина промерзания для супеси будет равна:

$$d_f = k_h \cdot d_{fn} = 0,6 \cdot 1,88 = 1,13 \text{ м}.$$

Округляем в большую сторону и для дальнейших расчетов принимаем:

$$d_f = 1,2 \text{ м}.$$

3. Определяем для глинистого грунта величину $d_f + 2 \text{ м} = 1,2 + 2,0 = 3,2 \text{ м}$ (см. таблицу 5.3 СП 22.13330.2016):

$$d_w \geq d_f.$$

Для супеси с показателем текучести $I_L = 0,34$ и $d_f + 2 \text{ м}$ глубина заложения подошвы фундамента должна назначаться не менее расчетной глубины промерзания, т. е. $d_f = 1,2 \text{ м}$.

Таблица 3.16 – Значения коэффициента k_h для отапливаемых зданий

Особенности сооружения	Коэффициент k_h при расчетной среднесуточной температуре воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам, °С				
	0	5	10	15	≥ 20
Без подвала, с полами, устраиваемыми по грунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
На лагах по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
По утепленному цокольному перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
С подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Примечание: Приведенные в данной таблице значения коэффициента k_h относятся к фундаментам, у которых расстояние от внешней грани стены до края фундамента $a_f \leq 0,5 м$, если $a_f \geq 0,5 м$, то значение коэффициента повышается на 0,1, но не более чем до значения $k_h = 1,0$.

Лекция 5.2. Проектирование столбчатых фундаментов под колонны

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Определение расчетного сопротивления грунта основания по прочностным характеристикам грунтов (по СП 22.13330.2016).

Формула Пузыревского. Общие требования к конструированию столбчатых фундаментов под сборные и монолитные железобетонные колонны, под металлические колонны. Определение размеров подошвы фундамента аналитическим и графическим способами. Определение давления под подошвой фундамента.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения.

Общие требования к конструированию столбчатых фундаментов по сборные и монолитные железобетонные колонны, под металлические колонны

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на рекомендации по проектированию столбчатых фундаментов: назначение размеров ступеней, подколонников, стаканов (для сборных железобетонных колонн), глубины заложения, а также выбора класса бетона, арматуры и назначения толщины защитного слоя бетона.

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [11, с. 230–234, 304–310; 7, с. 116–121]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 5.2. Расчет столбчатого фундамента аналитическим способом

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. По материалам инженерно-геологических изысканий, заданного района строительства и приложенных нагрузок определить глубину заложения и размеры столбчатого фундамента под сборную железобетонную колонну (варианты условий проектирования см. Приложения А, Б и В). Другие данные для выполнения задания принять аналогичными в рассматриваемом примере.

Цель практического занятия. Приобретение навыков в проектировании столбчатых фундаментах под сборную железобетонную колонну аналитическим способом по заданным условиям.

В результате выполнения практического задания студент должен:

- знать методику назначения глубины заложения фундамента исходя из геологических, природно-климатических условий и конструктивных особенностей возведения зданий и сооружений;
- уметь пользоваться нормативными документами и выполнять расчеты по определению глубины заложения фундамента исходя из геологических или конструктивных особенностей здания, вертикальной планировки рельефа.

Назначать конструктивные размеры элементов столбчатого фундамента и выполнять расчеты по первой и второй группам предельных состояний.

Учебные пособия: [3, с. 6–12, 11, с. 656–658, 669–671].

Пример решения

Задание. Спроектировать фундамент под колонну крайнего ряда трехэтажного промышленного здания с полным каркасом в г. Санкт-Петербурге. Длина здания $L=42$ м, высота $H=16$ м. Сечение сборной колонны 400×600 мм. Полы в здании по грунту. Температура внутри здания $+15$ °С. Относительная отметка планировочной поверхности $0,15$ м и совпадает с отметкой рельефа. Здание без подвала, параллельно ряду колонн под полом проходит канал шириной $1,2$ м для инженерных коммуникаций с глубиной заложения $1,2$ м. Стена канала отстоит от оси колонн на $1,4$ м.

Нагрузки на фундамент на уровне его обреза представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Величины и сочетания нагрузок на фундамент

Комбинация 1			Комбинация 2		
N_{II} , кН	M_{II} , кНм	T_{II} , кН	N_{II} , кН	M_{II} , кНм	T_{II} , кН
2500	300	50	1700	750	46

Характеристики грунтов, необходимые для расчетов, установлены в результате непосредственных испытаний (таблица 3.18). Геологическая колонка строительной площадки представлена на рисунке 3.2. УГВ залегает на глубине 2,6 м.

Таблица 3.18 – Характеристики грунтов

№ слоя в колонке	ρ , т/м ³	γ_{sb} , кН/м ³	φ_{II} , град	c_{II} , кПа	E , кПа
1	1,60	-	-	-	-
2	1,69	9,4	26	2,0	14000
3	1,95	9,2	13	1,3	4500
4	2,01	-	18	6,0	22500

Примечание: Решение данной задачи может быть выполнено аналитическим и графическим методами. При аналитическом методе возможны два варианта – последовательного приближения (более долгий путь) или по конструктивным требованиям (предварительно назначаются минимально необходимые размеры элементов фундамента и проверяется несущая способность по грунту). В данном примере рассмотрен первый вариант как наиболее трудоемкий.

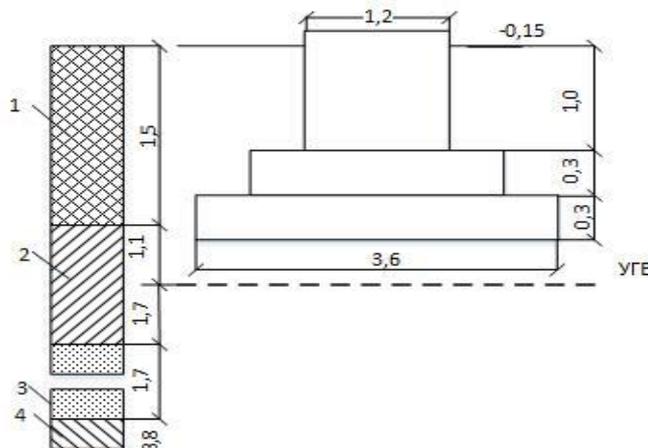


Рисунок 3.2 – Схема проектируемого фундамента:
1 – насыпной грунт, 2 – суглинок, 3 – суглинок, 4 – суглинок

1. Выбор глубины заложения фундамента

– по геологическим условиям:

Глубина заложения фундамента должна быть не менее 160 см, так как насыпной слой не может быть в качестве естественного основания (см. рис.5.1). С учетом УГВ глубина заложения фундамента должна быть не более:

$$d \leq 150 + 110 - 50 = 210 \text{ см};$$

– по конструктивным требованиям:

Отметку обреза фундамента принимаем 0,15 м. Глубину стакана под сборную колонну принимаем 80 см (в первом приближении без расчета из условия на продавливание).

$$d = 80 + 60 + 0,15 = 155 \text{ см};$$

– из условия соседнего подземного канала:

Поскольку канал расположен достаточно близко от ряда колонн, подошва фундамента должна располагаться на глубине не менее чем канал, т. е.

$$d \geq 120 \text{ см};$$

– из условия промерзания грунта, нормативная глубина промерзания

$$d_{fn} = d_o \sqrt{M_t} = 0,28 \cdot \sqrt{25,8} = 1,42 \text{ м},$$

где $d_o = 0,28$ – величина, принимаемая для песков (п. 5.5.3 СП 22.13330.2016).

Среднемесячные отрицательные температуры для Санкт-Петербурга составляют: ноябрь – 0,5; декабрь – 5,1; январь – 7,7; февраль – 7,9; март – 4,2. Суммарная величина отрицательных температур равна 25,8 °С.

Расчетная глубина промерзания в зависимости от теплового режима здания будет равна:

$$d_f = k_h d_{fn} = 0,6 \cdot 1,42 = 0,85 \text{ м},$$

где $k_h = 0,6$ (см. таблицу 5.2 СП). Глубина заложения фундамента в соответствии с требованиями СП (таблица 5.3) может быть:

$$d \geq d_f \text{ для пучинистых грунтов.}$$

В нашем расчетном случае глубина заложения фундамента должна быть не менее расчетной глубины промерзания, т. е. 0,85 м.

Перечисленным требованиям удовлетворяет величина $d = 160 \text{ м}$.

2. Определение размеров подошвы фундамента

Учитывая, что на фундамент воздействуют значительные моменты, соотношение сторон подошвы примем:

$$\eta = \frac{l}{b} = 1,2 \quad (\eta = 1,1/2,0).$$

В расчете размеров подошвы используем наибольшую из заданных величин $N_{II} = 2500 \text{ кПа}$.

При первом приближении $b_1 = 1,0 \text{ м}$.

В нашем расчетном случае третий элемент формулы опускаем, так как здание бесподвальное, а влиянием сравнительно небольшого канала можно пренебречь: $d_b = 0$, $d_1 = 1,6$.

По таблице 5.4 (СП 22.13330.2016) коэффициент условий работы $\gamma_{c1} = 1,25$; $\gamma_{c2} = 1,1$ при соотношении $L/H = 42/16 = 2,6$ (по интерполяции).

Значения коэффициентов при $\varphi_{II} = 26^\circ$ $M_\gamma = 0,84$; $M_q = 4,37$; $M_c = 6,90$.

$k = 1,0$ и $k_z = 1,0$ (при $b < 10 \text{ м}$).

$$\gamma'_{II} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{16,0 \cdot 1,5 + 16,9 \cdot 0,1}{1,5 + 0,1} = 16,1 \text{ кН/м}^3.$$

Тогда расчетное сопротивление грунта основания под подошвой фундамента будет равно (заниженное значение):

$$R_1 = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] =$$

$$= \frac{1,25 \cdot 1,1}{1,0} [0,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,9 + 4,37 \cdot 1,6 \cdot 16,1 + 6,9 \cdot 2,0] = 193 \text{ кПа}.$$

При втором приближении определяем завышенное значение b_2 :

$$b_2 = \sqrt{\frac{N_{II}}{\eta(R_1 - \gamma_{cp,II} \cdot d)}} = \sqrt{\frac{2500}{1,2(193 - 21 \cdot 1,6)}} = 3,46 \text{ м}.$$

Тогда завышенное расчетное сопротивление грунта будет равно:

$$R_2 = \frac{1,25 \cdot 1,1}{1,0} [0,84 \cdot 1,0 \cdot 3,46 \cdot 16,9 + 4,37 \cdot 1,6 \cdot 16,1 + 6,9 \cdot 2,0] = 241,3 \text{ кПа}.$$

При третьем приближении определяем заниженное значение b_3 :

$$b_3 = \sqrt{\frac{N_{II}}{\eta(R_2 - \gamma_{cp,II} \cdot d)}} = \sqrt{\frac{2500}{1,2(241,3 - 21 \cdot 1,6)}} = 3,19 \text{ м}.$$

Определяем среднее значение подошвы фундамента:

$$b_{cp} = \frac{b_2 + b_3}{2} = \frac{3,46 + 3,19}{2} = 3,325 \text{ м}.$$

С учетом модуля, кратного 0,3 м, округляем $b = 3,3 \text{ м}$.

Далее определяем расчетное сопротивление грунта при $b = 3,3 \text{ м}$.

$$R_3 = \frac{1,25 \cdot 1,1}{1,0} [0,84 \cdot 1,0 \cdot 3,3 \cdot 16,9 + 4,37 \cdot 1,6 \cdot 16,1 + 6,9 \cdot 2,0] = 238 \text{ кПа}.$$

Тогда площадь подошвы фундамента:

$$A = \frac{N_{II}}{R_3 - \gamma_{cp,II} \cdot d} = \frac{2500}{238 - 21,0 \cdot 1,6} = 12,23 \text{ м}^2;$$

$$l = \frac{A}{b} = \frac{12,23}{3,3} = 3,7 \text{ м}.$$

С учетом модуля округляем l до ближайшей величины (3,6 или 3,9 м), попробуем принять 3,6 м.

3. Конструируем фундамент минимального объема:

а) Проверяем достаточность принятой толщины фундамента из условия на продавливание колонной без учета действующего изгибающего момента (приближенный расчет). Принимаем класс бетона В15, $R_{bt} = 750 \text{ кПа}$. Фактически $h_0 = 80 - 5 = 75 \text{ см}$, эта величина должна быть не менее расчетной:

$$h_0 \geq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2b(l-l_p) - (b-b_p)^2}{1 + \frac{R_{bt}}{P_{\max l}}} + b_p^2} - \frac{b_p}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2b(l-l_p) - (b-b_p)^2}{1 + \frac{R_{bt} \cdot b \cdot l}{N_{ol}}} + b_p^2} - \frac{b_p}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,3(3,6 - 0,6) - (3,3 - 0,4)^2}{1 + \frac{750 \cdot 3,3 \cdot 3,6}{1,2 \cdot 2500}} + 0,4^2} - \frac{0,4}{2} = 0,67 \text{ м}$$

где $N_{ol} = 1,2 \cdot N_{II}$; b_p и l_p – меньший и больший размер верхнего основания пирамиды продавливания, в нашем примере это размеры поперечного сечения колонны 400 x 600 мм.

Таким образом, прочность на продавливание колонной обеспечена.

По таблице 3.19 назначаем горизонтальные размеры подколонника 1,2 x 1,2 м.

Таблица 3.19 – Размеры подколонников под сборные железобетонные колонны

Размер сечения колонны, мм	Размеры горизонтального сечения подколонника, мм	Размеры стакана, мм	
		Глубина	В плане поверху
300 x 300	900 x 900	700	450 x 450
400 x 400	900 x 900	800, 900	550 x 550
500 x 400	1200 x 1200	800	650 x 550
500 x 500	1200 x 1200	800, 900	650 x 650
600 x 400	1200 x 1200	800, 900	750 x 550
600 x 500	1200 x 1200	800	750 x 650
800 x 400	1500 x 1200	900, 950	950 x 550
800 x 500	1500 x 1200	900	950 x 650

б) Устанавливаем необходимое условие прочности по пирамиде продавливания (определяется необходимый размер ступеней).

В данном случае b_p и l_p – меньший и больший размер пирамиды продавливания, в нашем примере это размеры подколонника 1200 x 1200 мм. Тогда

$$h_0 \geq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2b(l-l_p) - (b-b_p)^2}{1 + \frac{R_{bt}}{P_{\max l}}} + b_p^2} - \frac{b_p}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2b(l-l_p) - (b-b_p)^2}{1 + \frac{R_{bt} \cdot b \cdot l}{N_{ol}}} + b_p^2} - \frac{b_p}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,3(3,6 - 1,2) - (3,3 - 1,2)^2}{1 + \frac{750 \cdot 3,3 \cdot 3,6}{1,2 \cdot 2500}} + 1,2^2} - \frac{1,2}{2} = 0,41 \text{ м}$$

Принимаем 2 ступени по 30 см, так что $h_0 = 0,55 \text{ м}$ – рабочая высота ступеней (принята с запасом).

в) Проверим необходимую суммарную рабочую высоту ступеней из условия прочности на продавливание по *пирамиде верхней ступени*. В этом случае b_p и l_p – меньший и больший размер пирамиды продавливания, в нашем примере это размеры 2400 x 2400 мм. Тогда

$$h_0 \geq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2b(l-l_p) - (b-b_p)^2}{1 + \frac{R_{bt}}{p_{\max l}}} + b_p^2} - \frac{b_p}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2b(l-l_p) - (b-b_p)^2}{1 + \frac{R_{bt} \cdot b \cdot l}{N_{ol}}} + b_p^2} - \frac{b_p}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,3(3,6 - 2,4) - (3,3 - 2,4)^2}{1 + \frac{750 \cdot 3,3 \cdot 3,6}{1,2 \cdot 2500}} + 2,4^2} - \frac{2,4}{2} = 0,17 \text{ м}$$

Прочность на продавливание обеспечена. Окончательно принимаем 2 ступени по 30 см. Вычерчиваем фундамент минимального размера (рисунок 3.3).

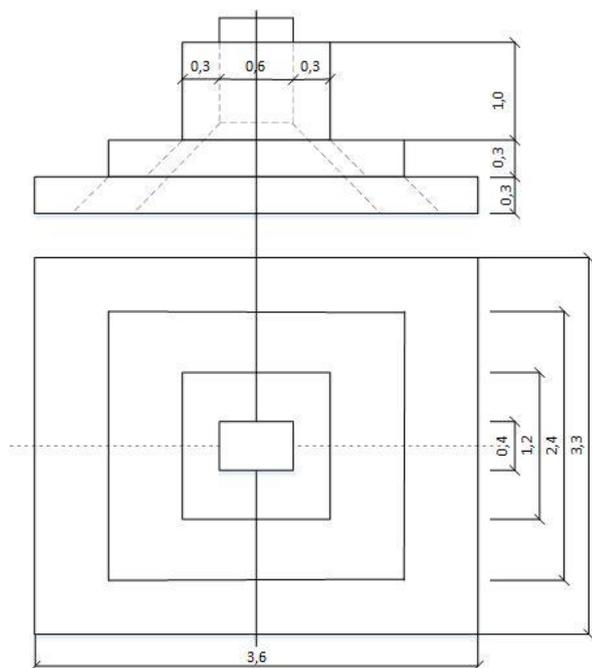


Рисунок 3.3 – Схема к расчету

4. Проверка давления на грунт под подошвой фундамента:

– определим объем фундамента:

$$V_\phi = V_1 + V_2 + V_3 = 0,3 \cdot 3,3 \cdot 3,6 + 0,3 \cdot 2,4 \cdot 2,4 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 6,73 \text{ м}^3;$$

– определим объем грунта на ступенях:

$$V_{cp} = b \cdot l \cdot d - V_\phi = 3,3 \cdot 3,6 \cdot 1,6 - 6,73 = 12,78 \text{ м}^3;$$

– вес фундамента:

$$N_\phi = \rho \cdot g \cdot V_\phi = \frac{2400 \cdot 10 \cdot 6,73}{1000} = 161,5 \text{ кН};$$

– вес грунта:

$$N_{cp} = \gamma'_{II} \cdot V_{cp} = 16,1 \cdot 12,78 = 205,76 \text{ кН}.$$

5. Определяем величины усилий, действующих на грунт на уровне подошвы фундамента. Результаты расчетов сводим в таблицу 3.20.

Таблица 3.20 – Определение нагрузок на основание

Виды нагрузок	Комбинация 1			Комбинация 2		
	N_{II} , кН	M_{II} , кНм	T_{II} , кН	N_{II} , кН	M_{II} , кНм	T_{II} , кН
По заданию	2500	300	50	1700	750	46
Момент силы T_{II} $M = T_{II} \cdot d$	-	80	-	-	74	-
Вес фундамента	161,5	-	-	161,1	-	-
Вес грунта	205,8	-	-	205,8	-	-
Суммарная нагрузка	2867,3	380	50	2066,9	824	46

Определяем величину среднего давления на грунт, в качестве нагрузки принимаем наибольшее значение, т. е. из комбинации 1.

$$P_{II} = \frac{N_{II}}{b \cdot l} = \frac{2867,3}{3,3 \cdot 3,6} = 241,35 \text{ кПа}.$$

По п. 2 при третьем приближении величина расчетного сопротивления $R = 238 \text{ кПа}$.

Условие прочности не выполнено:

$$P_{II} \leq R.$$

Величина перегруза составила:

$$\Delta = \frac{241,35 - 238}{238} 100\% = 1,4\%.$$

Определим максимальную величину давления на грунт:

$$1,2R = 1,2 \cdot 238 = 285,6 \text{ кПа}.$$

Величина эксцентриситета для первой комбинации нагрузок:

$$e_1 = \frac{M_{II}}{N_{II}} = \frac{380}{2867,3} = 0,13 \text{ м}.$$

Величина эксцентриситета для второй комбинации нагрузок

$$e_2 = \frac{M_{II}}{N_{II}} = \frac{824}{2066,9} = 0,40 \text{ м}.$$

Определяем величины максимальных давлений для первой комбинации

$$P_{\max} = \frac{N_{II}}{b \cdot l} \left(1 + \frac{6 \cdot e_1}{l}\right) = \frac{2867,3}{3,3 \cdot 3,6} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,13}{3,6}\right) = 293,65 \text{ кПа}.$$

Вывод: Принятые размеры подошвы фундамента не удовлетворяют требованиям, необходимо увеличить их размеры. Примем размер подошвы фундамента в плане 3,9 x 3,3 м, по конструктивным требованиям размер второй ступени в плане должен составлять 2,7 x 2,4 м, и выполним необходимые расчеты, начиная с п. 4, заново.

6. Проверка давления на грунт под подошвой фундамента:

– определим объем фундамента:

$$V_{\phi} = V_1 + V_2 + V_3 = 0,3 \cdot 3,3 \cdot 3,9 + 0,3 \cdot 2,7 \cdot 2,4 + 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 7,24 \text{ м}^3;$$

– определим объем грунта на ступенях:

$$V_{cp} = b \cdot l \cdot d - V_{\phi} = 3,3 \cdot 3,9 \cdot 1,6 - 7,24 = 13,35 \text{ м}^3;$$

– вес фундамента:

$$N_{\phi} = \rho \cdot g \cdot V_{\phi} = \frac{2400 \cdot 10 \cdot 7,24}{1000} = 173,8 \text{ кН};$$

– вес грунта:

$$N_{cp} = \gamma'_{II} \cdot V_{cp} = 16,1 \cdot 13,35 = 214,94 \text{ кН}.$$

Уточненные нагрузки на обрез фундамента с учетом перерасчета представлены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Определение нагрузок на основание

Виды нагрузок	Комбинация 1			Комбинация 2		
	N_{II} , кН	M_{II} , кНм	T_{II} , кН	N_{II} , кН	M_{II} , кНм	T_{II} , кН
По заданию	2500	300	50	1700	750	46
Момент силы T_{II} $M = T_{II} \cdot d$	-	80	-	-	74	-
Вес фундамента	173,8	-	-	173,8	-	-
Вес грунта	214,9	-	-	214,9	-	-
Суммарная нагрузка	2888,7	380	50	2088,7	824	46

Определяем величину среднего давления на грунт, в качестве нагрузки принимаем наибольшее значение, т. е. из комбинации 1.

$$P_{II} = \frac{N_{II}}{b \cdot l} = \frac{2888,7}{3,3 \cdot 3,9} = 224,5 \text{ кПа}.$$

По п. 2 при третьем приближении величина расчетного сопротивления:

$$R = 238 \text{ кПа}.$$

Условие выполнено:

$$P_{II} \leq R.$$

Величина недогруза составила (не более 10 %):

$$\Delta = \frac{238 - 224,5}{238} 100\% = 5,7\%.$$

Определим максимальную величину давления на грунт:

$$1,2R = 1,2 \cdot 238 = 285,6 \text{ кПа}.$$

Величина эксцентриситета для первой комбинации нагрузок:

$$e_1 = \frac{M_{II}}{N_{II}} = \frac{380}{2888,7} = 0,13 \text{ м}.$$

Величина эксцентриситета для второй комбинации нагрузок:

$$e_2 = \frac{M_{II}}{N_{II}} = \frac{824}{2088,7} = 0,40 \text{ м}.$$

Определяем величины максимальных давлений для первой комбинации:

$$P_{\max} = \frac{N_{II}}{b \cdot l} \left(1 + \frac{6 \cdot e_1}{l}\right) = \frac{2888,7}{3,3 \cdot 3,9} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,13}{3,9}\right) = 269,34 \text{ кПа};$$

$$P_{\max} \leq 1,2R$$

$$269 \leq 285,6 \text{ кПа}$$

Определяем величины максимальных давлений для второй комбинации:

$$P_{\max} = \frac{N_{II}}{b \cdot l} \left(1 + \frac{6 \cdot e_1}{l}\right) = \frac{2088,7}{3,3 \cdot 3,9} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,40}{3,9}\right) = 262,16 \text{ кПа};$$

$$P_{\max} \leq 1,2R$$

$$262,16 \leq 285,6 \text{ кПа}$$

Проверяем величину минимального давления:

$$P_{\min} \geq 0 \quad \text{или, что то же,}$$

$$6e_1 \leq l \quad 6 \cdot 0,13 = 0,78 \text{ м} \leq l;$$

$$6e_2 \leq l \quad 6 \cdot 0,40 = 2,4 \text{ м} \leq l.$$

7. Расчет прочности фундамента с учетом действия моментов

Прочность фундамента на продавливание требуется проверить для пирамид продавливания под колонной, подколонника и второй ступени.

Расчет на поперечную силу может потребоваться по сечению подколонника и второй ступени, необходимость расчета устанавливается по условию:

$$l_k \leq \frac{h_0}{0,6};$$

– для сечения подколонника $l_k = 1,2 \text{ м}; h_0 = 0,55 \text{ м}$

$$\frac{0,55}{0,6} = 0,91 \leq l_k;$$

– для сечения по второй ступени $l_k = 0,9 \text{ м}; h_0 = 0,25 \text{ м}$

$$\frac{0,25}{0,6} = 0,42 \leq l_k,$$

т. е. расчет на действие поперечной силы производить не требуется.

Далее выполним расчет на продавливание по пирамиде по первой ступени (см. рисунок 5.2). b_p и l_p – меньший и больший размер верхнего основания пирамиды продавливания, в нашем примере это размеры поперечного сечения колонны 400 х 600 мм. Распределение давления происходит под углом 45° . Высота призмы – $h_0 = 0,75 \text{ м}$, периметр пирамиды продавливания первой ступени по подошве фундамента будет равен (см. рисунок 5.2):

$$U_m = 2(0,6 + 0,75 + 0,75) + 2(0,4 + 0,75 + 0,75) = 8,0 \text{ м};$$

$$N_{II} \leq \alpha \cdot R_{bt} U_m h_0;$$

$2888,7 \leq 1 \cdot 750 \cdot 8 \cdot 0,75$ – условие прочности на продавливание выполнено.

Принятый класс бетона В15, $R_{bt} = 750 \text{ кПа}$. Обеспечивает необходимую прочность на продавливание. α – коэффициент, принимаемый для тяжелого бетона равным 1,0.

8. Проверка прочности слабого подстилающего слоя основания

Под несущим слоем пылеватых песков залегает слабый слой суглинков, прочность которых необходимо проверить (п.5.6.25 СП 22.13330.2016).

По рисунку 3.2 глубина расположения толщи слабого грунта под подошвой фундамента $z = 2,70 \text{ м}$. Глубина расположения кровли слабого грунта от поверхности природного рельефа – 4,3 м. Определяем величины σ_{zg} и σ_{zp} на этой глубине.

Ниже уровня воды необходимо учитывать ее взвешивающее действие:

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i = 16,0 \cdot 1,5 + 16,9 \cdot 1,1 + 9,4 \cdot 1,7 = 58,6 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zp} = \alpha(p_{II} - \sigma_{zg0}) = \alpha \cdot p_0 = \alpha \cdot \sigma_{zg0}.$$

Величину $p_{II} = 224,5 \text{ кПа}$ принимаем по п. 6.

$$\sigma_{zg0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i = 16,0 \cdot 1,5 + 16,9 \cdot 0,1 = 25,7 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zp0} = p_0 = 224,5 - 25,7 = 198,8 \text{ кПа}.$$

Определим значения коэффициентов:

$$\xi = \frac{2z}{b} = \frac{2 \cdot 2,7}{3,3} = 1,64;$$

$$\eta = \frac{l}{b} = \frac{3,9}{3,3} = 1,18.$$

По таблице г. 3 Приложения Г (СП 22.13330. 2016) определим $\alpha = 0,459$ (по интерполяции). Тогда:

$$\sigma_{zp} = \alpha(p_{II} - \sigma_{zg0}) = \alpha \cdot \sigma_{zg0} = 0,459 \cdot 198,8 = 91,25 \text{ кПа}.$$

Определяем величину расчетного сопротивления слабого слоя грунта для условного фундамента:

$$b_z = \sqrt{\frac{N_{II}}{\sigma_{zp}} + \left(\frac{l-b}{2}\right)^2} - \frac{l-b}{2} = \sqrt{\frac{2888,7}{91,25} + \left(\frac{3,9-3,3}{2}\right)^2} - \frac{3,9-3,3}{2} = 5,3 \text{ м}.$$

Глубина залегания слабого слоя от уровня планировки $d = 4,3 \text{ м}$. Определим расчетное сопротивление грунта на данной глубине – R_z .

По таблице 5.4 (СП 22.13330.2016) коэффициент условий работы $\gamma_{c1} = 1,1$; $\gamma_{c2} = 1,0$ (см. примечание). Значения коэффициентов при $\varphi_{II} = 13^\circ$ $M_\gamma = 0,26$; $M_q = 2,05$; $M_c = 4,55$; $k = 1,0$ и $k_z = 1,0$ (при $b < 10 \text{ м}$).

$$\gamma'_{II} = \frac{\sigma_{zg}}{d} = \frac{58,6}{4,3} = 13,6 \text{ кН/м}^3; \quad \gamma_{II} = 19,5 \text{ кН/м}^3; \quad c_{II} = 1,3 \text{ кПа}.$$

Тогда расчетное сопротивление грунта основания под подошвой фундамента будет равно (заниженное значение).

$$R_1 = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \left[M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II} \right] =$$

$$= \frac{1,1 \cdot 1,0}{1,0} [0,26 \cdot 1,0 \cdot 5,3 \cdot 19,5 + 2,05 \cdot 4,3 \cdot 13,6 + 4,55 \cdot 1,3] = 167,98 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zg} \leq R_z$$

$$91,25 + 58,6 \leq 167,98 \text{ кПа}$$

Условие выполнено, следовательно, слабый слой выдержит передаваемое на него давление.

Вывод: Предварительно запроектированные размеры подошвы фундамента удовлетворяют требованиям по несущей способности грунтов основания. Но, как ранее уже отмечалось, основополагающим расчетом в данном случае будет проверка условия по деформациям основания.

Лекция 5.3. Расчет фундаментов по осадкам

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Виды и причины вертикальных деформаций: осадки, просадки, оседания, горизонтальные перемещения. Причины возникновения осадок: от периодически действующих нагрузок; от непрерывно возрастающих нагрузок; деформации грунта во времени. Осадки грунта основания при разработке котлованов. Определение осадки основания фундаментов различными методами: методом послойного суммирования; эквивалентного слоя (метод Цытовича); линейно-деформируемого слоя (метод Егорова). Проверка прочности подстилающего слоя.

Вопросы, выносимые для самостоятельного изучения.

1. Виды и причины вертикальных деформаций: осадки, просадки, оседания, горизонтальные перемещения.
2. Причины возникновения осадок: от периодически действующих нагрузок; от непрерывно возрастающих нагрузок; деформации грунта во времени.

При самостоятельном изучении данных вопросов следует обратить внимание на причины возникновения различного вида деформаций грунтов (оснований под фундаменты). Особое внимание – на влияние нагрузок на

характер деформаций, обусловленных их временной и количественной характеристиками.

При самостоятельном изучении данной темы приоритетным вопросом является владение методами определения величины осадок фундаментов.

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [8, с. 119–142; 7, с. 144–167]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 5.3. Расчет фундамента по осадкам

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании полученных результатов по проектированию столбчатого фундамента (Пр. 5.2) выполнить расчет основания фундаментов по деформациям (методом суммирования). Сделать заключение о полученных результатах расчета основания фундамента по деформациям (о допустимости величины осадки по требованиям нормативных документов).

Цель практического занятия. Приобретение навыков в проектировании и расчете фундаментов по деформациям (осадкам уплотнения).

В результате выполнения практических заданий студент должен:

– знать методику определения осадки методом послойного суммирования (метод Егорова для фундаментных плит);

– уметь делать заключение о пригодности основания фундамента для дальнейшей эксплуатации по прогнозируемой величине осадки.

Учебные пособия и нормативная литература: [3, с. 6–12; 24–42; Приложения; 11, с. 679–682].

Пример решения

Продолжение Пр. 5.2. Исходные данные: спроектировать фундамент под колонну крайнего ряда трехэтажного промышленного здания с полным каркасом в г. Санкт-Петербурге. Длина здания $L = 42$ м, высота $H = 16$ м. Нагрузки на фундамент на уровне его обреза представлены в таблице 5.2 (уточненные данные в таблице 5.6), УГВ залегает на глубине 2,6 м.

9. Расчет осадки основания методом суммирования

Дополнительное напряжение под подошвой фундамента от действия вертикальной нагрузки $\sigma_{zp0} = 198,8 \text{ кПа}$ и от собственного веса грунта $\sigma_{zg0} = 25,7 \text{ кПа}$ (см. п. 8).

Расчет осадки основания фундамента производим с учетом рекомендаций, изложенных в п. 5.6.31 по формуле (5.16), приведенной в СП 22.13330.2016.

Толщину основания разбиваем на элементарные слои с учетом границ природных слоев и положения УГВ.

Максимальную толщину слоя принимаем $0,4b = 0,4 \times 3,3 = 1,32 \text{ м}$.

Подготавливаем расчетную схему (рисунок 3.4).

Данные расчета приводим в табличной форме (таблица 3.22).

При вычислении σ_{zg} учитываем взвешивающее действие воды.

Примечание: Удельный вес грунта в результате взвешивающего действия воды γ_{sb} определяется как (в рассматриваемом примере дано в задании).

$$\gamma_{sb} = \gamma - \gamma_w = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}.$$

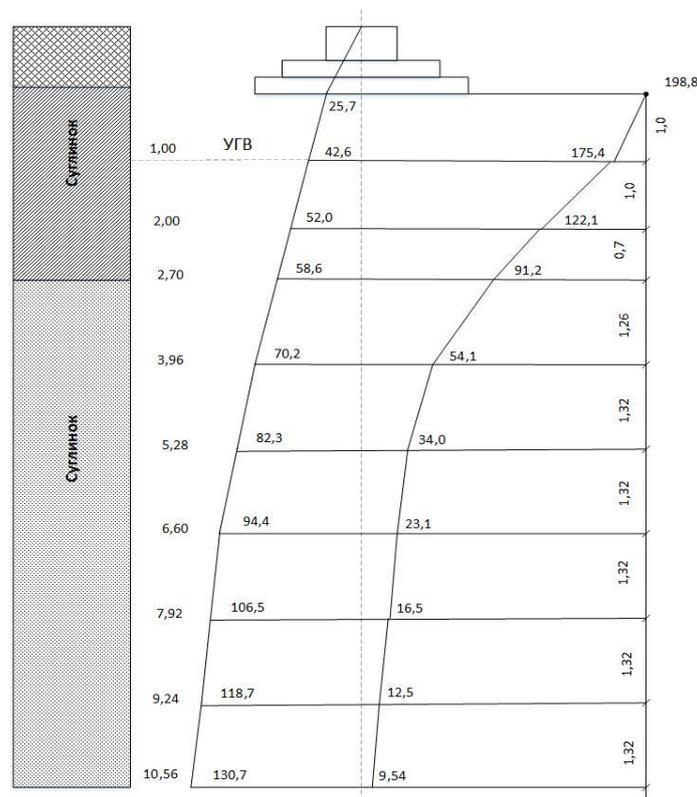


Рисунок 3.4 – Расчетная схема к определению осадки

Грунт № 1. Насыпной $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$, другие характеристики не определялись, мощность слоя 1,5 м.

Грунт № 2. Суглинок, плотностью $\rho = 1,69 \text{ т/м}^3$; удельный вес суглинка от взвешивающего действия воды $\gamma_{sb} = 9,4 \text{ кН/м}^3$; угол внутреннего трения $\varphi_{II} = 26^\circ$, коэффициент сцепления $c_{II} = 2,0 \text{ кПа}$, модуль деформации $E = 14000 \text{ кПа}$, мощность слоя – 2,7 м.

Грунт № 3. Суглинок плотностью $\rho = 1,95 \text{ т/м}^3$; удельный вес суглинка от взвешивающего действия воды $\gamma_{sb} = 9,2 \text{ кН/м}^3$; угол внутреннего трения $\varphi_{II} = 13^\circ$, коэффициент сцепления $c_{II} = 1,3 \text{ кПа}$, модуль деформации $E = 4500 \text{ кПа}$, мощность слоя – 1,7 м.

Грунт № 4. Суглинок плотностью $\rho = 2,01 \text{ м}^3$; удельный вес суглинка от взвешивающего действия воды γ_{sb} (не определен); угол внутреннего трения $\varphi_{II} = 18^\circ$, коэффициент сцепления $c_{II} = 6,0 \text{ кПа}$, модуль деформации $E = 22500 \text{ кПа}$, мощность слоя – 3,8 м.

10. Тогда, напряжение на кровле первого слоя при $h=0$:

$$\sigma_{zg} = 0; \quad 0,2\sigma_{zg} = 0.$$

Напряжение на уровне подошвы фундамента:

$$\sigma_{zg0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i = 16,0 \cdot 1,5 + 16,9 \cdot 0,1 = 25,7 \text{ кПа} \quad (\text{см. п. 8}).$$

Так, напряжение на границе первого элементарного слоя будет:

$$\sigma_{zg1} = \sigma_{zg0} + \gamma_1 \cdot h_1 = 25,7 + 16,9 \cdot 1,0 = 42,6 \text{ кПа} \quad \text{и т. д.}$$

$$\sigma_{zg2} = \sigma_{zg1} + \gamma_2 \cdot h_2 = 42,6 + 9,4 \cdot 1,0 = 52,0 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg3} = \sigma_{zg2} + \gamma_3 \cdot h_3 = 52,0 + 9,4 \cdot 0,7 = 58,6 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg4} = \sigma_{zg3} + \gamma_4 \cdot h_4 = 58,6 + 9,2 \cdot 1,26 = 70,2 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg5} = \sigma_{zg4} + \gamma_5 \cdot h_5 = 70,2 + 9,2 \cdot 1,32 = 82,3 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg6} = \sigma_{zg5} + \gamma_6 \cdot h_6 = 82,3 + 9,2 \cdot 1,32 = 94,4 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg7} = \sigma_{zg6} + \gamma_7 \cdot h_7 = 94,4 + 9,2 \cdot 1,32 = 106,5 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg8} = \sigma_{zg7} + \gamma_8 \cdot h_8 = 106,5 + 9,2 \cdot 1,32 = 118,6 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{zg9} = \sigma_{zg8} + \gamma_9 \cdot h_9 = 118,6 + 9,2 \cdot 1,32 = 130,7 \text{ кПа},$$

где $\sigma_{zp,i}$ – среднее напряжение на границе двух элементарных слоев от действия вертикальных нагрузок (последний столбец таблицы 3.22).

Таблица 3.22 – Определение осадки методом суммирования

Наименование грунта, E	Номер точки	z_i , м	$\xi = \frac{2z}{b}$	α , табл. г. 3 Прил. Г	σ_{zg} , кПа	$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p_0$, кПа	$\sigma_{zp,i}$ кПа
Суглинок, E = 14000 кПа	0	0	0	1,000	25,7	198,8	197,1 148,8 106,7 72,7
	1	1,00	0,61	0,883	42,6	175,4	
	2	2,00	1,21	0,614	52,0	122,1	
	3	2,70	1,64	0,459	58,6	91,24	
Суглинок, E = 4500 кПа	4	3,96	2,40	0,272	70,2	54,1	44,1
	5	5,28	3,20	0,171	82,3	34,0	28,6
Суглинок, E = 22500 кПа	6	6,60	4,00	0,116	94,4	23,1	19,8
	7	7,92	4,80	0,083	106,5	16,5	14,5
	8	9,24	5,60	0,063	118,6	12,5	11,0
	9	10,56	6,40	0,048	130,7	9,54	

Вычисляем суммарную осадку по формуле:

$$S = 0,8 \left[\frac{1}{14000} (197,1 \cdot 1,0 + 148,8 \cdot 1,0 + 106,7 \cdot 0,7) + \frac{1}{4500} (72,7 \cdot 1,26 + 44,1 \cdot 1,32) + \frac{1}{22500} (28,6 \cdot 1,32 + 19,8 \cdot 1,32 + 14,5 \cdot 1,32 + 11,0 \cdot 1,32) \right] = 6,3 \text{ см}$$

По п. 1 таблицы Д. 1 Приложения Д (СП 22.13330.2016) величина предельных деформаций для производственных и гражданских одноэтажных и многоэтажных зданий с полным железобетонным каркасом составляет 10 см.

Условие по деформациям выполнено:

$$S \leq S_{\max}.$$

Следовательно, принятые размеры столбчатого фундамента принимаем в качестве проектных размеров.

Вопросы для обсуждения к теме 5

1. Перечислите типы фундаментов, возводимых в открытых котлованах.
2. Назовите особенности проектирования оснований и фундаментов по предельным состояниям.
3. По каким нагрузкам рассчитываются основания и фундаменты при расчете по 1-й и 2-й группам предельных состояний?
4. Назовите особенности определения глубины заложения фундаментов исходя из инженерно-геологических условий строительной площадки.
5. Назовите способы определения расчетных прочностных и деформационных характеристик грунтов оснований.
6. Физический смысл формулы Пузыревского (по СП 22.13330.2016).
7. Перечислите общие требования к конструированию столбчатых фундаментов.
8. Каким образом можно определить размеры подошвы фундамента?
9. Определение давления под подошвой фундамента.
10. Перечислите виды вертикальных деформаций грунтов.
11. Назовите причины возникновения осадок грунтов.
12. Назовите виды и причины возникновения осадок грунта оснований под фундаменты при разработке открытых котлованов.
13. Суть метода определения осадок оснований под фундаменты методом послойного суммирования.
14. Суть метода определения осадок оснований под фундаменты методом эквивалентного слоя (Цытовича).
15. Суть метода определения осадок оснований под фундаменты методом линейно-деформируемого слоя (Егорова).
16. Суть способа проверки прочности подстилающего слоя.

Тема 6. Проектирование ленточных фундаментов

Лекция 6.1. Проектирование ленточных фундаментов при центрально приложенной нагрузке

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Общие сведения о ленточных фундаментах: сборные и монолитные ленточные фундаменты. Материалы, применяемые для ленточных фундаментов и стен подвалов. Проектирование сплошных и прерывистых лент фундаментов. Проектирование и расчет фундаментов зданий с подвалами. Графический способ определения размеров подошвы ленточного фундамента. Прерывистые ленточные фундаменты.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Прерывистые ленточные фундаменты

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на условия использования ленточных прерывистых фундаментов, а также на экономическую целесообразность их устройства.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам также рекомендуется обратить внимание на устройство системы водоотведения (дренажной системы) при уровнях грунтовых вод (УГВ), расположенных выше подошвы фундаментов. Рекомендации проектирования фундаментов без подвальных зданий изложены в СП 22.13330.2016 «Основания и фундаменты».

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [8, с. 247–252; 7, с. 178–192]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 6.1. Проектирование ленточного фундамента при центрально приложенной нагрузке

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании исходных данных по нагрузкам и инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) выполнить проектирование ленточного фундамента из сборных железобетонных конструкций (фундаментных плит и стеновых блоков). Составить спецификацию применяемых конструкций. Варианты заданий см. Приложения А, Б и В.

Цель практического занятия. Приобретение необходимых навыков при проектировании ленточных фундаментов из сборных железобетонных конструкций.

В результате выполнения практического задания студент должен:

– знать методику определения размеров подошвы ленточного фундамента;

– уметь выполнять расчеты по конструированию ленточных фундаментов для бесподвальных зданий и сооружений (аналитическим или графическим методом).

Учебные пособия и нормативная литература: [3, с. 6–12; 24–42; Приложения; 11, с. 679–682; 2, с. 4–24].

Задание. По исходным данным грунтовых условий, нагрузкам и района строительства (по вариантам, см. Приложения А, Б и В) определить ширину ленточного фундамента под стену жилого дома без подвала аналитическим или графическим методом. Составить спецификацию сборных элементов (ФЛ и ФБС). Недостающие исходные данные к вариантам заданий принять аналогичными рассматриваемому примеру.

Нормативная нагрузка по обрезу фундамента $N_{II} = 200 \text{ кН}$. Длина здания: $L = 36$ м, ширина 12,4 м. Высота здания: $H = 20,65$ м. Ширина стены фундамента: $t = 0,5$ м. Обрез фундамента выше уровня земли $a = 0,6$ м. Грунт под подошвой: песок пылеватый, средней плотности, влажный. Плотность грунта – 1850 кг/м³; удельный вес $\gamma_{II} = 18,5 \text{ кН/м}^3$. Коэффициент пористости грунта: $e = 0,65$. Данные о прочностных характеристиках грунта (φ_{II} и c_{II}) отсутствуют.

Примечание: 1. Глубина заложения фундамента в рассматриваемом примере принята $d_1 = 0,9$ м.

2. Необходимые прочностные характеристики грунтов могут быть взяты из ранее решенных практических заданий.

Вариант 1

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	$\rho_{s,з}$, т/м ³	w_p	w_L	w	ρ_s , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	231,1	Песок пылеватый	2,2	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	6,0	УГВ = 3,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	1,9	1,9	0,21	0,40	0,30	1,70	35	13	8,0	
		Глина со щебнем до 12 %	2,8	2,5	0,19	0,37	0,22	1,93	60	22	20,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,0	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	46,0	
2	229,9	Песок пылеватый	2,1	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	6,0	УГВ = 4,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	2,5	1,9	0,21	0,40	0,30	1,70	35	13	8,0	
		Глина со щебнем до 12 %	1,9	2,5	0,19	0,37	0,22	1,93	60	22	20,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,5	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	46,0	

Пример решения

1. Расчетное сопротивление песка пылеватого влажного в нашем примере $R_0 = 150 \text{ кПа}$. Ориентировочная ширина подошвы ленточного фундамента равна:

$$b = \frac{N_{II}}{R_0 - \gamma \cdot d_1} = \frac{200}{150 - 20 \cdot 0,9} = 1,51 \text{ м}.$$

Для дальнейших расчетов принимаем ширину подошвы фундамента $b = 1,6 \text{ м}$ и высоту подошвы $h = 0,3 \text{ м}$.

2. Коэффициент условий работы $\gamma_{c2} = 1,18$ при соотношении $L/H = 30/20,65 = 1,74$ (см. СП 22.13330.2016).

3. Нормативное значение угла внутреннего трения для песчаных грунтов при $e = 0,6$ $\varphi_{II} = 30^\circ$.

Нормативное значение удельного сцепления для песчаных грунтов при $e = 0,6$ $c_{II} = 4,0 \text{ кПа}$.

Значения коэффициентов $M_\gamma = 1,15$; $M_q = 5,59$; $M_c = 7,95$.

4. Тогда расчетное сопротивление грунта основания под подошвой фундамента будет равно (формула Пузыревского):

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] = ?$$

$$R = \frac{1,25 \cdot 1,18}{1,1} [1,15 \cdot 1,1 \cdot 1,6 \cdot 1,85 + 5,59 \cdot 0,9 \cdot 1,85 + (5,59 - 1) \cdot 0 \cdot 1,85 + 7,95 \cdot 4] = 217,5 \text{ кПа}$$

5. Вес материала фундамента (железобетон) примем равным $25 \text{ кН} / \text{м}^3$.

Вес 1 пог. м фундамента будет равен:

$$\begin{aligned} N_\phi &= 25bh + 25(d_1 - h + a)t = \\ &= 25 \cdot 1,6 \cdot 0,3 + 25(0,9 - 0,3 + 0,6)0,5 = 27 \text{ кН} \end{aligned}$$

Вес грунта на обрезах фундамента будет равен:

$$N_{cp} = \gamma_{II} (b - t)(d_1 - h) = 18,5(1,6 - 0,5)(0,9 - 0,3) = 12,2 \text{ кН}.$$

6. Среднее фактическое давление под подошвой фундаментной плиты с учетом собственного веса фундамента и грунта обратной засыпки на его ступени будет равно:

$$P_{cp} = \frac{N_0 + N_\phi + N_{cp}}{A} = \frac{200 + 27 + 12,2}{1,6 \cdot 1,0} = 149,5 \text{ кПа},$$

что существенно ниже расчетного сопротивления – 217,5 кПа.

Недонапряжение под подошвой фундамента составляет:

$$\left(\frac{R_0 - P_{cp}}{R_0} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{217,5 - 149,5}{217,5} \right) \cdot 100\% = 31,3\%.$$

Вывод: Ширина фундамента оказалась сильно завышенной, поскольку недонапряжение составляет 31,3 % (рекомендуемая величина – 10 %). В целях

экономии материалов ширину фундаментов следует уменьшить и повторно выполнить расчет. При этом следует помнить, что первостепенным расчетом будет являться проверка условия по допустимым осадкам.

Лекция 6.2. Проектирование ленточных фундаментов при внецентренно приложенной нагрузке

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Определение усилий в стене фундамента от нагрузок элементов зданий и сооружений, грунта обратной засыпки, а также неравномерных осадок оснований фундаментов. Определение размеров подошвы ленточного фундамента при внецентренно приложенной нагрузке для здания с подвалом. Расчет устойчивости фундамента при плоском сдвиге. Определение крена фундамента.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Определение крена фундамента

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на условия, при которых возникает крен фундамента, а также на мероприятия, которые могут быть предусмотрены в качестве проектных решений для их предотвращения.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам также следует обратить внимание на особенности определения усилий в стене фундаментов в зависимости от конструктивной схемы здания (жесткое защемление стена-перекрытие; гибкая или шарнирная связь стена-перекрытие и другие схемы). Уметь делать прогнозы о величине или невозможности деформаций фундаментов подвальных зданий и сооружений.

Рекомендуемая учебная литература и нормативные документы: [11, с. 685–698; 8, с. 247–252; 7, с. 178–192]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 6.2. Проектирование ленточного фундамента при внецентренно приложенной нагрузке

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании исходных данных по нагрузкам и инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) выполнить проектирование ленточного фундамента подвального здания. Составить спецификацию применяемых конструкций. Варианты заданий аналогичны предыдущему практическому заданию. Недостающие

исходные данные принять как в рассматриваемом примере (или самостоятельно, отобразив в исходных данных).

Цель практического занятия. Приобретение необходимых навыков при проектировании ленточных фундаментов из монолитного железобетона (сборных железобетонных конструкций) для зданий с подвалами при внецентренно приложенных нагрузках. Уметь выполнять расчеты на плоский сдвиг фундаментов зданий и сооружений, прогнозировать возможность появления крена здания и его техническую оценку.

В результате выполнения практического задания студент должен:

– знать методику определения размеров подошвы ленточного фундамента при внецентренно приложенных нагрузках для зданий с подвалами;

– уметь выполнять расчеты по определению усилий в стене фундамента, конструированию ленточных фундаментов зданий с подвалами (аналитическим или графическим методом).

Учебные пособия и нормативная литература: [3, с. 6–12; 24–42; Приложения; 11, с. 679–682; 2, с. 4–24].

Пример решения

Задание. Определить усилия в стене фундамента. Определить ширину подошвы фундамента. Длина здания: $L = 90$ м. Высота здания: $H = 22,5$ м. Глубина заложения фундамента $d_f = 2,8$ м.

Нагрузки, действующие по обрезу фундамента (на 1 п. м. стены):

$$N_1 = 230 \text{ кН}; \quad M_1 = 24 \text{ кНм};$$

$$N_{11} = 200 \text{ кН}; \quad M_{11} = 20 \text{ кНм}.$$

Грунтовые условия: песок пылеватый, плотный, влажный:

$$\gamma_1 = 21 \text{ кН/м}^3; \quad \varphi_1 = 24^\circ; \quad c_1 = 1,5 \text{ кПа};$$

$$\gamma_{11} = 19 \text{ кН/м}^3; \quad \varphi_{11} = 26^\circ; \quad c_{11} = 2 \text{ кПа}.$$

Определение усилий в стене фундамента

1. Грунт, который будет создавать давление на стену фундамента, является грунтом обратной засыпки, а не природного сложения, поэтому к его расчетным характеристикам следует применять поправочные коэффициенты.

$\gamma'_1 = 0,95 \cdot 21 = 19,95 \text{ кН/м}^3; \quad \varphi'_1 = 0,9 \cdot 24^\circ = 21,6^\circ; \quad c'_1 = 0$ (поскольку грунт обратной засыпки – песчаный).

2. Далее определим коэффициент

$$\lambda_a = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{21,6}{2} \right) = 0,4623. \text{ Давление на стену подвала}$$

q_p от нагрузки p составит:

$$q_p = \gamma_f p \sqrt{\lambda_a} = 1,2 \cdot 10 \sqrt{0,462} = 8,16 \text{ кН/м}.$$

4. Усилия в стене подвала от нагрузки p при наличии перекрытия над ним определим по таблице 13 (схема 2) [11].

Расчетная схема представлена на рисунке 3.5

$$Q_{B1} = q_p H_1 - Q_H = 8,16 \cdot 2,4 - 15,05 = 4,53 \text{ кН}$$

$$Q_{H1} = \frac{q_p H_1^3}{2H^3} \left(H - \frac{H_1}{4} \right) = \frac{8,16 \cdot 2,4^3}{2 \cdot 3^3} \left(3 - \frac{2,4}{4} \right) = 15,05 \text{ кН};$$

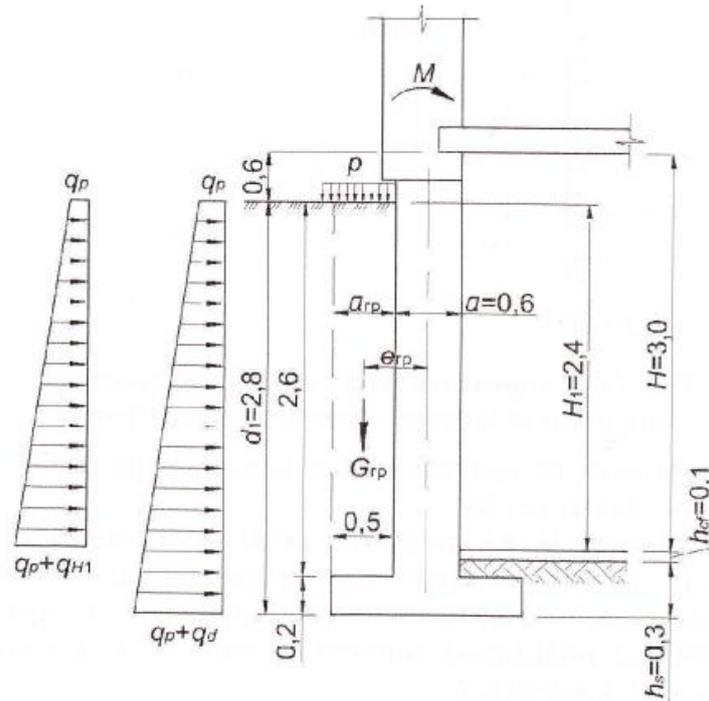


Рисунок 3.5 – Расчетная схема ленточного фундамента здания с подвалом

$$M_{B1} = 0;$$

$$M_{H1} = \frac{q_p H_1^2}{2H^3} \left(1 - \frac{H_1}{H} + \frac{H_1^2}{2H^2} \right) = \frac{8,16 \cdot 2,4^2}{2} \left(1 - \frac{2,4}{3} + \frac{2,4^2}{4 \cdot 3^2} \right) = 8,45 \text{ кНм}.$$

5. Давление грунта q_z на вертикальную стену на глубине 2,4 м составляет:

$$q_z = \gamma_f \gamma \cdot z \cdot \lambda_a - 2c \sqrt{\lambda_a} = 1,2 \cdot 19,95 \cdot 2,4 \cdot 0,462 - 0 = 26,55 \text{ кН/м}.$$

Тогда усилия в стене подвала с перекрытием над ним от давления грунта определим по формулам, приведенным в таблице 13 [11, с. 688].

$$Q_{H11} = \frac{q_z H_1}{40} \left(20 - 5 \frac{H_1^2}{H^2} + \frac{H_1^3}{H^3} \right) = \frac{26,55 \cdot 2,4}{40} \left(20 - 5 \frac{2,4^2}{3^2} + \frac{2,4^3}{3^3} \right) = 27,6 \text{ кН};$$

$$Q_B = 0,5 q_z H_1 - Q_{H11} = 0,5 \cdot 26,55 \cdot 2,4 - 27,6 = 4,26 \text{ кН};$$

$$M_{B11} = 0;$$

$$M_{H11} = \frac{q_z H_1^2}{120} \left(3 \frac{H_1^2}{H^2} - 15 \frac{H_1}{H} + 20 \right) = \frac{26,55 \cdot 2,4^2}{120} \left(3 \frac{2,4^2}{3^2} - 15 \frac{2,4}{3} + 20 \right) = 12,64 \text{ кНм}.$$

6. Изгибающий момент от вышележащих конструкций в верхнем сечении задан в условии и равен:

$$M_{B3} = M_1 = 24 \text{ кНм}.$$

Изгибающий момент в нижнем сечении стены от вышележащих конструкций равен:

$$M_{H3} = -0,5 M_B = -0,5 \cdot 24 = -12 \text{ кНм}.$$

7. Суммарная поперечная сила в верхнем сечении стены:

$$Q_B = Q_{B1} + Q_{B11} = 4,53 + 4,26 = 8,79 \text{ кН}.$$

Суммарная поперечная сила в нижнем сечении стены:

$$Q_H = Q_{H1} + Q_{H11} = 15,05 + 27,6 = 42,65 \text{ кН}.$$

Суммарный изгибающий момент в нижнем сечении стены:

$$M_H = M_{H1} + M_{H11} - M_{H3} = 8,45 + 12,64 - 12 = 9,09 \text{ кНм}.$$

Эпюры усилий в стене подвала представлены на рисунке 3.6

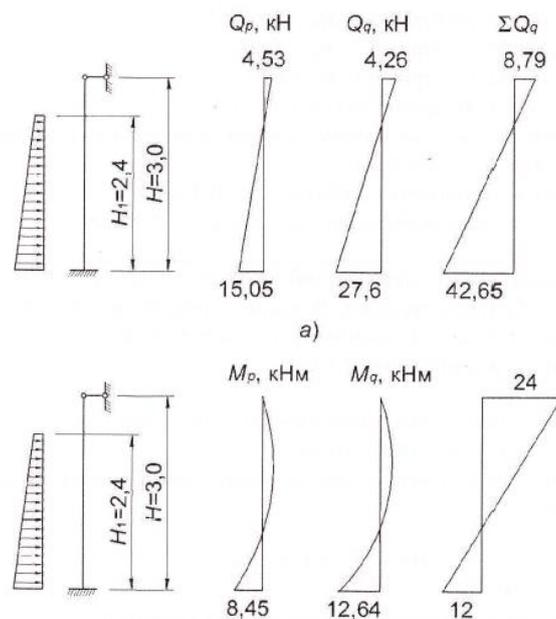


Рисунок 3.6 – Эпюры усилий в стене подвала

Определение ширины подошвы фундамента

В зависимости от материала фундамента стена рассчитывается по требованиям к расчету железобетонных или каменных конструкций как сжато-изгибаемый элемент, поскольку присутствует сжимающая сила N_1 и изгибающий момент M_H .

Расчет по определению ширины подошвы фундамента производится по II предельному состоянию по ранее рассмотренным методикам.

8. Расчетное сопротивление песка пылеватого, плотного, влажного $R_0 = 200 \text{ кПа}$. Тогда ориентировочная ширина подошвы фундамента будет:

$$b = \frac{N_{II}}{R_0 - \gamma_{cp} \cdot d} = \frac{200}{200 - 20 \cdot 2,8} = 1,39 \text{ м}.$$

Примечание. Поскольку фундамент здания с подвалом относится к внецентренно-сжатым, то увеличиваем его размер на 20 % и принимаем для дальнейших расчетов ширину фундамента $b = 1,6 \text{ м}$ и его высоту $h = 0,2 \text{ м}$.

9. Определяем расчетное сопротивление под подошвой фундамента. Вначале определим все необходимые значения и коэффициенты.

Коэффициент условий работы $\gamma_{c1} = 1,25$;

Коэффициент условий работы $\gamma_{c2} = 1,0$ при $L/H = 90/22,5 = 4$;

Коэффициент $M_\gamma = 0,84$; коэффициент $M_q = 4,37$; коэффициент $M_c = 6,9$; Толщина слоя грунта, залегающего выше подошвы фундамента со стороны подвала $h_s = 0,3 \text{ м}$ (см. рисунок 3.5).

Коэффициент $k = 1,1$ (т. к. прочностные характеристики приняты по приложению к СП, если они определены лабораторными методами, то $k = 1,0$);

Толщина конструкции пола подвала $h_{cf} = 0,1 \text{ м}$;

Удельный вес конструкции пола подвала $\gamma_{cf} = 22 \text{ кН/м}^3$;

Удельный вес грунта обратной засыпки $\gamma'_1 = 0,95 \cdot 19 = 18,05 \text{ кН/м}^3$;

Приведенная глубина заложения подошвы фундамента от пола в подвале:

$$d_1 = h_s + h_{cf} \frac{\gamma_{cf}}{\gamma_{11}} = 0,3 + 0,1 \frac{22}{18,05} = 0,422 \text{ м}.$$

Расстояние от поверхности земли до пола подвала $d_b = H_1 = 2,4 \text{ м}$;

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] =$$

$$= \frac{1,25 \cdot 1,0}{1,1} [0,84 \cdot 1,1 \cdot 1,6 \cdot 19 + 4,37 \cdot 0,422 \cdot 18,05 + (4,37 - 1) 2,4 \cdot 18,05 + 0] = 263,2 \text{ кПа}$$

10. Грунт, который будет создавать давление на стену фундамента, является грунтом обратной засыпки, а не природного сложения, поэтому к его расчетным характеристикам следует применять поправочные коэффициенты.

$\gamma'_{11} = 0,95 \cdot 19 = 18,05 \text{ кН/м}^3$; $\varphi'_{11} = 0,9 \cdot 26^\circ = 23,4^\circ$; $c'_{11} = 0$ (поскольку грунт обратной засыпки – песчаный).

$$\text{Коэффициент } \lambda_a = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{23,4}{2} \right) = 0,432.$$

11. Давление на стену подвала q_p от нагрузки p составит:

$$q_p = \gamma_f p \sqrt{\lambda_a} = 1,0 \cdot 10 \sqrt{0,432} = 6,57 \text{ кН/м}.$$

12. Изгибающий момент в уровне подошвы фундамента от нагрузки p при наличии перекрытия над ним определим по таблице 13, схема 2 [11]:

$$M_p = \frac{q_p H_1^2}{2} \left(1 - \frac{H_1}{H} + \frac{H_1^2}{4H^2} \right) = \frac{6,57 \cdot 2,8^2}{2} \left(1 - \frac{2,4}{3,4} + \frac{2,8^2}{4 \cdot 3,4^2} \right) = 8,91 \text{ кНм}.$$

13. Давление грунта q_z на вертикальную стену на глубине 2,8 м составляет:

$$q_z = \gamma_{11} z \lambda_a - 2c_1 \sqrt{\lambda_a} = 18,05 \cdot 2,8 \cdot 0,432 - 0 = 21,83 \text{ кН/м}.$$

Тогда изгибающий момент в уровне подошвы фундамента от давления грунта будет составлять:

$$M_z = \frac{q_z H_1^2}{120} \left(3 \frac{H_1^2}{H^2} - 15 \frac{H_1}{H} + 20 \right) = \frac{21,83 \cdot 2,8^2}{120} \left(3 \frac{2,8^2}{3,4^2} - 15 \frac{2,8}{3,4} + 20 \right) = 13,81 \text{ кНм}.$$

14. Изгибающий момент в верхнем сечении стены от вышележащих конструкций задан в условии:

$$M_B = M_{11} = 20 \text{ кНм}.$$

15. Вес грунта на обресе фундамента (см. рисунок 3.5):

$$G_{cp} = 2,6 \cdot 0,5 \cdot 18,05 = 23,5 \text{ кН}.$$

Эксцентриситет e_{cp} :

$$e_{cp} = \frac{a_{cp} + a}{a} = \frac{0,5 + 0,6}{2} = 0,55 \text{ м}.$$

Изгибающий момент от веса грунта на обресе фундамента будет:

$$M_{cp} = -G_{cp} e_{cp} = -23,5 \cdot 0,55 = -12,93 \text{ кНм}.$$

16. Тогда суммарный изгибающий момент по подошве фундамента (рисунок 3.7):

$$M = \pm M_B + M_p + M_z - M_{cp} = 20 + 8,91 + 13,81 - 12,93 = 29,8 \text{ кНм}.$$

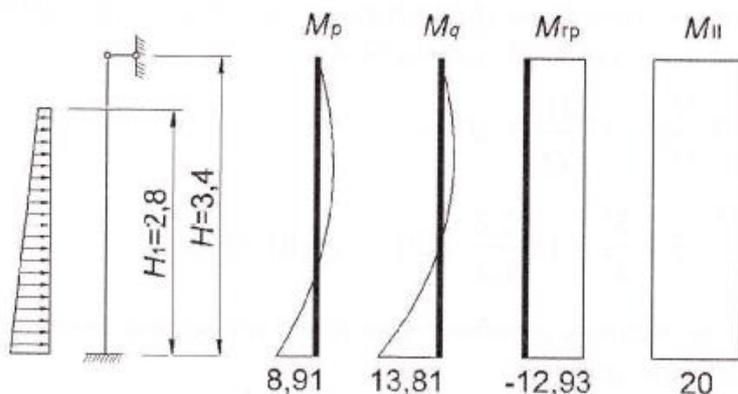


Рисунок 3.7 – Эпюры усилий в стене подвала

17. Момент сопротивления подошвы фундамента:

$$W = \frac{l \cdot b^2}{6} = \frac{1,0 \cdot 1,6^2}{6} = 0,43 \text{ м}^3.$$

Вес 1 п. м фундамента составит: $G_{\phi} = 44кН$.

18. Максимальное краевое давление под подошвой фундамента будет:

$$P_{\max} = \frac{N_{11} + G_{\phi} + G_{cp}}{A} + \frac{M}{W} = \frac{200 + 44 + 23,5}{1,0 \cdot 1,6} + \frac{29,8}{0,43} = 23кПа.$$

Проверка условия:

$$p_{\max} \leq 1,2R \\ 236,5кПа \leq 1,2 \cdot 263,2кПа$$

19. Минимальное краевое давление под подошвой фундамента будет:

$$P_{\min} = \frac{N_{11} + G_{\phi} + G_{cp}}{A} - \frac{M}{W} = \frac{200 + 44 + 23,5}{1,0 \cdot 1,6} - \frac{29,8}{0,43} = 97,9кПа.$$

Проверка условия:

$$p_{\min} \geq 0.$$

20. Среднее фактическое давление под подошвой фундамента будет равно:

$$P_{CP} = \frac{N_{11} + G_{\phi} + G_{cp}}{A} = \frac{200 + 44 + 23,5}{1,0 \cdot 1,6} + \frac{29,8}{0,43} = 167,2кПа.$$

Проверка условия:

$$p_{cp} \leq R \quad 167,2кПа \leq 236,2кПа - \text{условие выполнено.}$$

Вопросы для обсуждения к теме 6

1. Назовите конструктивные особенности устройства ленточных фундаментам под здания и сооружения.
2. Материалы, применяемые для ленточных фундаментам и стен подвалов.
3. Назовите особенности проектирование сплошных и прерывистых лент фундаментам.
4. Назовите характерные особенности при проектировании и расчете фундаментам зданий с подвалами.
5. Суть графического способа определения размеров подошвы фундамента.
6. Особенности проектирования и устройства прерывистых ленточных фундаментам.
7. Назовите особенности определения усилий в стене фундамента от нагрузок элементов зданий и сооружений и грунта обратной засыпки.
8. Назовите особенности определения размеров подошвы ленточного фундамента при внецентренно приложенной нагрузке.
9. Суть расчета устойчивости фундамента при плоском сдвиге.
10. Назовите конструктивные мероприятия, назначаемые при проектировании фундаментам для предотвращения плоского сдвига и крена.

Тема 7. Расчет конструкций фундаментов

Лекция 7.1. Расчет конструкции фундаментов

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Конструктивные требования при проектировании фундаментов. Определение усилий в фундаменте в центрально нагруженных и внецентренно нагруженных фундаментах. Расчет фундаментов по первой и второй группам предельных состояний: на действие поперечных усилий; подбор рабочей арматуры; расчет на продавливание; расчет по раскрытию трещин.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Конструктивные требования при проектировании фундаментов

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на правила проектирования фундаментов, назначения геометрических размеров, толщины защитного слоя бетона, выбор класса бетона и рабочей арматуры, назначение шага ее установки.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам также рекомендуется обратить внимание на особенности расчета фундаментов по материалу по 1-й и 2-й группам предельных состояний.

Рекомендуемая учебная литература: [11, с. 707–714]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 7.1. Расчет фундамента по материалу

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании исходных данных по нагрузкам и инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) выполнить расчет столбчатого (ленточного) фундамента по материалу: подобрать класс бетона; класс арматуры; определить диаметр и количество рабочей арматуры и выполнить ее расстановку; выполнить расчет тела фундамента на продавливание и при необходимости – расчет по образованию трещин. Составить спецификацию материалов.

Варианты заданий размещены ниже.

Цель практического занятия. Приобретение навыков расчета фундаментов по материалу.

В результате выполнения практического задания студент должен:

- знать конструктивные требования проектирования фундаментов и методику расчетов по материалу;
- уметь выполнять расчеты по определению усилий в фундаментах по первой и второй группам предельных состояний, подбирать класс бетона и

диаметр и количество стержней рабочей арматуры, их расстановку, назначение толщины защитного слоя бетона.

Учебные пособия и нормативная литература: [11, с. 714–722; 5, с. 4–44].

Пример решения

Задание. По результатам Пр. 5.2 и Пр. 5.3 выполнить расчет столбчатого фундамента по материалу. Вычертить схему армирования фундамента по принятым размерам.

Исходные данные к примеру представлены на рисунке 3.8: нагрузка приложена внецентренно. Размеры фундамента в плане 4,0 х 2,5 м. Фундамент двухступенчатый, высота каждой ступени $h = 0,4$ м; материал фундамента В40. Под фундамент будет выполнена бетонная подготовка. Нагрузки, действующие на фундамент по его обрезу:

- нормативные $N_{II} = 1000$ кН; $M_{II} = 600$ кНм;
- расчетные $N_I = 1100$ кН; $M_I = 700$ кНм.

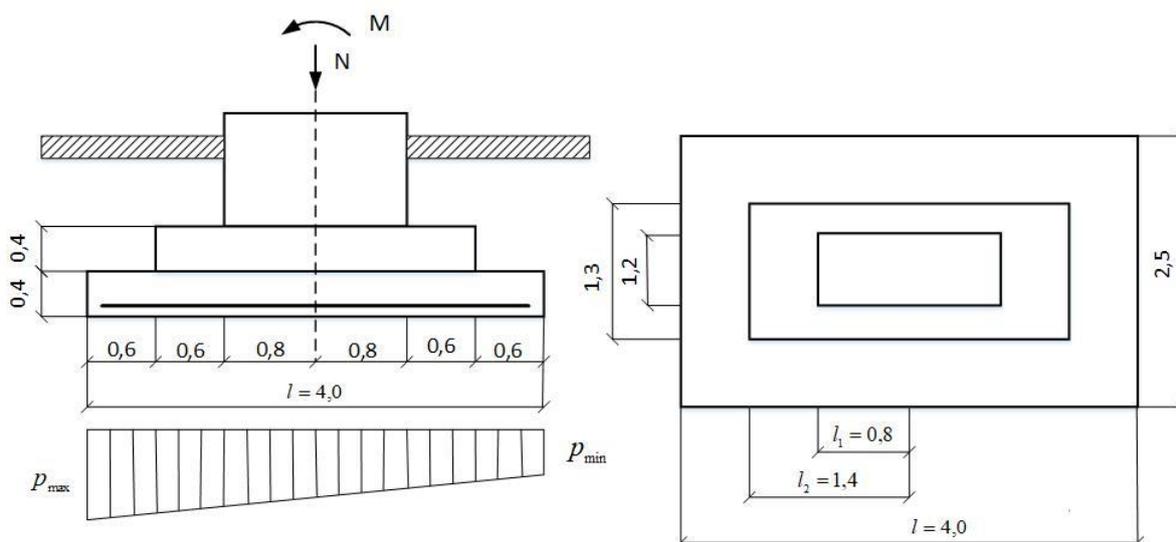


Рисунок 3.8 – Расчетная схема столбчатого фундамента

Определение усилий и расчетных характеристик материалов

Таблица 3.23 – Расчетные значения сопротивления бетона

Вид сопротивления	Расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие (осевое) R_b	6,0	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0
Растяжение (осевое) R_{bt}	0,56	0,75	0,9	1,05	1,15	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8

Расстояние от центра арматуры до растянутой грани бетонного сечения примем $a = 60 \text{ мм}$.

Рабочая высота сечения первой ступени $h_0 = h - a = 0,4 - 0,06 = 0,34 \text{ м}$;

Рабочая высота сечения второй ступени $h_0' = h_0 + h = 0,34 + 0,4 = 0,74 \text{ м}$;

Расчетное сопротивление бетона сжатию $R_b = 22,0 \text{ МПа}$ (таблица 3.23);

Расчетное сопротивление бетона сжатию $R_{bt} = 1,4 \text{ МПа}$ (таблица 3.23);

Расчетная нагрузка от фундамента $G_I^\phi = 262 \text{ кН}$;

Расчетная нагрузка от грунта на обрезах фундамента $G_I^{sp} = 72 \text{ кН}$;

Момент сопротивления подошвы фундамента $W = \frac{bl^2}{6} = \frac{2,5 \cdot 4,0^2}{6} = 6,66 \text{ м}^3$.

Среднее фактическое давление под подошвой фундамента равно

$$p_{cp} = \frac{N_I + G_I^\phi + G_I^{sp}}{A} = \frac{1100 + 262 + 72}{2,5 \cdot 4,0} = 143 \text{ кПа}.$$

Максимальное крайнее давление под подошвой фундамента от действия расчетных нагрузок:

$$p_I^{\max} = \frac{N_I + G_I^\phi + G_I^{sp}}{A} + \frac{M_I}{W} = \frac{1100 + 262 + 72}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{700}{6,66} = 248 \text{ кПа}.$$

Минимальное крайнее давление под подошвой фундамента от действия расчетных нагрузок:

$$p_I^{\min} = \frac{N_I + G_I^\phi + G_I^{sp}}{A} - \frac{M_I}{W} = \frac{1100 + 262 + 72}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{700}{6,66} = 38 \text{ кПа}.$$

Напряжение в грунте под подошвой фундамента на уровне обреза по грани второй ступени:

$$p_1 = \frac{\sum N_I}{A} + \frac{M_I}{W} \cdot \frac{l_2}{0,5l} = \frac{1100 + 262 + 72}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{700}{6,66} \cdot \frac{1,4}{0,5 \cdot 4,0} = 217 \text{ кПа}.$$

Напряжение в грунте под подошвой фундамента на уровне обреза по грани подколонника:

$$p_2 = \frac{\sum N_I}{A} + \frac{M_I}{W} \cdot \frac{l_1}{0,5l} = \frac{1100 + 262 + 72}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{700}{6,66} \cdot \frac{0,8}{0,5 \cdot 4,0} = 185 \text{ кПа}.$$

Поперечная сила в фундаменте на уровне обреза по грани второй ступени:

$$Q_1 = b \cdot (0,5l - l_2) \frac{p_{\max} + p_1}{2} = 2,5(0,5 \cdot 4,0 - 1,4) \frac{248 + 217}{2} = 349 \text{ кН}.$$

Поперечная сила в фундаменте на уровне обреза по грани подколонника:

$$Q_2 = b \cdot (0,5l - l_1) \frac{p_{\max} + p_2}{2} = 2,5(0,5 \cdot 4,0 - 0,8) \frac{248 + 185}{2} = 650 \text{ кН}.$$

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном:

$$Q_b = 0,5 R_{bt} b h_0' = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1,3 \cdot 0,74 = 670 \text{ кН}.$$

Проверка условия $Q \leq Q_b$ ($650 \text{ кН} < 670 \text{ кН}$) выполнена, следовательно, установка поперечной арматуры не требуется.

Длина проекции рассматриваемого наклонного сечения равна:

$$c = 0,5(l - l_k - 2h_0) = 0,5(4,0 - 0,8 - 2 \cdot 0,74) = 0,86.$$

Проверка условия:

$$Q = p'_{cp} [0,5(l - l_k) - c] \cdot b \leq \frac{1,5R_{bt} B h_0}{c}$$

$$Q = 0,143 [0,5(4,0 - 0,8) - 0,86] \cdot 2,5 = 0,275 \text{ МН} \leq \frac{1,5 \cdot 1,4 \cdot 2,5 \cdot 0,74^2}{0,86} = 3,34 \text{ МН}$$

Условие выполнено.

Расчет на продавливание

Продавливающая сила $F = N_l = 1100 \text{ кН}$.

Периметр контура расчетного поперечного сечения:

$$u = 2(b_1 + 2l_1 + 2h_0) = 2(1,2 + 2 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,74) = 8,56 \text{ м}.$$

Проверка условия:

$$F \leq 0,9R_{bt} u h_0.$$

$$1100 \leq 0,9 \cdot 1,4 \cdot 5,56 \cdot 0,74 = 7,98 \text{ МН} = 7980 \text{ кН} - \text{условие выполнено.}$$

Подбор рабочей арматуры

Изгибающий расчетный момент в первом сечении плиты у грани второй ступени определяется как:

$$M_1 = b \cdot (0,5l - l_1)^2 \frac{2p_{\max} + p_1}{6} = 2,5(0,5 \cdot 4,0 - 1,4)^2 \frac{2 \cdot 248 + 217}{6} = 107 \text{ кНм}.$$

Изгибающий расчетный момент во втором сечении плиты у грани подколонника:

$$M_2 = b \cdot (0,5l - l_2)^2 \frac{2p_{\max} + p_2}{6} = 2,5(0,5 \cdot 4,0 - 0,8)^2 \frac{2 \cdot 248 + 185}{6} = 409 \text{ кНм}.$$

Расчетное сопротивление рабочей арматуры А400 $R_s = 355 \text{ МПа}$ (таблица 3.24).

Таблица 3.24 – Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, Мпа

Класс арматуры	Растяжение арматуры		Сжатие арматуры R_{sc}
	Продольная R_s	Поперечная (хомуты и отогнутые стержни R_{sw})	
A240	215	170	215
A300	270	215	270
A400	355	285	355
A500	435	300	435 (400)
B500	410	300	410 (360)

Значение коэффициента a_m вычислим по формуле:

$$a_{m1} = \frac{M_1}{0,9R_b b h_0^2} = \frac{107 \cdot 100}{0,9 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 34^2} = 0,019;$$

$$a_{m2} = \frac{M_2}{0,9R_b b h_0^2} = \frac{409 \cdot 100}{0,9 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 74^2} = 0,015,$$

где $\xi_R = 0,39$ – значение коэффициента относительной высоты сжатой зоны, принимается по таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Значения коэффициентов a_R и ξ_R

Класс арматуры	A240	A300	A400	A500	A600
ξ_R	0,612	0,577	0,531	0,493	0,502
a_R	0,425	0,411	0,390	0,372	0,376

Проверка условия:

$$a_m < a_R \quad (0,015 \text{ и } 0,019 < 0,39)$$

– выполнено, сжатая арматура по расчету не требуется.

Требуемая площадь сечения растянутой арматуры на всю ширину равна:

$$A_{s1} = 0,9R_b b h_0 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2a_{m1}})}{R_s} = 0,9 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 34 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,019})}{35,5} = 9,09 \text{ см}^2;$$

$$A_{s2} = 0,9R_b b h_0 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2a_{m2}})}{R_s} = 0,9 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 74 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,015})}{35,5} = 15,6 \text{ см}^2$$

Принимаем 13 стержней диаметром 14 мм класса А400 с шагом 200 мм $A_s = 20,0 \text{ см}^2$ (см. сортамент арматуры).

Проверка процента армирования:

$$\mu_2 = \frac{A_s}{b h_0 + b_2 h} 100\% = \frac{20,0}{250 \cdot 34 + 130 \cdot 40} 100 = 0,15 \% > 0,1 \%;$$

$$\mu_1 = \frac{A_s}{b h_0} 100\% = \frac{20,0}{250 \cdot 34} 100 = 0,24 \% > 0,1 \%.$$

Примечание. В направлении меньшей стороны фундамента арматура подбирается по среднему напряжению грунта.

Изгибающий расчетный момент в первом сечении плиты у грани второй ступени определяется как:

$$M_1 = 0,125 p_{cp} l (b - b_2)^2 = 0,125 \cdot 143 \cdot 4,0 \cdot (2,5 - 1,3)^2 = 103 \text{ кНм}.$$

Изгибающий расчетный момент во втором сечении плиты у грани подколонника:

$$M_2 = 0,125 p_{cp} l (b - b_1)^2 = 0,125 \cdot 143 \cdot 4,0 \cdot (2,5 - 1,2)^2 = 121 \text{ кНм}.$$

Значение коэффициента a_m вычислим по формуле:

$$a_{m1} = \frac{M_1}{0,9R_b b h_0^2} = \frac{103 \cdot 100}{0,9 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 34^2} = 0,011;$$

$$a_{m2} = \frac{M_2}{0,9R_b b h_0^2} = \frac{121 \cdot 100}{0,9 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 74^2} = 0,003,$$

где $\xi_R = 0,39$ – значение коэффициента относительной высоты сжатой зоны, принимается по таблице 3.25.

Проверка условия:

$$a_m < a_R \quad (0,011 \text{ и } 0,003 < 0,39)$$

– выполнено, сжатая арматура по расчету не требуется.

Требуемая площадь сечения растянутой арматуры на всю ширину равна:

$$A_{s1} = 0,9R_b l h_0 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2a_{m1}})}{R_s} = 0,9 \cdot 2,2 \cdot 400 \cdot 34 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,011})}{35,5} = 8,39 \text{ см}^2;$$

$$A_{s2} = 0,9R_b l h_0 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2a_{m2}})}{R_s} = 0,9 \cdot 2,2 \cdot 400 \cdot 74 \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,003})}{35,5} = 4,96 \text{ см}^2.$$

Принимаем 20 стержней диаметром 8 мм класса А400 с шагом 200 мм
 $A_s = 10,04 \text{ см}^2$.

Расчет по раскрытию трещин

Расчет по раскрытию трещин относится ко II группе предельных состояний, поэтому учитываются нормативные значения нагрузок и характеристики материалов.

Приложенные нормативны нагрузки $N_{II} = 1000 \text{ кН}$; $M_{II} = 600 \text{ кНм}$;

Нормативная нагрузка от фундамента $G_{II}^{\phi} = 238 \text{ кН}$;

Нормативная нагрузка от грунта на обрезах фундамента $G_{II}^{sp} = 60 \text{ кН}$.

Максимальное краевое давление под подошвой фундамента от действия расчетных нагрузок:

$$p_{II}^{\max} = \frac{N_{II} + G_{II}^{\phi} + G_{II}^{sp}}{A} + \frac{M_{II}}{W} = \frac{1000 + 238 + 60}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{600}{6,66} = 220 \text{ кПа}.$$

Напряжение в грунте под подошвой фундамента на уровне обреза по грани второй ступени:

$$p_1 = \frac{\sum N_{II}}{A} + \frac{M_{II}}{W} \cdot \frac{l_2}{0,5l} = \frac{1000 + 238 + 60}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{600}{6,66} \cdot \frac{1,4}{0,5 \cdot 4,0} = 193 \text{ кПа}.$$

Напряжение в грунте под подошвой фундамента на уровне обреза по грани подколонника:

$$p_2 = \frac{\sum N_{II}}{A} + \frac{M_{II}}{W} \cdot \frac{l_1}{0,5l} = \frac{1000 + 238 + 60}{2,5 \cdot 4,0} + \frac{600}{6,66} \cdot \frac{0,8}{0,5 \cdot 4,0} = 166 \text{ кПа}.$$

Изгибающий расчетный момент в первом сечении плиты у грани второй ступени определяется как:

$$M_1 = b \cdot (0,5l - l_1)^2 \frac{2p_{\max} + p_1}{6} = 2,5(0,5 \cdot 4,0 - 1,4)^2 \frac{2 \cdot 220 + 193}{6} = 95 \text{ кНм}.$$

Изгибающий расчетный момент во втором сечении плиты у грани подколонника:

$$M_2 = b \cdot (0,5l - l_2)^2 \frac{2p_{\max} + p_2}{6} = 2,5(0,5 \cdot 4,0 - 0,8)^2 \frac{2 \cdot 220 + 166}{6} = 364 \text{ кНм}.$$

Модуль упругости бетона класса В40 $E_b = 36000 \text{ МПа}$ (таблица 3.26).

Таблица 3.26 – Значения модуля упругости бетона

Значения начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении E_b , $\text{МПа} \cdot 10^3$, при классе бетона по прочности на сжатие										
B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19,0	24,0	27,5	30,0	32,5	34,5	36,0	37,0	38,0	39,0	39,5

Модуль упругости арматуры $E_s = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Значение $a = E_s/E_b = 20 \cdot 104 / 3,6 \cdot 104 = 5,56$.

Значение коэффициент армирования сечения вычислено ранее:

$$\mu_1 = 0,24 \% (0,0024);$$

$$\mu_2 = 0,15 \% (0,0015).$$

Упругопластический момент сопротивления W_{pl} подошвы фундамента для прямоугольного сечения в сечении второй ступени определяется как:

$$W_{pl1} = (0,292 + 1,5a\mu)bh^2 = (0,292 + 1,5 \cdot 5,56 \cdot 0,0024) \cdot 2,5 \cdot 0,4^2 = 0,125 \text{ м}^3.$$

Упругопластический момент сопротивления W_{pl} подошвы фундамента для прямоугольного сечения в сечении подколонника определяется:

$$W_{pl2} = \left(0,292 + 0,75 \left(\frac{(b - b_2)h}{b(h + h)} + 2a\mu_{s2} \right) \right) b(h + h)^2 =$$

$$= \left(0,292 + 0,75 \left(\frac{(2,5 - 1,3) \cdot 0,4}{2,5 \cdot 0,8} + 2 \cdot 5,56 \cdot 0,0015 \right) \right) \cdot 2,5 \cdot 0,8^2 = 0,778 \text{ м}^3$$

Расчетное сопротивление бетона растяжению по второй группе предельных состояний $R_{bt, Ser} = 2,1 \text{ МПа}$ определяется по таблице 3.27.

Таблица 3.27 – Расчетные значения сопротивления бетона

Вид сопротивления	Расчетное значение сопротивления бетона на растяжение для предельных состояний второй группы и $R_{bt, Ser}$ МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Растяжение осевое $R_{bt, Ser}$	0,85	1,1	1,35	1,55	1,75	1,95	2,1	2,25	2,45	2,6	2,75

Момент образования трещин в бетоне определяют по формулам:

$$M_{crc1} = R_{bt, Ser} W_{pl1} = 2,1 \cdot 0,125 = 0,263 \text{ МНм};$$

$$M_{crc2} = R_{bt, Ser} W_{pl2} = 2,1 \cdot 0,778 = 1,63 \text{ МНм}.$$

Проверка условия:

$$M_1 \leq M_{crc1} \quad (95 \text{ кНм} < 263,0 \text{ кНм});$$

$$M_2 \leq M_{crc2} \quad (364 \text{ кНм} < 1630,0 \text{ кНм}).$$

Условие прочности по образованию трещин выполнено, следовательно, трещины в теле фундамента не образуются.

Результаты расчетов и конструирования столбчатого фундамента оформляются в виде рабочего чертежа. Пример оформления чертежа представлен на рисунке 3.9.

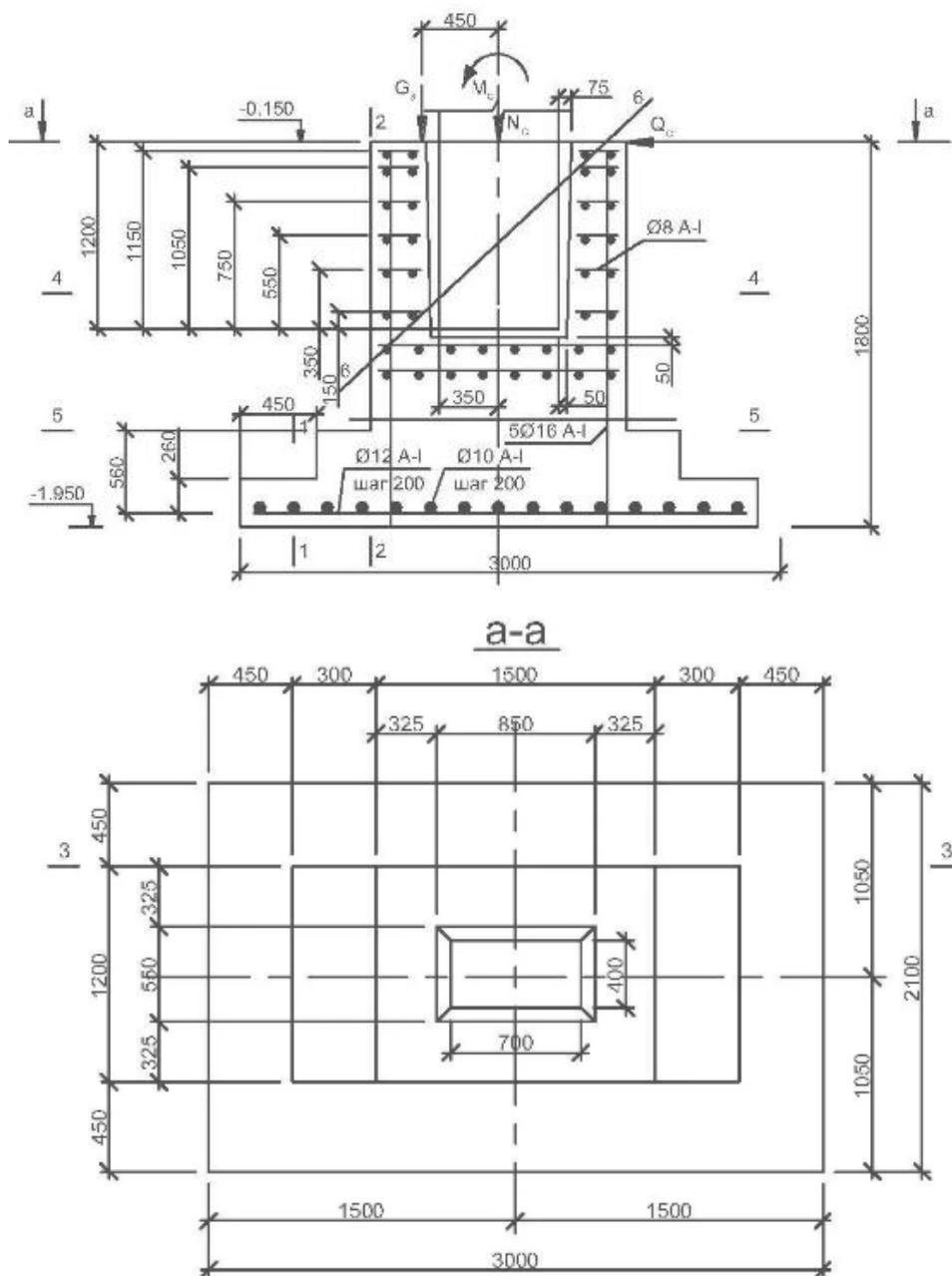


Рисунок 3.9 – Пример оформления чертежа

Вопросы для обсуждения к теме 7

1. Перечислите конструктивные требования к материалам при проектировании фундаментов.
2. Перечислите усилия, возникающие в фундаментах.
3. В чем состоит суть расчета фундаментов по 1-й и 2-й группам предельных состояний?
4. В чем состоит суть проверки условия на действие поперечных усилий?
5. Каков порядок расчета рабочей арматуры, требования к выбору, назначение шага установки и толщины защитного слоя бетона?

Тема 8. Свайные фундаменты

Лекция 8.1. Проектирование свайных фундаментов

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Виды свайных фундаментов. Способы погружения и типы свай. Сваи, изготавливаемые в грунтах основания. Определение несущей способности свай: статический метод; динамический метод; по нормативным документам (аналитический метод). Расчет свайных фундаментов по 1-й и 2-й группам предельных состояний. Условия применения свайных фундаментов и их конструирование. Основные типы фундаментов глубокого заложения. Опускные колодцы. Фундаменты, устраиваемые методом «стена в грунте». Основы расчета фундаментов глубокого заложения.

Вопросы, выносимые для самостоятельного изучения

1. Виды свайных фундаментов.
2. Способы погружения свай в грунт.
3. Сваи, изготавливаемые в грунте.

При самостоятельном изучении видов свайных фундаментов следует обратить внимание на классификацию, их конструктивные элементы (сваи, типы ростверков), особенности работы свай под нагрузкой при различных типах ростверков, а также на материалы, из которых изготавливаются сваи.

При изучении вопроса способа погружения свай в грунт следует обратить внимание на причины, оказывающие влияние на выбор того или иного способа, а также машины и механизмы, применяемые для этих целей.

При изучении третьего вопроса следует отметить принципиальные способы изготовления свай в грунте (из всего их многообразия, более 100 разновидностей).

В процессе самостоятельной работы над темой студентам также рекомендуется изучить особенности принятия решений в пользу выбора свайных фундаментов по различным критериям: надежность; экономичность; технологичность; простота изготовления и другим параметрам; особенности проектирования таких типов фундаментов глубокого заложения как: опускные колодцы, «стена в грунте».

Рекомендуемая учебная литература: [11, с. 722–741; 8, с. 252–284; 7, с. 195–237; 4, с. 8–44]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 8.1. Проектирование свайного фундамента

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании исходных данных по нагрузкам и инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) выполнить проектирование свайного фундамента: подобрать тип свай; определить длину; проверить несущую способность сваи по грунту; определить количество свай в кусте (ростверке) и величину их осадки.

Практическое занятие является логическим продолжением вариативного проектирования столбчатого фундамента Пр. 5.2 (Приложения А, Б и В). Недостающие исходные данные к расчету свайного фундамента принять аналогичными рассматриваемому примеру.

Цель практического занятия. Приобретение навыков расчета свайных фундаментов.

В результате выполнения практического задания студент должен:

– знать конструктивные требования к проектированию и методику расчета свайных фундаментов по первой и второй группам предельных состояний; способы погружения свай в грунт;

– уметь выполнять расчеты свайных фундаментов; определять несущую способность сваи по грунту; проектировать ростверки; расставлять сваи в ростверке; определять величину осадки свайного фундамента.

Учебные пособия и нормативная литература: [11, с. 722–741; 4, с. 8–44].

Пример решения

Задание. Выполнить расчет свайного фундамента под колонну общественного здания. Глубина заложения подошвы ростверка $h = 0,8$ м. Длина сваи $L_{св} = 5,5$ м. Размеры поперечного сечения сваи $b \times b = 0,3 \times 0,3$ м, длина острия сваи $l = 0,25$ м. Сваи погружаются с помощью дизель-молота. Длина здания $L = 91,8$ м, высота здания $H = 18$ м. Нагрузки, действующие по обрезу фундамента с учетом собственного веса: $N_I = 1000$ кНм; $N_{II} = 820$ кНм.

Расчетное сопротивление по боковой поверхности сваи в первом слое грунта при глубине заложения $h_1 = 1,8$ м составляет $f_1 = 19,8$ кПа (таблица 7.3 СП 24.13330.2011).

Расчетное сопротивление по боковой поверхности сваи в первом слое грунта при глубине заложения $h_2 = 3,2$ м составляет $f_2 = 25,4$ кПа.

Расчетное сопротивление по боковой поверхности сваи во втором слое грунта при средней глубине заложения $h_3 = 4,45$ м составляет $f_3 = 16,5$ кПа.

Расчетное сопротивление по боковой поверхности сваи в третьем слое грунта при средней глубине заложения $h_4 = 5,78$ м составляет $f_4 = 41,6$ кПа.

Коэффициент условий работы сваи в грунте $\gamma_c = 1,0$.

Коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи $\gamma_{cR} = 1,0$.

Коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности сваи $\gamma_{cf} = 1,0$.

Несущая способность одиночной сваи определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \gamma_{cf} \sum f_i h_i) = 1,0(1,0 \cdot 2350 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 1,0 \cdot (19,8 \cdot 2,0 + 25,4 \cdot 0,8 + 16,5 \cdot 1,7 + 41,6 \cdot 0,95)) = 364 \text{ кН}$$

Коэффициент надежности по грунту $\gamma_k = 1,4$.

Допустимая расчетная нагрузка на сваю по грунту:

$$F = \frac{F_d}{\gamma_k} = \frac{364}{1,4} = 260 \text{ кН}.$$

Требуемое количество свай:

$$n = \frac{N_l}{F} = \frac{1000}{260} = 3,85.$$

Принимаем число свай $n = 4$.

Угол внутреннего трения ИГЭ № 1 для песчаного грунта $\varphi_{II,1} = 29,4^\circ$.

Угол внутреннего трения ИГЭ № 2 для глинистых грунтов $\varphi_{II,2} = 24,6^\circ$.

Угол внутреннего трения ИГЭ № 3 для песчаных грунтов $\varphi_{II,3} = 34^\circ$.

Усредненный угол внутреннего трения грунтов, прорезываемых свайей, определяется по формуле:

$$\varphi_{II,сп} = 0,25 \cdot \frac{\sum_0^h \varphi_{II,i} h_i}{\sum h_i} = 0,25 \cdot \frac{(29,4 \cdot 2,8 + 24,6 \cdot 1,7 + 34 \cdot 1,2)}{2,8 + 1,7 + 1,2} = 7^\circ.$$

Ширина условного фундамента (рисунок 3.10):

$$B_{ycl} = 0,9 + 0,3 + 2(2,8 + 1,7 + 1,2) \cdot \text{tg} 7^\circ = 2,6 \text{ м}.$$

Вес грунта в объеме АБВГ:

$$G_{сп} = 3,6 \cdot 2,6 \cdot 2,6 \cdot 18,5 + 1,7 \cdot 2,6 \cdot 2,6 \cdot 19,5 + 0,6 \cdot 2,6 \cdot 2,6 \cdot 20 + 0,6 \cdot 2,6 \cdot 2,6 \cdot 10,1 = 796 \text{ кН}$$

Давление под подошвой условного фундамента определяется как:

$$p_{cp} = \frac{N_I + G_{cp}}{A} = \frac{820 + 796}{2,6 \cdot 2,6} = 239 \text{ кПа}.$$

Удельное сцепление грунта, на который опирается условный фундамент определим по таблице Б1 Приложения Б СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений $c_{II,2} = 3 \text{ кПа}$.

Коэффициент $M_\gamma = 1,55$; Коэффициент $M_q = 7,22$; Коэффициент $M_c = 9,22$. Значение коэффициента $k = 1,1$.

Удельный вес песка третьего слоя с учетом взвешивающего действия воды:

$$\gamma_{sb,1} = \gamma_{II} - \gamma_w = 20 - 10 = 10 \text{ кН/м}^3.$$

Усредненный вес грунтов, залегающих выше подошвы условного фундамента:

$$\gamma_{II}' = \frac{18,5 \cdot 3,6 + 19,5 \cdot 1,7 + 20 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,6}{3,6 + 1,7 + 1,2} = 18,1 \text{ кН/м}^3.$$

По таблице 5.4 (СП 22.13330.2016) коэффициент условий работы $\gamma_{c1} = 1,3$; $\gamma_{c2} = 1,0$ при соотношении $L/H = 91,8/18 = 5,1$. Тогда расчетное сопротивление грунта основания под подошвой фундамента будет равно (заниженное значение):

$$R_1 = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma_{II}' + (M_q - 1) d_b \gamma_{II}' + M_c c_{II}] =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 1,0}{1,1} [1,55 \cdot 1,0 \cdot 2,6 \cdot 10,1 + 7,22 \cdot 6,5 \cdot 18,1 + 0 + 9,22 \cdot 3,0] = 1190 \text{ кПа}.$$

Проверка условия: $p_{cp} \leq R$? $239 \text{ кПа} < 1190 \text{ кПа}$ – условие выполнено.

Расчет осадки фундамента

Напряжение на кровле первого слоя при $h=0$ (рисунок 3.11):

$$\sigma_{zg0} = 0; \quad 0,2\sigma_{zg0} = 0.$$

Напряжение по подошве первого слоя при $h_1 = 3,6 \text{ м}$:

$$\sigma_{zg1} = \sigma_{zg0} + \gamma_1 h_1 = 0 + 18,5 \cdot 3,6 = 66,6 \text{ кПа}; \quad 0,2\sigma_{zg1} = 13,3 \text{ кПа}.$$

Напряжение по подошве второго слоя при $h_2 = 1,7 \text{ м}$:

$$\sigma_{zg2} = \sigma_{zg1} + \gamma_2 h_2 = 66,6 + 19,5 \cdot 1,7 = 99,8 \text{ кПа}; \quad 0,2\sigma_{zg2} = 20 \text{ кПа}.$$

Напряжение в третьем слое на уровне грунтовых вод:

$$\sigma_{zg3} = \sigma_{zg2} + \gamma_3 h_3 = 99,8 + 20 \cdot 0,6 = 111,8 \text{ кПа}; \quad 0,2\sigma_{zg3} = 22,4 \text{ кПа}.$$

Удельный вес третьего слоя с учетом взвешивающего действия воды:

$$\gamma_{sb3} = \frac{\gamma_{s3} - \gamma_w}{1 + e} = \frac{26,14 - 10,0}{1 + 0,598} = 10,1 \text{ кН/м}^3$$

Напряжение по подошве третьего слоя с учетом взвешивающего действия ВОДЫ:

$$\sigma'_{zg3} = \sigma_{zg3} + \gamma_{sb3} h'_3 = 111,8 + 10,1 \cdot 0,6 = 117,8 \text{ кПа}; \quad 0,2\sigma'_{zg3} = 23,6 \text{ кПа}.$$

Напряжение по подошве условного фундамента с учетом взвешивающего действия ВОДЫ:

$$\sigma_{zg3} = \sigma'_{zg3} + \gamma_{sb3} h_3 = 117,8 + 10,1 \cdot (2,2 - 1,2) = 127,8 \text{ кПа}; \quad 0,2\sigma_{zg3} = 25,6 \text{ кПа}.$$

Удельный вес четвертого слоя с учетом взвешивающего действия ВОДЫ:

$$\gamma_{sb4} = \frac{\gamma_{sb4} - \gamma_w}{1 + e} = \frac{27,8 - 10,0}{1 + 0,779} = 10,0 \text{ кН / м}^3.$$

Напряжение по подошве четвертого слоя с учетом взвешивающего действия ВОДЫ:

$$\sigma_{zg4} = \sigma_{zg3} + \gamma_{sb4} h_4 = 127,8 + 10,0 \cdot 3,4 = 161,8 \text{ кПа}; \quad 0,2\sigma_{zg4} = 32,4 \text{ кПа}.$$

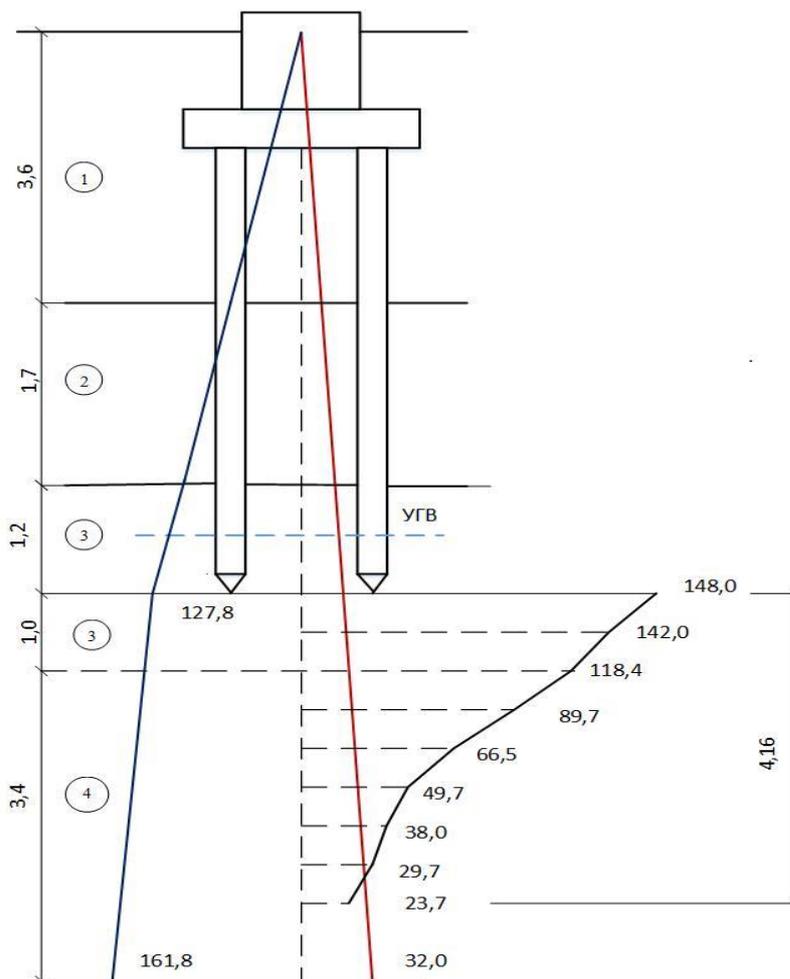


Рисунок 3.11 – Расчетная схема к определению осадки фундамента

Дополнительное давление под подошвой условного фундамента:

$$p = p_{cp} - \sigma'_{zg3} = 276 - 127,8 = 148,2 \text{ кПа} \approx 148 \text{ кПа}.$$

Отношение длины условного фундамента к его ширине:

$$\eta = \frac{l}{b} = \frac{2,6}{2,6} = 1,0.$$

Чтобы избежать интерполяции (таблица 5.8 СП 22.13330.2011), зададимся соотношением $\xi = 0,4$:

$$z = \frac{\xi b}{2} = \frac{0,4 \cdot 2,6}{2} = 0,52 \text{ м.}$$

Проверка условия:

$$h_i \leq 0,4b \quad (0,52 < 1,04) \text{ – условие выполняется.}$$

Нижнюю границу сжимаемой толщи находим по точке пересечения вспомогательной эпюры и эпюры дополнительных напряжений, т. к. при вычислении осадки фундамента необходимо выполнение условия:

$$\sigma_z \leq 0,2\sigma_{zg}.$$

Мощность сжимаемого слоя составляет $H=4,16 \text{ м}$ (таблица 3.28).

Таблица 3.28 – Расчет послойных напряжений в сжимаемой толще грунта

Грунт	$z, \text{ м}$	$\xi = 2z/b$	a	$\sigma_p = ap$ кПа	$E,$ кПа
Песок плотный	0	0	1,0	148,0	32000
	0,52	0,4	0,96	142,0	
Суглинок тугопластичный	1,04	0,8	0,80	118,4	30000
	1,56	1,2	0,606	89,7	
	2,08	1,6	0,449	66,5	
	2,6	2,0	0,336	49,7	
	3,12	2,4	0,257	38,0	
	3,64	2,8	0,201	29,7	
	4,16	3,2	0,16	23,7	

Осадка фундамента определяется методом послойного суммирования по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_p \cdot h_i}{E} = \frac{0,8 \cdot 0,52}{32000} \left(\frac{148 + 142}{2} \right) + \frac{0,8 \cdot 0,52}{30000} \left(\frac{118,4 + 89,7}{2} + \frac{89,7 + 66,5}{2} + \frac{66,5 + 49,7}{2} \right) + \frac{0,8 \cdot 0,52}{30000} \left(\frac{49,7 + 38}{2} + \frac{38 + 29,7}{2} + \frac{29,7 + 23,7}{2} \right) = 0,00666 \text{ м} = 0,7 \text{ см}$$

Допускаемая осадка фундамента для здания с железобетонным каркасом принимается по СП 22.13330.2011 и равна:

$$s_u = 10 \text{ см.}$$

Следовательно, условие выполнено, прогнозируемая осадка меньше предельно допустимого значения.

Вопросы для обсуждения к теме 8

1. Перечислите виды свайных фундаментов.
2. Назовите способы погружения свай.
3. Назовите характерные черты свай, изготавливаемых в грунте.

4. Назовите способы определения несущей способности свай.
5. Укажите особенность расчета висячих свай.
6. Перечислите типы фундаментов глубокого заложения.
7. Назовите характерные черты устройства фундаментов по типу опускных колодцев.
8. Назовите конструктивные особенности фундаментов, устраиваемых по типу «опускных колодцев».

Тема 9. Фундаменты на вечномерзлых грунтах и рыхлых песках

Лекция 9.1. Фундаменты на вечномерзлых грунтах и рыхлых песках

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Мероприятия, осуществляемые при строительстве на особых грунтах. Особенности районов строительства с распространением вечномерзлых грунтов. Классификация и особенности мерзлых грунтов. Принципы устройства фундаментов на вечномерзлых грунтах. Особенности и принципиальные схемы устройства фундаментов по первому и второму принципам. Особенности проектирования фундаментов на рыхлых песках.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Особенности проектирования фундаментов на рыхлых песках

При самостоятельном изучении особенностей при проектировании фундаментов на рыхлых песках необходимо обратить внимание на следующее:

- каким образом устанавливается расчетное сопротивление грунтов;
- необходимость учета взвешенного действия состояния грунта, его бокового давления и прогнозирование осадок, которые могут быть существенно больше, чем при штамповых испытаниях;
- возможность динамического воздействия на грунты и изменение его водонасыщения или замачивания;
- необходимые конструктивные мероприятия, назначаемые для снижения чувствительности к неравномерным осадкам.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам также рекомендуется обратить внимание на особенности принятия решений в пользу выбора свайных фундаментов по различным критериям: надежность; экономичность; технологичность; простота изготовления и другим параметрам с целью сохранения грунтов в вечномерзлом состоянии.

Рекомендуемая учебная литература: [8, с. 339–371; 7, с. 268–292; 4, с. 8–44]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 9.1. Определение толщины песчаной подушки на слабых грунтах

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании исходных данных по нагрузкам и инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) выполнить проектирование столбчатого фундамента на слабых песчаных грунтах: подобрать толщину песчаной подушки.

Цель практического занятия). Приобретение навыков расчета фундаментов на структурно неустойчивых грунтах, определение толщины песчаной подушки. Дать экономическое обоснование целесообразности использования данного способа при возведении зданий и сооружений на структурно неустойчивых грунтах (рыхлых песках).

В результате выполнения практического задания студент должен:

– знать конструктивные требования к проектированию и методику расчета фундаментов с применением песчаных подушек с целью усиления несущей способности естественных оснований;

– уметь выполнять расчеты по подбору толщины песчаной подушки; делать заключение об экономической целесообразности данного метода повышения несущей способности естественного основания по сравнению с другими конструктивными решениями.

Учебные пособия и нормативная литература: [3, с. 18–44; 11, с. 667–669].

Задание. Физико-механические характеристики естественного грунта основания представлены ниже (в случае отсутствия необходимых значений в соответствующих таблицах СП 22.13330.2016 по углу внутреннего трения и коэффициенту сцепления принимать ближайшие минимальные значения). Значения по нагрузкам принять по Приложению Б. Недостающие исходные данные принять аналогичными рассматриваемому примеру.

Исходные данные к заданию

Вариант	ρ г/см ³	ρ_s г/см ³	W %	W_p %	W_L %	N_{oit} кН
1	2	3	4	5	6	7
1	2,06	2,54	10,0	6,5	20,0	1400
2	2,09	2,62	20,0	12,0	21,0	1600
3	2,05	2,62	19,0	15,0	22,0	1800
4	2,06	2,62	18,0	15,0	21,0	2000
5	2,04	2,65	19,0	14,0	23,0	2100
6	2,07	2,61	17,0	16,0	22,0	1200
7	2,04	2,65	16,0	12,0	21,0	1400
8	2,05	2,59	14,0	9,0	16,0	1600
9	2,06	2,66	20,0	16,0	22,0	1800
10	2,03	2,67	21,0	17,0	24,0	2000
11	2,04	2,58	19,0	15,0	25,0	2150
12	2,05	2,60	20,0	12,0	24,0	2200
13	2,06	2,62	20,0	11,0	23,0	1450
14	2,08	2,64	18,0	12,0	22,0	1650
15	2,03	2,65	17,0	10,0	19,0	1850

1	2	3	4	5	6	7
16	2,04	2,66	18,0	11,0	19,0	1950
17	2,05	2,67	19,0	10,0	24,0	2000
18	2,06	2,68	14,0	7,0	24,0	2150
19	2,07	2,69	12,0	6,0	25,0	2200
20	2,03	2,58	14,0	8,0	24,0	2250
21	2,04	2,60	12,0	9,0	26,5	1400
22	2,05	2,61	10,0	6,0	20,0	1450
23	2,06	2,62	12,0	7,0	21,0	1500
24	2,07	2,63	12,0	8,0	25,0	1550
25	2,08	2,65	14,0	6,0	20,0	1600
26	2,08	2,68	13,0	7,0	25,0	1650
27	2,03	2,60	12,0	8,5	15,5	1700
28	2,04	2,62	12,5	9,5	16,5	1800
29	2,05	2,63	14,0	10,0	23,0	2000
30	2,06	2,66	12,0	8,0	25,5	2100

Пример решения

Исходные данные. По обрезу фундамента действует нагрузка $N_{ол} = 1800 \text{ кН}$, глубина заложения фундамента $d = 1,0 \text{ м}$.

Грунтовые условия: мягкопластичная глина с удельным весом $\gamma_{II} = 19,1 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения $\varphi_{II} = 15^\circ$, коэффициент сцепления $c_{II} = 1,7 \text{ кПа}$, показатель текучести $J_L = 0,65$. Грунтовые воды не обнаружены. Удельный вес песка подушки $\gamma_{II} = 18,2 \text{ кН/м}^3$.

1. Определяем предварительные размеры подошвы фундамента

$$A_{\phi} = \frac{N_{ол}}{R_0 - \gamma_{спл} d} = \frac{1800}{400 - 22 \cdot 1,0} = 4,76 \text{ м}^2,$$

где $R_0 = 400 \text{ кПа}$ – условное расчетное сопротивление песчаной подушки из среднезернистого песка при средней плотности (таблица В2 СП 22.13330.2016); $\gamma_{спл} = 22 \text{ кН/м}^3$ – средний удельный вес материала фундамента и грунта на его выступах.

Примем размеры фундамента: $l = 2,4 \text{ м}$; $b = 2,0 \text{ м}$ при соотношении сторон:

$$\eta = \frac{l}{b} = \frac{2,4}{2,0} = 1,2.$$

2. Проверка давления по подошве фундамента:

$$p_{II} = \frac{N_{ол}}{A_{\phi}} + \gamma_{спл} d = \frac{1800}{2,4 \cdot 2,0} + 22 \cdot 1,0 = 397 \text{ кПа}.$$

Величина природного напряжения по подошве фундамента:

$$\sigma_{z_{г0}} = \gamma_{II} d = 19,1 \cdot 1,0 = 19,1 \text{ кПа}.$$

Дополнительное давление по подошве фундамента составляет:

$$\sigma_{z_{p0}} = p_0 = p_{II} - \sigma_{z_{г0}} = 397 - 19,1 = 377,9 \text{ кПа}.$$

3. Определение высоты песчаной подушки.

Высоту подушки фундамента h_n выбирают таким образом, чтобы давление, передаваемое на подстилающий слой, не превзошло расчетное сопротивление этого грунта (методом подбора). Примем толщину подушки $h_n = 1,6$ м.

Уплотняющее напряжение σ_{zp} на кровле слабого подстилающего грунта определим по формуле: $\sigma_{zp} = \alpha(p_{II} - \sigma_{zg0}) = \alpha \cdot \sigma_{zp0}$,

где $\alpha = 0,496$ – табличный коэффициент (таблица 5.8 СП 22.13.330.2016), определяемый из соотношения:

$$\eta = \frac{l}{b} = \frac{2,4}{2,0} = 1,2; \quad \xi = \frac{2z}{b} = \frac{2 \cdot 1,6}{2,0} = 1,6.$$

Тогда $\sigma_{zp} = \alpha \cdot \sigma_{zp0} = 0,496 \cdot 377,9 = 185,4 \text{ кПа}$.

4. Определение ширины условного фундамента:

$$b_{ycl} = \sqrt{A_z + a^2} - a,$$

где $a = \frac{l-b}{2} = \frac{2,4-2,0}{2} = 0,2 \text{ м}$; A_z – площадь условного фундамента.

$$A_z = \frac{N_{oll} + A_\phi \gamma_{cpII} d}{\sigma_{zp}} = \frac{1800 + 4,8 \cdot 22 \cdot 1,0}{185,4} = 10,3 \text{ м}^2.$$

Тогда $b_{ycl} = \sqrt{A_z + a^2} - a = \sqrt{10,3 + 0,2^2} - 0,2 = 3,0 \text{ м}$.

5. Расчетное сопротивление (давление) слабого подстилающего слоя грунта определяют по формуле (5.7) СП 22.13330.2016:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] = \\ = \frac{1,1 \cdot 1,0}{1,0} [0,325 \cdot 1,0 \cdot 3,0 \cdot 19,1 + 2,3 \cdot 2,6 \cdot 19,1 + 4,85 \cdot 1,7] = 237 \text{ кПа}.$$

6. Проверка условия несущей способности основания:

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zg} \leq R.$$

Природное давление на кровле подстилающего слоя будет равно:

$$\sigma_{zg} = \sum d_i \cdot \gamma_{II} = 1,0 \cdot 19,1 + 1,6 \cdot 18,2 = 48,2 \text{ кПа}.$$

Тогда $185,4 + 48,2 = 233,6 \text{ кПа} < 237 \text{ кПа}$ – условие выполнено.

7. Конструируем подушку подсыпки:

$$b_n = b + 2 \cdot h_n \operatorname{tg} \alpha = 2,0 + 2 \cdot 1,6 \cdot 0,84 = 4,7 \text{ м},$$

где α – угол, при котором обеспечивается устойчивость подушки (обычно при угле в $45-60^\circ$). Чем больше различие в деформационных и прочностных свойствах слабого грунта и песка, тем меньше принимается угол ($30-45^\circ$).

В нашем расчетном случае примем $\alpha = 40^\circ$. Тогда $\operatorname{tg} \alpha = 0,84$ (рисунок 3.12).

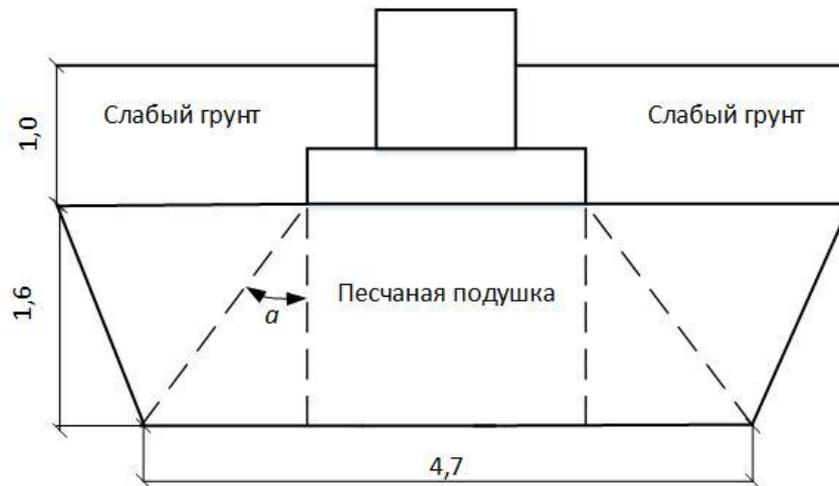


Рисунок 3.12 – Расчетная схема песчаной подушки

Вопросы для обсуждения к теме 9

1. Назовите мероприятия, осуществляемые при строительстве на особых грунтах.
2. Назовите характерные особенности районов строительства с распространением вечномёрзлых грунтов.
3. По каким критериям осуществляется классификация мерзлых грунтов?
4. Перечислите принципы устройства фундаментов на вечномёрзлых грунтах.
5. Охарактеризуйте особенности и принципиальные схемы устройства фундаментов при сохранении грунтов в вечномёрзлом состоянии.
6. Охарактеризуйте особенности устройства фундаментов на вечномёрзлых грунтах с их предварительным оттаиванием.
7. Перечислите характерные особенности проектирования фундаментов на рыхлых песках.

Тема 10. Фундаментные плиты на упругом основании

Лекция 10.1. Проектирование фундаментных плит на упругом основании

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Общие сведения по устройству фундаментных плит. Особенности проектирования фундаментных плит на пучинистых и структурно неустойчивых грунтах. Методы расчета фундаментных плит. Табличный метод

расчета фундаментных плит (метод Симвулиди). Определение осадок фундаментных плит.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Общие сведения по устройству фундаментных плит

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на возможные конструктивные решения фундаментных плит: заглубленные; устраиваемые на поверхности грунта; под группу колонн; ребристые; оболочковые и другие.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется обратить особое внимание на методики, используемые в современной практике для расчетов фундаментных плит на упругом основании (как при ручном счете, так и с использованием различных программных комплексов).

Рекомендуемая учебная литература: [11, с. 775–781; 8, с. 339–352; 7, с. 268–282; 13, с. 4–67]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 10.1. Определение усилий в фундаментной плите

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. На основании исходных данных по нагрузкам и инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) определить усилия в фундаментной плите от действия сосредоточенных нагрузок табличным методом (методом Симвулиди).

Цель практического занятия. Приобретение навыков ручного счета по определению усилий, возникающих в фундаментной плите на упругом основании от действия различных нагрузок (сосредоточенных, распределенных) табличным методом (методом Симвулиди).

В результате выполнения практического задания студент должен:

- знать конструктивные требования к проектированию и методику расчета фундаментных плит;
- уметь определять усилия в фундаментной плите табличным методом на различные виды нагрузок (сосредоточенные и равномерно распределенные по длине) (методом Симвулиди).

Учебные пособия и нормативная литература: [5, с. 4–44; 13, с. 4–128].

Исходные данные к заданию. Определить усилия в фундаментной плите (балке) на упругом основании p , Q и M от действия сосредоточенных нагрузок табличным методом (метод И. А. Симвулиди). Грунтовые условия принять по вариантам (Приложение А), несущий слой – первый ИГЭ. Расчетная ширина балки – 1,0 м (вырезанная полоса). Класс бетона на сжатие принять самостоятельно. Остальные исходные данные приведены ниже. Расчетная схема представлена на рисунке 3.13.

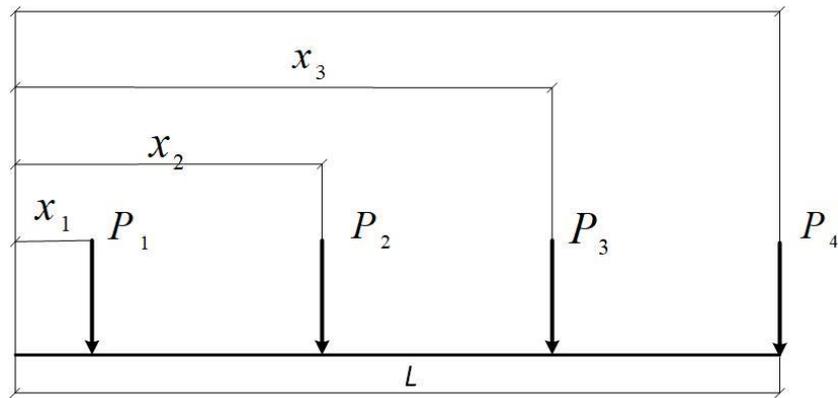


Рисунок 3.13 – Расчетная схема к заданию

Исходные данные к заданию

Вариант	Размеры плиты, м		Расстояние приложения нагрузки от левого края по оси ОХ, м				Сосредоточенная нагрузка, кН			
	L	h	x_1	x_2	x_3	x_4	P_1	P_2	P_3	P_4
1	12	0,5	3	6	9	12	25	40	40	25
2	16	0,5	4	8	12	16	20	40	40	20
3	18	0,6	0	6	12	18	40	60	60	40
4	24	0,8	0	8	16	24	20	40	40	20
5	30	0,8	1	10	20	29	25	50	50	25
6	12	0,5	0	4	8	12	40	80	80	40
7	12	0,6	0	6	-	12	40	80	-	40
8	20	0,6	0	1	10	19	20	20	30	30
9	18	0,8	0	6	12	18	40	40	40	40
10	24	1,0	0	8	16	24	60	120	120	60
11	24	1,0	1	7	16	23	40	100	100	40
12	18	0,8	0	9	-	18	40	80	-	40
13	42	1,2	0	14	28	42	40	120	120	40
14	36	1,2	0	18	-	36	80	160	-	80
15	16	0,6	0	4	12	16	30	60	60	30
16	12	0,5	0	4	8	12	30	45	45	30
17	18	0,6	0	6	12	18	25	50	50	25
18	20	0,8	1	10	-	19	30	60	-	30
19	24	1,0	0	6	12	24	20	40	40	30
20	30	1,0	0	10	20	30	30	50	50	30
21	36	1,0	0	12	24	36	30	60	60	30
22	42	1,2	0	12	30	42	50	100	100	50
23	48	1,2	0	24	-	48	100	200	-	100
24	36	1,0	0	18	-	36	100	200	-	100
25	30	1,0	0	12	24	30	30	60	60	30
26	24	0,8	0	12	-	24	40	80	-	40
27	18	0,8	0	6	12	18	50	100	100	50
28	12	0,6	0	-	-	12	50	-	-	50
29	12	0,6	0	6	-	12	50	100	-	50
30	30	0,8	0	10	20	30	40	80	80	40

Примечания: 1. Гибкость a фундаментной плиты шириной $b = 1,0$ м (вырезанной полосы) следует определять по формуле:

$$\alpha = \frac{1 - \nu^2}{1 - \nu_0^2} \cdot \frac{\pi \cdot E_0 L^3}{EI},$$

где I – момент инерции поперечного сечения балки:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}.$$

2. Коэффициент Пуассона ν_0 для грунтов принять: глина – 0,42; суглинок – 0,35; супесь и песок – 0,3; крупнообломочный – 0,27.

3. Модуль деформации E_0 для грунтов принимать по своим данным, ранее вычисленным в Пр. 2.

4. Модуль деформации бетона E и коэффициент Пуассона для бетона ν принимать в зависимости от класса бетона на сжатие (СП 52.101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции») или по справочным данным.

5. Значения $\bar{p}_i, \bar{Q}_i, \bar{M}_i$ принимать по таблицам III-1, III-2 и III-3 (И. А. Симвулиди).

Пример решения

Исходные данные к примеру. Определить усилия в фундаментной плите, нагруженной четырьмя сосредоточенными силами: $P_1 = 50$ кН, $P_2 = 120$ кН, $P_3 = 100$ кН, $P_4 = 30$ кН, и построить эпюры p, Q, M . Нагрузка приложена по оси фундаментной плиты на расстояниях от левого края $x_1 = 1,0$ м; $x_2 = 4,0$ м; $x_3 = 7,0$ м и $x_4 = 10,0$ м.

Размеры фундаментной плиты составляют $L = 10$ м; $b = 1,5$ м; $h = 0,5$ м. Класс бетона по прочности на сжатие В20; коэффициент Пуассона $\nu = 0,18$; Модуль деформации бетона $E = 27,5 \cdot 10^3$ МПа (принят по СП 52.101-2003).

Грунт – супесь, коэффициент Пуассона $\nu_0 = 0,3$; модуль деформации грунта $E_0 = 24$ МПа (принят по СП 22.13330.2016).

1. Определим гибкость a плиты как для балки прямоугольного поперечного сечения (I-27б, И. А. Симвулиди):

$$\alpha = \frac{1}{1 - \nu_0^2} \cdot 12 \frac{\pi \cdot E_0}{E} \left(\frac{L}{h} \right)^3 = \frac{1}{1 - 0,3^2} \cdot 12 \frac{3,14 \cdot 24000}{27500 \cdot 1000} \cdot \left(\frac{10}{0,5} \right)^3 = 262.$$

2. Далее определим значение коэффициентов β как:

$$\beta_1 = \frac{x_1}{L} = \frac{1,0}{10,0} = 0,1; \beta_2 = \frac{x_2}{L} = \frac{4,0}{10,0} = 0,4; \beta_3 = \frac{x_3}{L} = \frac{7,0}{10,0} = 0,7; \beta_4 = \frac{x_4}{L} = \frac{10,0}{10,0} = 1,0.$$

3. Для определения ординат p_1 от силы P_1 разбиваем всю длину плиты на элементарные участки $\xi = \frac{x}{L}$ от 0 до 1,0 (десять участков с шагом через 1,0 м) и выписываем данные \bar{p}_1 из таблицы III-1 (И. А. Симвулиди) при $\beta_1 = 0,1$.

Умножив каждую ординату \bar{p}_1 на значение $\frac{P_1}{b \cdot L} = \frac{50}{1,5 \cdot 10} = 3,333$, получим значение p_1 в разных точках (таблица 3.29).

Таблица 3.29 – Определение усилий в грунте от сосредоточенной силы P_1
(таблица III-1 при $a = 250$)

ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
\bar{p}_1	5,456	3,598	2,239	1,298	0,689	0,326	0,125	0,002	-0,13	-0,36	-0,76
p_1	17,82	11,99	7,46	4,33	2,30	1,09	0,42	0,01	-0,43	-1,20	-2,53

4. Для определения ординат p_2 поступаем аналогичным образом. Выписываем данные \bar{p}_2 из таблицы III-1 (И. А. Симвулиди) при $\beta_2 = 0,4$. Умножив каждую ординату \bar{p}_2 на значение $\frac{P_2}{b \cdot L} = \frac{120}{1,5 \cdot 10} = 8,0$, получим значение p_2 в разных точках (таблица 3.30).

Таблица 3.30 – Определение усилий в грунте от сосредоточенной силы P_2

ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
\bar{p}_2	0,778	1,287	1,518	1,537	1,401	1,168	0,895	0,637	0,456	0,403	0,540
p_2	6,22	10,30	12,14	12,30	11,21	9,34	7,16	5,10	3,65	3,22	4,32

5. Определим ординату p_3 . Выписываем данные \bar{p}_3 из таблицы III-1 (И. А. Симвулиди) при $\beta_3 = 0,7$. Умножив каждую ординату \bar{p}_3 на значение $\frac{P_3}{b \cdot L} = \frac{100}{1,5 \cdot 10} = 6,666$, получим значение p_3 в разных точках (таблица 3.31).

Таблица 3.31 – Определение усилий в грунте от сосредоточенной силы P_3

ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
\bar{p}_3	-0,02	0,092	0,253	0,457	0,691	0,948	1,217	1,489	1,755	2,004	2,227
p_3	-0,13	0,61	1,69	3,05	4,61	6,32	8,11	9,93	1,17	13,36	14,85

6. И далее определим ординату p_4 . Выписываем данные \bar{p}_4 из таблицы III-1 (И. А. Симвулиди) при $\beta_4 = 1,0$. Умножив каждую ординату \bar{p}_4 на

значение $\frac{P_4}{b \cdot L} = \frac{30}{1,5 \cdot 10} = 2,0$, получим значение p_4 в разных точках (таблица 3.32).

Таблица 3.32 – Определение усилий в грунте от сосредоточенной силы P_4

ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
\bar{p}_4	-1,08	-0,56	-0,32	-0,24	-0,18	-0,01	0,399	1,189	2,483	4,483	7,128
p_4	-2,16	-1,12	-0,64	-0,48	-0,36	-0,02	0,78	2,38	4,97	8,97	14,26

7. Пользуясь принципом независимости действия сил, для получения значения p берем алгебраическую сумму $\sum p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4$ (таблица 3.33).

Таблица 3.33 – Определение усилий в грунте от сосредоточенных сил

p_1, p_2, p_3, p_4

ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
p_1	17,82	11,99	7,46	4,33	2,30	1,09	0,42	0,01	-0,43	-1,20	-2,53
p_2	6,22	10,30	12,14	12,30	11,21	9,34	7,16	5,10	3,65	3,22	4,32
p_3	-0,13	0,61	1,69	3,05	4,61	6,32	8,11	9,93	1,17	13,36	14,85
p_4	-2,16	-1,12	-0,64	-0,48	-0,36	-0,02	0,78	2,38	4,97	8,97	14,26
$\sum p$	21,75	21,78	20,65	19,20	17,76	16,73	16,47	17,42	9,36	24,35	30,87

8. Аналогичным образом определим поперечные усилия (таблица III-2) в фундаментной плите от действия сосредоточенных сил (таблица 3.34).

Таблица 3.34 – Определение поперечных усилий Q от сосредоточенных сил

P_1, P_2, P_3, P_4

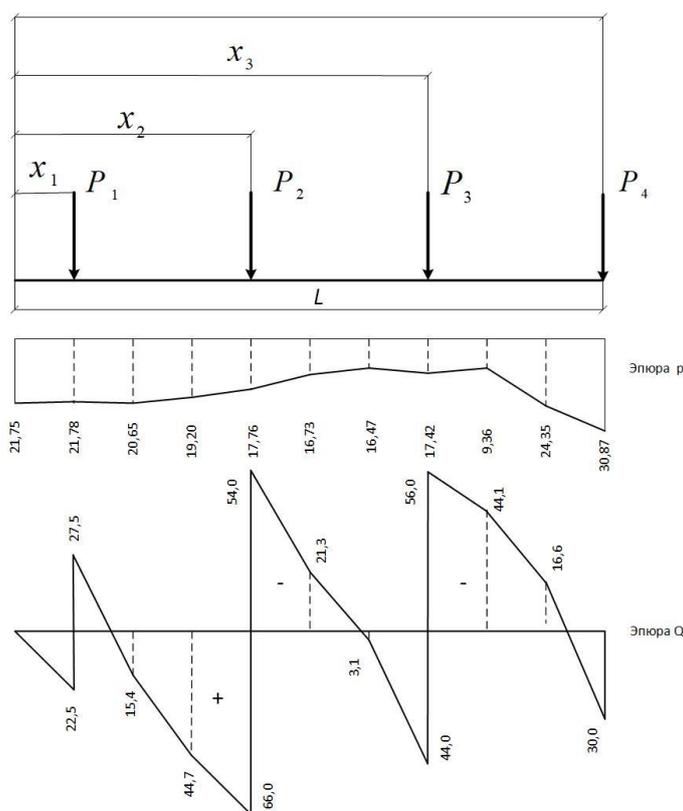
ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
\bar{Q}_1	0	0,45 -0,55	-0,26	-0,09	0,01	0,06	0,08	0,08	0,08	0,05	0
$Q_1 = \bar{Q}_1 \cdot P_1$	0	22,5 -27,5	-13,0	-4,5	0,5	3,0	4,0	4,0	4,0	2,5	0
\bar{Q}_2	0	-	0,249	0,402	0,55 -0,45	-0,32	-0,22	-0,14	-0,09	-0,05	0
$Q_2 = \bar{Q}_2 \cdot P_2$	0	-	29,9	48,2	66,0 -54,0	-38,4	-26,4	-16,8	-10,8	-6,0	0
\bar{Q}_3	0	-	0,021	0,055	-	0,195	0,303	0,44 -0,56	-0,4	-0,21	0
$Q_3 = \bar{Q}_3 \cdot P_3$	0	-	2,1	5,5	-	19,5	30,3	44,0 -56,0	-40,0	-21,0	0
\bar{Q}_4	0	-	-0,12	-0,15	-	-0,18	-0,16	-	0,09	0,429	1
$Q_4 = \bar{Q}_4 \cdot P_4$	0	-	-3,6	-4,5	-	-5,4	-4,8	-	2,7	12,9	30,0
$\sum Q$	0	50,0	15,4	44,7	120,0	-21,3	3,1	100,0	-44,1	-11,6	30,0

9. Определим значения изгибающих моментов (таблица III-3) в плите от действия сосредоточенных сил, результаты определений сведем в таблицу 3.35.

Таблица 3.35 – Определение поперечных усилий M от сосредоточенных сил P_1, P_2, P_3, P_4

ξ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
\bar{M}_1	0	-0,07	-0,09	-0,09	-0,08	-0,06	-0,05	-0,03	-0,02	-0,01	0
$M_1 = \bar{M}_1 \cdot P_1 \cdot L$	0	-3,5	-4,5	-4,5	-4,0	-3,0	-2,5	-1,5	-1,0	-0,5	0
\bar{M}_2	0	0,005	0,023	0,055	0,013	0,065	0,038	0,021	0,01	0,003	0
$M_2 = \bar{M}_2 \cdot P_2 \cdot L$	0	6,0	2,8	6,6	1,6	7,8	4,6	2,5	1,2	0,4	0
\bar{M}_3	0	0,0	0,001	0,005	0,013	0,028	0,028	0,053	0,09	0,041	0
$M_3 = \bar{M}_3 \cdot P_3 \cdot L$	0	0	1,0	5,0	1,3	2,8	2,8	5,3	9,0	4,1	0
\bar{M}_4	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,05	-0,06	-0,08	-0,09	-0,1	-0,1	0
$M_4 = \bar{M}_4 \cdot P_4 \cdot L$	0	-3,0	-0,6	-0,9	-1,5	-1,8	-2,4	-2,7	-3,0	-3,0	0
$\sum M$	0	-0,5	-1,3	1,2	-2,6	5,8	2,5	3,6	6,2	1,0	0

10. Строим эпюры давлений p , поперечных сил Q и изгибающих моментов M от действия сосредоточенных сил P_1, P_2, P_3, P_4 (рисунок 3.15).



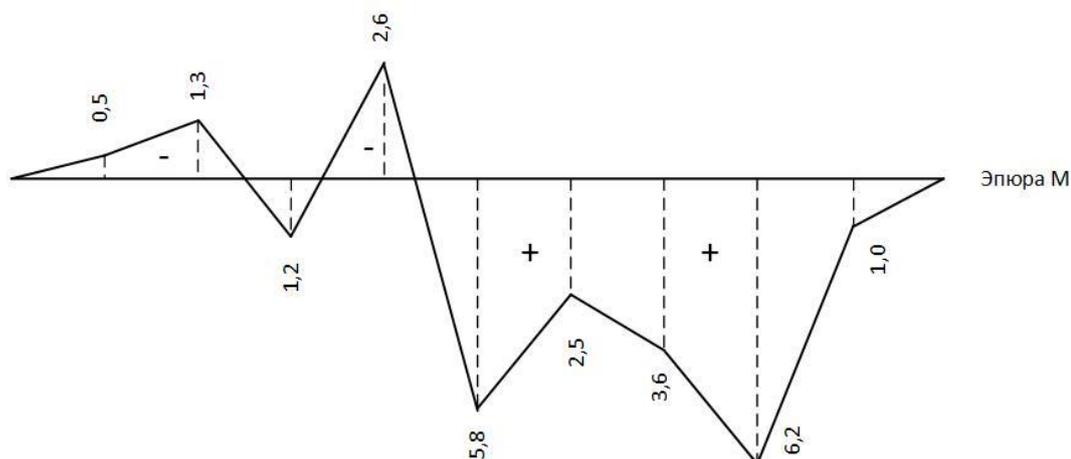


Рисунок 3.15 – Эпюры p , Q и M

Вопросы для обсуждения к теме 10

1. Назовите конструктивные особенности устройства фундаментных плит.
2. Назовите особенности проектирования фундаментных плит на пучинистых и структурно неустойчивых грунтах.
3. Методы расчета фундаментных плит.
4. Суть расчета фундаментных плит по методу Симвулиди.

Тема 11. Грунтовые откосы и подпорные стены

Лекция 11.1. Устойчивость грунтовых откосов и подпорных стен

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Виды оползней и причины их возникновения. Устойчивость грунтовых откосов из идеально сыпучего грунта. Графо-аналитический метод расчета устойчивости откоса (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения). Расчет устойчивости пристенного оползня. Оценка устойчивости основания насыпи. Давление грунта и расчет устойчивости подпорных стен. Шпунтовые ограждения котлованов и строительных площадок.

Вопрос, выносимый для самостоятельного изучения

Шпунтовые ограждения строительных площадок

При самостоятельном изучении данного вопроса следует обратить внимание на конструктивные решения шпунтовых ограждений котлованов: металлические шпунты Ларсена; ограждения из стальных и железобетонных труб; пластиковые шпунтовые ограждения.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется обратить особое внимание на виды оползней и причины их возникновения; методы, используемые для прогнозирования устойчивости грунтовых склонов и откосов; конструктивные решения устройства подпорных стен и материалы, применяемые для этих целей.

Рекомендуемая учебная литература: [11, с. 781–789; 8, с. 393–397]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

Практическое занятие 11.1. Проверка устойчивости грунтовых откосов и подпорных стен

Время: 2 час.

Задание на практическое занятие. Задание состоит из двух частей. Первое – на основании исходных данных по инженерно-геологическим условиям строительной площадки (по вариантам) определить устойчивость грунтовых склонов (откосов).

Второе – определить усилия в подпорной стене от действия грунтовых масс и сделать заключение о ее устойчивости.

Варианты заданий размещены в ЭИОС и учебно-методическом пособии к практическим занятиям.

Цель практического занятия. Приобретение навыков ручного счета по установлению устойчивости грунтовых склонов (откосов) и определения давления грунтов на подпорные стены от действия грунтовых масс. Выполнение расчетов по предотвращению сдвига подпорных стен и их опрокидывания, а также подготовка исходных данных для расчетов конструкции по первой группе предельных состояний.

В результате выполнения практического задания студент должен:

– знать конструктивные требования к проектированию и методику расчета подпорных стен и шпунтов;

– уметь определять устойчивость природных склонов и откосов; устойчивость подпорных стен и шпунтовых ограждений; делать заключения об устойчивости рассматриваемых конструкций.

Учебные пособия и нормативная литература: [3, с. 4–68; 11, с. 781–789].

Задание 1. Методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения определить величину коэффициента устойчивости $k_{уст}$ грунтового откоса высотой H и с заложением откоса m . Грунт находится в состоянии природной влажности и имеет физико-механические характеристики γ , φ , c .

Исходные данные к заданию

№ варианта	Высота откоса $H, м$	Заложение откоса t	Удельный вес грунта $\gamma, кН/м^3$	Угол внутреннего трения грунта откоса $\varphi, град$	Удельное сцепление грунта откоса $c, кПа$
0	12,0	2,0	18,4	20	10
1	9,0	0,7	19,6	20	19
2	13,0	1,8	21,0	19	22
3	15,0	0,9	19,8	17	17
4	14,0	1,2	21,0	20	20
5	10,0	0,8	20,0	16	12
6	12,0	1,2	20,5	15	30
7	15,0	1,8	19,9	19	15
8	10,0	1,0	19,5	18	18
9	12,0	1,6	20,0	20	4
10	6,0	2,0	16,5	15	2
11	8,0	1,1	20,5	16	16
12	11,0	1,4	19,8	19	18
13	14,0	1,6	20,0	17	15
14	12,0	0,7	20,5	18	21
15	10,5	1,5	20,0	15	4
16	14,5	2,0	16,0	16	2
17	12,0	1,2	20,6	18	14
18	8,5	1,6	19,6	23	20
19	9,0	0,9	20,4	19	25
20	14,5	1,3	19,6	15	24
21	16,0	1,5	18,4	21	3
22	16,0	1,0	19,4	15	12
23	12,5	0,8	20,8	17	24
24	15,5	2,0	19,4	16	26
25	16,0	1,6	20,3	17	27
26	11,5	1,4	20,2	14	2
27	9,5	0,9	19,8	18	23
28	10,0	1,0	20,4	20	24
29	12,5	1,6	19,4	16	25
30	14,0	1,2	20,0	18	18

Для откосов с однородными грунтами на всю толщу весьма полезным и простым способом определения координат X и Y центра O наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости $k_{уст}$ получается минимальным, является график Ямбу (рисунок 3.16).

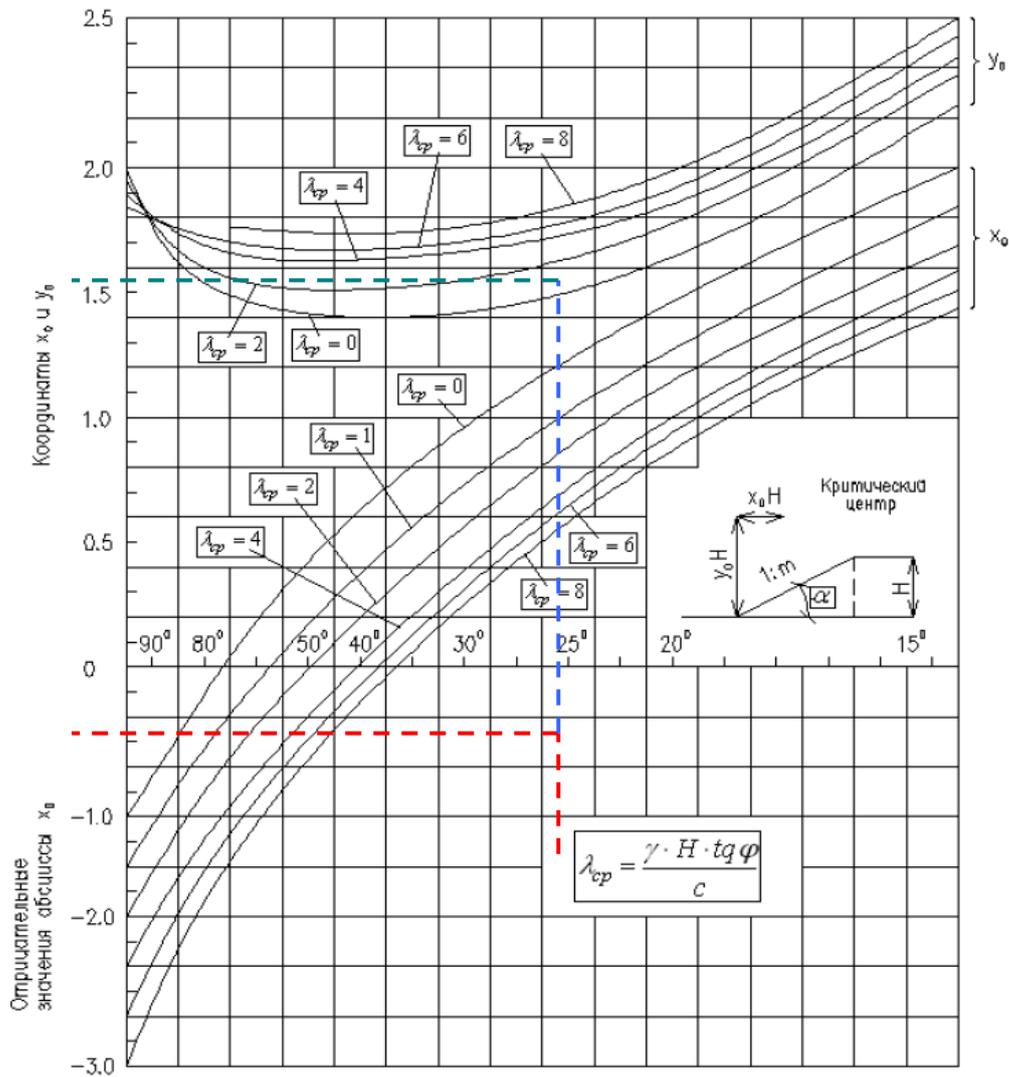


Рисунок 3.17 – График Янбу для определения координат x и y центра O , круглоцилиндрической поверхности скольжения с $k_{уст}$

Угол наклона грунтового откоса $\alpha = \arct(1/m) = \arct(1/2) = 27^\circ$.

Для данных значений по графику Янбу (рисунок 3.17) определяем относительные координаты $x_0 = 0,45$ и $y_0 = 1,8$.

3. Координаты центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения O будут равны:

$$x = x_0 \cdot H = 0,45 \cdot 12 = 5,4 \text{ м}; \quad y = y_0 \cdot H = 1,8 \cdot 12 = 21,6 \text{ м}.$$

Длина дуги скольжения при этом составит $L = 30,3 \text{ м}$, а радиус дуги скольжения – $R = 22,3 \text{ м}$.

Сдвигающий момент M_{co} для блоков 1 и 2 примем отрицательным, т. к. они находятся на восходящей ветви кривой скольжения.

Выделим для расчета 10 отсеков шириной не более 3,0 м каждый и расчетные данные сведем в таблицу 3.36.

Таблица 3.36 – Результаты расчетов

№ отсека	Объем расчетного отсека $V_i, м^3$	Вес расчетного отсека $P_i, кН$	$x_i, м$	$P_i \cdot x_i$
1	3,1	57,04	-3,9	-222,5
2	6,5	119,6	-1,2	-143,5
3	12,2	224,5	1,5	336,8
4	15,3	281,5	4,5	1266,8
5	17,3	318,3	7,5	2387,3
6	17,9	329,4	10,5	3458,7
7	16,5	303,6	13,5	4098,6
8	8,3	152,7	15,9	2427,9
9	6,1	112,2	17,7	1985,9
10	2,1	38,6	19,35	746,9
Σ		1937,4	-	16342,9

4. Определим коэффициент устойчивости грунтового откоса по формуле:

$$k_{уст} = \frac{(0,8 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot tg\varphi + c \cdot L) \cdot R}{\sum_{i=1}^n P_i x_i} = \frac{(0,8 \cdot 1937,4 \cdot 0,364 + 10 \cdot 30,3) \cdot 22,3}{16342,9} = 1,18.$$

Вывод. Так как коэффициент устойчивости откоса более единицы, он является устойчивым.

Определение давления грунта на подпорную стену от идеально сыпучего грунта

Задание 2. Подпорная стена высотой H с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стеной имеет заглубление фундамента h .

Определить активное и пассивное давление сыпучего грунта на подпорную стену. При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стену следует принимать масштаб размеров 1:50, масштаб давлений 25 кПа в одном сантиметре.

Расчетная схема представлена на рисунке 3.17. Исходные данные к вариантам задания приведены ниже.

Исходные данные

№ варианта	$H, м$	$h, м$	Грунт сыпучий		Грунт связный			q кПа
			φ град	γ кН/м ³	φ град	γ кН/м ³	$c,$ кПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	6,0	1,5	16	22,0	21	22,0	18	50
1	6,0	1,8	17	19,6	16	20,5	16	150
2	8,0	2,2	21	21,5	19	19,8	18	220

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	7,0	2,0	16	20,6	17	20,2	15	160
4	5,0	1,9	14	19,1	18	20,9	21	150
5	9,0	2,5	25	20,3	21	20,8	23	180
6	4,0	1,6	18	21,8	20	19,7	19	12,
7	6,0	1,9	12	20,8	14	20,6	14	240
8	10,0	3,2	19	19,4	22	19,8	22	200
9	8,0	2,3	16	20,4	23	19,6	20	150
10	7,0	2,4	20	21,3	19	20,4	25	140
11	5,0	1,5	24	20,1	15	19,7	24	130
12	6,5	2,2	19	19,4	10	20,4	27	270
13	9,5	2,6	17	21,1	17	20,8	24	210
14	7,0	2,0	24	20,5	16	19,4	26	190
15	12,0	3,2	21	19,6	17	20,3	27	185
16	11,0	3,4	26	21,1	14	20,7	27	160
17	6,5	2,7	24	20,4	18	19,8	23	200
18	7,5	1,8	28	21,4	20	20,4	24	270
19	8,5	2,1	30	19,7	16	19,4	29	180
20	9,0	2,6	17	20,7	18	20,0	27	190
21	13,0	3,9	24	21,3	14	19,7	27	165
22	9,5	2,5	20	19,8	13	19,8	24	170
23	6,5	1,8	21	20,6	18	20,7	26	210
24	8,5	2,4	19	19,4	20	20,3	18	150
25	11,0	3,2	27	21,5	17	19,4	29	170
26	13,5	3,4	26	20,6	21	19,9	17	160
27	7,5	2,4	21	19,4	16	19,2	26	180
28	9,0	2,8	19	21,6	17	20,6	27	200
29	15,0	4,1	22	20,2	13	20,4	28	240
30	12,5	3,2	27	21,0	12	20,8	27	180

Пример решения варианта 0

1. Определим активное давление грунта на подпорную стену:

$$\sigma_{a(H)} = \gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = 22 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{16}{2}\right) = 75 \text{ кПа}.$$

Тогда равнодействующая активного давления будет равна (рисунок 3.17):

$$E_a = \sigma_{a(H)} \cdot \frac{H}{2} = 75 \cdot \frac{6}{2} = 225 \text{ кН} / \text{м}.$$

2. Определим пассивное давление грунта на подпорную стену:

$$\sigma_{p(h)} = \gamma \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = 22 \cdot 1,5 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{16}{2}\right) = 58,1 \text{ кПа}.$$

Тогда равнодействующая пассивного давления будет равна:

$$E_p = \sigma_{p(h)} \cdot \frac{h}{2} = 58,1 \cdot \frac{1,5}{2} = 43,6 \text{ кН} / \text{м}.$$

3. По полученным данным и значениям строим расчетную схему и эпюры напряжений (рисунок 3.18):

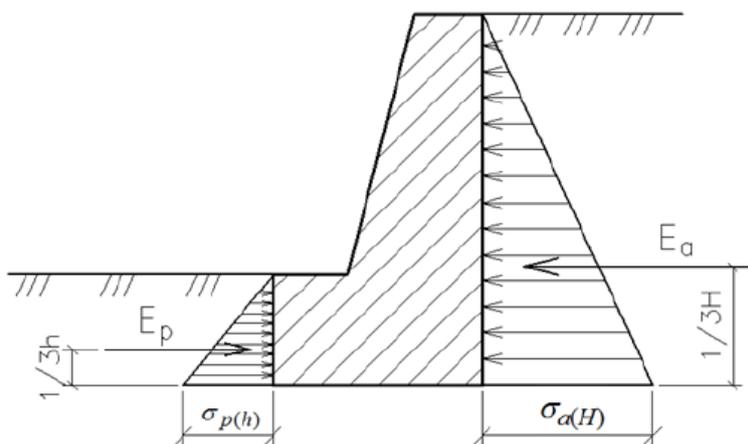


Рисунок 3.18 – Расчетная схема подпорной стены с эпюрами активных и пассивных напряжений

Вопросы для обсуждения к теме 11

1. Назовите виды оползней и причины их возникновения.
2. Назовите физические характеристики грунтов, определяющие устойчивость грунтовых откосов из идеально сыпучего грунта.
3. Суть графо-аналитического метода расчета устойчивости откоса (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения).
4. Какой параметр является характеристикой устойчивости склона?
5. Что означает термин «пристенный оползень»?
6. Что означают термины «активное давление грунта» и «пассивное давление грунта»?
7. Оценка устойчивости основания насыпи.
8. Назовите виды шпунтовых ограждений, применяемых в строительстве.

Тема 12. Проектирование фундаментов в особых инженерно-геологических условиях

Лекция 12.1. Проектирование фундаментов в особых инженерно-геологических условиях

Время: 2 час.

Содержание лекции:

Понятие об особых инженерно-геологических условиях, виды особых грунтов. Влияние высокого УГВ на структурную неустойчивость грунтов. Виды слабых грунтов. Фундаменты на сильно сжимаемых грунтах и методы их проектирования. Конструктивные мероприятия, назначаемые при

проектировании фундаментов на слабых грунтах. Особенности проектирования и устройства фундаментов на биогенных и моренных грунтах. Особенности проектирования и устройства фундаментов на насыпных и неравномерно сжимаемых грунтах.

Вопросы, выносимый для самостоятельного изучения

1. Виды особых грунтов.
2. Влияние высокого УГВ на структурную неустойчивость грунтов.

При самостоятельном изучении данных вопросов следует обратить внимание на виды особых грунтов, их физико-механические характеристики и особенности поведения под нагрузкой при использовании в качестве оснований под фундаменты зданий и сооружений, а также на возможное изменение их характеристик при повышении УГВ или затоплении территории строительства.

В процессе самостоятельной работы над темой студентам рекомендуется изучить особенности проектирования и возведения фундаментов на особых грунтах, а также мероприятия, назначаемые с целью снижения неравномерных осадок оснований и повышения жесткости конструкций зданий и сооружений.

Рекомендуемая учебная литература: [3, с. 60–90; 8, с. 339–393; 7, с. 268–290]; конспект лекции (размещена в ЭИОС КГТУ).

4. ВОПРОСЫ И ТИПЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЭКЗАМЕН

1. Факторы, определяющие надежность оснований и фундаментов.
2. Сущность расчета оснований под фундаменты зданий и сооружений по предельным состояниям.
3. Классификация нагрузок по их длительности воздействия на строительные конструкции. Основное и особое сочетание нагрузок.
4. Параметры, по которым производится оценка ИГУ площадки строительства.
5. Параметры, по которым производится классификация грунтов в соответствии с ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация.
6. Физико-механические характеристики песчаных грунтов.
7. Физико-механические характеристики глинистых грунтов.
8. Прочностные и деформационные характеристики грунтов, используемых в качестве естественных оснований.
9. Факторы, определяющие режим функционирования грунтовых вод (региональные и локальные факторы).
10. Влияние грунтовых вод на прочностные характеристики грунтов.
11. Причины подтопления территорий.

12. Причины снижения прочностных и деформационных характеристик грунтов при понижении УГВ.
13. Причины возникновения неравномерных осадок грунтов.
14. Типы сооружений по жесткости фундаментов. Конструктивные мероприятия, проводимые для снижения чувствительности сооружений к неравномерным осадкам оснований.
15. Способы защиты территории от затопления и подтопления поверхностными водами.
16. Способы понижения уровня грунтовых вод в открытых котлованах.
17. Стадии промерзания грунтов, краткая характеристика происходящих при этом процессов.
18. Причины возникновения неравномерных осадок грунтов.
19. Свойства грунтов при их промерзании.
20. Критерии оценок степени пучинистости грунтов. Разновидности грунтов по их степени пучинистости.
21. Мероприятия, назначаемые при проектировании фундаментов по снижению пучинистости грунтов.
22. Условия строительства зданий на пучинистых грунтах. Факторы, определяющие пучинистые свойства грунтов.
23. Количественная оценка деформации пучения грунтов.
24. Влияние касательных и нормальных усилий сил морозного пучения на заглубленные сооружения.
25. Особенности расчета фундаментов на пучинистых грунтах по 1-й группе предельных состояний.
26. Особенности расчета фундаментов на пучинистых грунтах по 2-й группе предельных состояний.
27. Мероприятия, назначаемые для снижения пучинистости грунтов.
28. Способы определения пучинистых свойств грунтов.
29. Критерии оценки принятия решения по определению глубины заложения фундаментов на пучинистых грунтах.
30. Типы фундаментов, возводимых, в открытых котлованах.
31. Определение глубины заложения фундаментов.
32. Способы определения расчетных прочностных и деформационных характеристик грунтов оснований.
33. Физический смысл формулы Пузыревского (по СП 22.13330.2016).
34. Конструктивные требования к проектированию столбчатых фундаментов (под монолитные и сборные железобетонные колонны).
35. Способы определения размеров подошвы фундаментов. Определение давления под подошвой фундамента.

36. Виды вертикальных деформаций грунтов. Причины возникновения осадок грунтов.

37. Виды и причины возникновения осадок грунта оснований под фундаменты при разработке открытых котлованов.

38. Суть метода послойного суммирования для определения осадок оснований под фундаменты зданий и сооружений.

39. Суть метода эквивалентного слоя (Цытовича) для определения осадок оснований под фундаменты зданий и сооружений.

40. Суть метода линейно-деформируемого слоя (Егорова) для определения осадок оснований под фундаменты зданий и сооружений.

41. Суть способа проверки прочности подстилающего слоя.

42. Учет совместной работы грунтов основания, фундаментов и сооружений. Способы выравнивания неравномерных осадок.

43. Конструктивные особенности устройства ленточных фундаментов под здания и сооружения. Материалы, применяемые для ленточных фундаментов и стен подвалов.

44. Особенности проектирования и расчета фундаментов зданий с подвалами.

45. Графический способ определения размеров подошвы фундаментов.

46. Определение усилий в стене фундамента от нагрузок элементов зданий и сооружений, грунта обратной засыпки.

47. Определение размеров подошвы ленточного фундамента при внецентренно приложенной нагрузке.

48. Устойчивость фундамента при плоском сдвиге. Конструктивные мероприятия, назначаемые для предотвращения плоского сдвига.

49. Конструктивные требования к материалам при проектировании фундаментов.

50. Усилия, возникающие в фундаментах. Суть расчета фундаментов по 1-й и 2-й группам предельных состояний.

51. Виды свайных фундаментов. Способы погружения свай.

52. Типы свай, изготавливаемых в грунте.

53. Способы определения несущей способности свай. Особенности расчета висячих свай.

54. Типы фундаментов глубокого заложения. Фундаменты, устраиваемые по типу опускных колодцев.

55. Мероприятия, осуществляемые при строительстве на особых грунтах.

56. Классификация мерзлых грунтов. Принципы устройства фундаментов на вечномерзлых грунтах.

57. Характерные особенности районов строительства с распространением вечномёрзлых грунтов. Принципиальные схемы устройства фундаментов при сохранении грунтов в вечномёрзлом состоянии.

58. Особенности устройства фундаментов на вечномёрзлых грунтах с их предварительным оттаиванием.

59. Характерные особенности проектирования фундаментов на рыхлых песках.

60. Область применения и конструктивные особенности устройства фундаментных плит.

61. Особенности проектирования фундаментных плит на пучинистых и структурно неустойчивых грунтах.

62. Методы расчета фундаментных плит на упругом основании.

63. Суть расчета фундаментных плит на упругом основании по методу Симвулиди.

64. Виды оползней и причины их возникновения.

65. Физические характеристики грунтов, определяющие устойчивость грунтовых откосов из идеально сыпучего грунта.

66. Суть графо-аналитического метода расчета устойчивости откоса (метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения).

67. «Активное давление грунта» и «пассивное давление грунта». Параметр, являющийся характеристикой устойчивости склона.

68. Виды шпунтовых ограждений и способы их погружения.

69. Особые грунты. Виды структурно неустойчивых грунтов. Слабые грунты.

70. Конструктивные мероприятия, назначаемые при проектировании фундаментов на слабых грунтах.

Тип задачи 1

Определить наименование глинистого грунта и его физико-механические характеристики по следующим исходным данным: природная плотность грунта $\rho = 2,08 \text{ г/см}^3$; плотность грунта в сухом состоянии $\rho = 2,67 \text{ г/см}^3$; природная влажность $W = 20,0 \%$; влажность на границе раскатывания $W_p = 16,5 \%$; влажность на границе текучести $W_L = 22,0 \%$.

Тип задачи 2

Определить величину вертикальных природных напряжений для напластованных грунтов и построить эпюру распределения напряжений σ_{zg} . Первый слой сложен супесью пластичной с удельным весом $\gamma_1 = 18 \text{ кН/м}^3$, мощность слоя составляет $h_1 = 4,0 \text{ м}$. Второй слой сложен суглинками тугопластичными с удельным весом $\gamma_2 = 17 \text{ кН/м}^3$, мощность слоя составляет

$h_2 = 5,0$ м. Третий слой сложен мелкими песками с удельным весом $\gamma_3 = 17 \text{ кН} / \text{м}^3$ и с мощностью слоя $h_3 = 5,0$ м.

Тип задачи 3

Определить величину вертикальных природных напряжений для напластованных грунтов и построить эпюру распределения напряжений σ_{z_g} . Первый слой сложен супесью пластичной с удельным весом $\gamma_1 = 16 \text{ кН} / \text{м}^3$, мощность слоя составляет $h_1 = 4,0$ м. Второй слой сложен мелкими песками с удельным весом $\gamma_2 = 18 \text{ кН} / \text{м}^3$, мощность слоя составляет $h_2 = 6,0$ м с коэффициентом пористости $e_2 = 0,45$, удельный вес частиц грунта $\gamma_{s2} = 26 \text{ кН} / \text{м}^3$. Уровень грунтовых вод УГВ расположен на глубине $4,0$ м. Третий слой сложен глинами тугопластичными с удельным весом $\gamma_3 = 20 \text{ кН} / \text{м}^3$ с мощностью слоя $h_3 = 4,0$ м.

Тип задачи 4

Определить величину сжимающих напряжений σ_z по глубине основания, построить эпюру его распределения под центром (точка М) и углом (точка С) загруженного прямоугольного фундамента размером $l \times b = 4 \times 2$ м на глубине $z = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 7,0$ и $8,0$ м от поверхности при внешней нагрузке интенсивностью $p = 200 \text{ кПа}$.

Тип задачи 5

Определить глубину заложения фундамента для отапливаемого здания без подвала с полами, устраиваемыми по утепленному цокольному перекрытию. Район строительства – г. Караганда. Среднесуточная температура в помещениях внутри здания – 21 °С. Грунт основания – суглинок с показателем текучести $J_L = 0,21$. Уровень грунтовых вод находится на глубине 5 м от поверхности земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии даны рекомендации по изучению курса «Основания и фундаменты зданий, сооружений» с объемом 180 час. Объем сведений, рассматриваемый в настоящем курсе, призван обеспечить лишь минимально необходимый уровень знаний и умений студентов-бакалавров и предполагает значительный объем самостоятельной работы с учебниками таких общепризнанных авторов, как Н. А. Цытович, Н. Н. Маслов, Б. И. Далматов и других.

Нами рассмотрены лишь некоторые инженерно-геологические процессы и условия работы грунтов оснований под фундаменты зданий и сооружений при различных внешних условиях и пути выбора наиболее оптимальных решений. Знания о прочностных и деформационных свойствах грунтов, их устойчивости, а также о применяемых методах расчетов позволят будущим специалистам в дальнейшем вполне успешно решать практические задачи по проектированию и возведению фундаментов зданий и сооружений. Очень важно не просто научиться применять те или иные формулы, табличные значения, а понять физический смысл процессов и явлений, особенности распределения напряжений, причины развития деформаций, границы применимости расчетных моделей.

Варианты грунтовых условий с 1 по 30

Вариант 1

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	231,1	Песок пылеватый	2,2	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	6,0	УГВ = = 3,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	1,9	1,9	0,21	0,40	0,30	1,70	35	13	8,0	
		Глина со щебнем до 12 %	2,8	2,5	0,19	0,37	0,22	1,93	60	22	20,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,0	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	46,0	
2	229,9	Песок пылеватый	2,1	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	6,0	УГВ = = 4,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	2,5	1,9	0,21	0,40	0,30	1,70	35	13	8,0	
		Глина со щебнем до 12 %	1,9	2,5	0,19	0,37	0,22	1,93	60	22	20,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,5	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	46,0	

Вариант 2

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	91,0	Суглинок	0,9	2,71	0,27	0,40	0,37	1,65	17	17	3,5	УГВ = = 0,8 м
		Песок пылеватый	1,5	2,68	–	–	0,32	1,65	1,5	25	8,0	
		Суглинок	3,1	2,69	0,15	0,23	0,19	1,93	26	23	16,3	
		Песок гравелистый	1,1	2,69	–	–	0,33	1,75	2	28	19,5	
		Гравелистый грунт (рухляк)	4,8	2,72	–	–	0,17	2,05	–	41	28,0	
2	91,8	Суглинок	0,7	2,71	0,27	0,40	0,37	1,65	17	17	3,5	УГВ = = 1,2 м
		Песок пылеватый	1,8	2,68	–	–	0,32	1,65	1,5	25	8,0	
		Суглинок	3,0	2,69	0,15	0,23	0,19	1,93	26	23	16,3	
		Песок гравелистый	1,5	2,69	–	–	0,33	1,75	2	28	19,5	
		Гравелистый грунт (рухляк)	4,5	2,72	–	–	0,17	2,05	–	41	28,0	

Вариант 3

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	39,3	Супесь аллювиальная	1,4	2,66	0,19	0,23	0,23	2,03	2,5	21	13,0	УГВ = = 0,8 м
		Пылеватый песок заторфованный	8,7	2,65	0,07	0,09	0,25	1,98	2,5	26	12,0	
2	38,5	Супесь аллювиальная	1,8	2,66	0,19	0,23	0,23	2,03	2,5	21	13,0	УГВ = = 0,3 м
		Пылеватый песок заторфованный	9,1	2,65	0,07	0,09	0,25	1,98	2,5	26	12,0	

Вариант 4

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	112,1	Песок мелкий аллювиальный	3,1	2,67	–	–	0,21	1,86	0	26	13,0	УГВ = = 0,5 м
		Супесь аллювиальная	6,1	2,69	0,18	0,24	0,21	1,95	29	19	11,0	
		Песок пылеватый	1,1	270	–	–	0,22	1,97	2	28	7,0	
		Рухляки алевролитов	8,0	2,71	–	–	0,18	2,20	100	24	28,0	
2	113,2	Песок мелкий аллювиальный	3,5	2,67	–	–	0,21	1,86	0	26	13,0	УГВ = = 0,4 м
		Супесь аллювиальная	5,2	2,69	0,18	0,24	0,21	1,95	29	19	11,0	
		Песок пылеватый	0,8	270	–	–	0,22	1,97	2	28	7,0	
		Рухляки алевролитов	6,3	2,71	–	–	0,18	2,20	100	24	28,0	

Вариант 5

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	151,0	Мелкий песок	6,6	2,67	–	–	0,20	1,92	4,0	30	27,0	УГВ = = 0,8 м
		Торф	3,2	1,90	–	–	0,75*	1,2	–	28	2,0	
		Суглинок озерно-аллювиальный	5,4	2,65	0,17	0,25	0,31	1,84	19	18	6,9	
2	151,8	Мелкий песок	6,8	2,67	–	–	0,20	1,92	4,0	30	27,0	УГВ = = 0,9 м
		Торф	2,9	1,90	–	–	0,75*	1,2	–	28	2,0	
		Суглинок озерно-аллювиальный	5,8	2,65	0,17	0,25	0,31	1,84	19	18	6,9	

* – дана объемная влажность торфа.

Вариант 6

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	134,5	Суглинок озерно-аллювиальный	6,6	2,65	0,20	0,29	0,30	1,85	15	16	9,0	УГВ = = 1,2 м
		Супесь аллювиальная	3,3	2,66	0,16	0,22	0,23	1,78	2	17	8,8	
		Глина третичная	4,3	2,65	0,45	0,65	0,50	1,70	20	10	17,0	
2	133,9	Суглинок озерно-аллювиальный	7,4	2,65	0,20	0,29	0,30	1,85	15	16	9,0	УГВ = = 0,9 м
		Супесь аллювиальная	3,5	2,66	0,16	0,22	0,23	1,78	2	17	8,8	
		Глина третичная	3,8	2,65	0,45	0,65	0,50	1,70	20	10	17,0	

Вариант 7

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	167,0	Пылеватый песок	1,9	2,67	–	–	0,1	1,84	7	34	15,0	УГВ = = 4,9 м
		Супесь	2,4	2,65	0,13	0,17	0,15	1,79	3	21	12,0	
		Суглинок аллювиальный	3,8	2,66	0,17	0,25	0,24	1,81	15	14	8,9	
		Глина	3,7	2,65	0,37	0,53	0,40	1,80	42	16	30,0	
2	168,0	Пылеватый песок	2,8	2,67	–	–	0,1	1,84	7	34	15,0	УГВ = = 4,8 м
		Супесь	3,6	2,65	0,13	0,17	0,15	1,79	3	21	12,0	
		Суглинок аллювиальный	4,6	2,66	0,17	0,25	0,24	1,81	15	14	8,9	
		Глина	3,7	2,65	0,37	0,53	0,40	1,80	42	16	30,0	

Вариант 8

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	65,0	Суглинок аллювиальный	4,8	2,66	0,19	0,27	0,24	1,80	23	22	10,5	УГВ = = 5,2 м
		Мелкий песок	1,9	2,65	–	–	0,29	1,93		30	21,0	
		Супесь	2,3	2,66	0,16	0,23	0,28	1,82	8	24	10,0	
		Суглинок аллювиальный	4,8	2,67	0,14	0,26	0,18	1,97	40	24	20,0	
2	65,9	Суглинок аллювиальный	5,1	2,66	0,19	0,27	0,24	1,80	23	22	10,5	УГВ = = 4,7 м
		Супесь	2,1	2,66	0,16	0,23	0,28	1,82	8	24	10,0	
		Суглинок аллювиальный	4,4	2,67	0,14	0,26	0,18	1,97	40	24	20,0	

Вариант 9

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	86,5	Суглинок лессовидный	3,8	2,67	0,17	0,26	0,19	1,81	26	24	16,0	УГВ = = 4,9 м
		Суглинок лессовидный	3,9	2,66	0,19	0,30	0,27	1,95	33	20	12,0	
		Мелкий песок	3,5	2,65	–	–	0,20	1,86	4	31	14,5	
2	85,8	Суглинок лессовидный	3,2	2,67	0,17	0,26	0,19	1,81	26	24	16,0	УГВ = = 3,7 м
		Суглинок лессовидный	4,1	2,66	0,19	0,30	0,27	1,95	33	20	12,0	
		Мелкий песок	3,8	2,65	–	–	0,20	1,86	4	31	14,5	

Вариант 10

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	184,5	Суглинок загипсованный	5,4	2,67	0,18	0,26	0,17	1,78	27	23	18,0	УГВ не отмечен
		Суглинок	6,3	2,69	0,13	0,29	0,28	1,81	32	22	7,2	
		Глина со щебнем известняка	2,9	2,72	0,17	0,36	0,19	1,96	61	28	22,0	
2	189,8	Суглинок загипсованный	4,8	2,67	0,18	0,26	0,17	1,78	27	23	18,0	УГВ = = 1,2 м
		Суглинок	6,5	2,69	0,13	0,29	0,28	1,81	32	22	7,2	
		Глина со щебнем известняка	3,8	2,72	0,17	0,36	0,19	1,96	61	28	22,0	

Вариант 11

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_D , кПа	φ_D , град	E , МПа	Примечание
1	231,4	Песок пылеватый	2,2	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	8,0	УГВ = 4,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	1,9	1,9	0,21	0,40	0,30	1,79	40	14	10,0	
		Глина со щебнем до 12 %	2,5	2,5	0,19	0,37	0,22	1,98	70	23	24,5	
		Глина со щебнем до 20 %	3,7	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	41,0	
2	230,7	Песок пылеватый	2,5	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	8,0	УГВ = 5,7 м
		Глина со щебнем до 5 %	2,1	1,9	0,21	0,40	0,30	1,79	40	14	10,0	
		Глина со щебнем до 12 %	0,8	2,5	0,19	0,37	0,22	1,98	70	23	24,5	
		Глина со щебнем до 20 %	3,9	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	41,0	

Вариант 12

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_D , кПа	φ_D , град	E , МПа	Примечание
1	91,0	Суглинок	1,1	2,71	0,27	0,40	0,37	1,65	17	17	4,0	УГВ = 0,7 м
		Песок пылеватый	1,6	2,68	–	–	0,32	1,65	1,5	25	8,3	
		Суглинок	2,9	2,69	0,15	0,23	0,19	2,00	28	23	20,5	
		Песок гравелистый	1,8	2,69	–	–	0,33	1,84	3	30	22,0	
		Гравелистый грунт (рухляк)	4,5	2,72	–	–	0,17	2,05	–	41	28,0	
2	91,8	Суглинок	0,7	2,70	0,28	0,40	0,36	1,64	17	18	3,0	УГВ = 1,6 м
		Песок пылеватый	1,3	2,69	–	–	0,31	1,64	2	24	8,0	
		Суглинок	3,0	2,69	0,17	0,25	0,23	1,98	27	23	19,5	
		Песок гравелистый	1,5	2,70	–	–	0,32	1,86	4	31	21,5	
		Гравелистый грунт (рухляк)	4,3	2,72	–	–	0,17	2,05	–	41	28,0	

Вариант 13

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_D , кПа	φ_D , град	E , МПа	Примечание
1	39,6	Супесь аллювиальная	1,5	2,66	0,19	0,23	0,23	1,86	2	20	8,4	УГВ = 0,8 м
		Пылеватый песок заторфованный	8,7	2,65	0,07	0,09	0,25	1,76	2	24	5,7	
2	38,7	Супесь аллювиальная	1,8	2,66	0,19	0,23	0,23	1,86	2	20	8,4	УГВ = 1,3 м
		Пылеватый песок заторфованный	9,4	2,65	0,07	0,09	0,25	1,76	2	24	5,7	

Вариант 14

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	e_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	112,2	Песок мелкий аллювиальный	3,4	2,67	–	–	0,21	1,93	1	29	14,2	УГВ = 0,5 м
		Супесь аллювиальная	6,1	2,69	0,18	0,24	0,21	2,01	33	23	12,2	
		Песок пылеватый	1,1	2,70	–	–	0,22	1,97	2	28	7,7	
		Рухляки алевролитов	8,0	2,71	–	–	0,18	2,20	100	24	27,0	
2	113,4	Песок мелкий аллювиальный	3,9	2,67	–	–	0,21	1,93	1	29	14,2	УГВ = 0,8 м
		Супесь аллювиальная	5,6	2,69	0,18	0,24	0,21	2,01	33	23	12,2	
		Песок пылеватый	0,9	2,70	–	–	0,22	1,97	2	28	7,7	
		Рухляки алевролитов	6,0	2,71	–	–	0,18	2,20	100	24	27,0	

Вариант 15

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	e_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	151,0	Мелкий песок	6,8	2,67	–	–	0,20	2,0	3,8	31	32,0	УГВ = 2,4 м
		Торф	3,3	1,90	–	–	0,75*	1,20	–	28	1,9	
		Суглинок озерно-аллювиальный	5,4	2,65	0,17	0,25	0,31	1,9	20	16	8,4	
2	151,9	Мелкий песок	7,3	2,67	–	–	0,20	2,0	3,8	31	32,0	УГВ = 3,5 м
		Торф	2,8	1,90	–	–	0,75*	1,20	–	28	1,9	
		Суглинок озерно-аллювиальный	5,8	2,65	0,17	0,25	0,31	1,9	20	16	8,4	

* – дана объемная влажность торфа

Вариант 16

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	e_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	134,4	Суглинок озерно-аллювиальный	6,6	2,65	0,20	0,29	0,30	1,75	11	9	6,6	УГВ = 1,6 м
		Супесь аллювиальная	3,1	2,66	0,16	0,22	0,23	1,78	2	17	8,0	
		Глина третичная	4,1	2,65	0,45	0,65	0,50	1,54	5	6	15,0	
2	133,9	Суглинок озерно-аллювиальный	7,6	2,65	0,20	0,29	0,30	1,75	11	9	6,6	УГВ = 0,9 м
		Супесь аллювиальная	3,2	2,66	0,16	0,22	0,23	1,78	2	17	8,0	
		Глина третичная	3,2	2,65	0,45	0,65	0,50	1,54	5	6	15,0	

Вариант 17

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	e_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	167,0	Пылеватый песок	1,9	2,67	–	–	0,1	1,84	6	34	16,4	УГВ = 4,0 м
		Супесь	2,4	2,65	0,13	0,17	0,15	1,85	7	24	21,0	
		Суглинок аллювиальный	3,8	2,66	0,17	0,25	0,24	1,86	16	17	10,3	
		Глина	3,7	2,65	0,37	0,53	0,40	1,80	42	16	31,0	
2	167,6	Пылеватый песок	2,6	2,67	–	–	0,1	1,84	6	34	16,4	УГВ = 4,8 м
		Супесь	3,6	2,65	0,13	0,17	0,15	1,85	7	24	21,0	
		Суглинок аллювиальный	4,5	2,66	0,17	0,25	0,24	1,86	16	17	10,3	
		Глина	3,9	2,65	0,37	0,53	0,40	1,80	42	16	31,0	

Вариант 18

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ_p , град	E , МПа	Примечание
1	65,3	Суглинок аллювиальный	4,6	2,66	0,19	0,27	0,24	1,93	23	22	15,6	УГВ = = 5,2 м
		Мелкий песок	1,9	2,65	–	–	0,29	1,93	0	30	21,4	
		Супесь	1,9	2,66	0,16	0,23	0,28	1,82	8	23	9,2	
		Суглинок аллювиальный	4,9	2,67	0,14	0,26	0,16	2,02	40	26	29,0	
2	65,8	Суглинок аллювиальный	5,1	2,66	0,19	0,27	0,24	1,93	23	22	15,6	УГВ = = 4,7 м
		Супесь	3,2	2,66	0,16	0,23	0,28	1,82	8	23	9,2	
		Суглинок аллювиальный	3,4	2,67	0,14	0,26	0,16	2,02	40	26	29,0	

Вариант 19

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ_p , град	E , МПа	Примечание
1	85,1	Суглинок лёссовидный	3,6	2,67	0,17	0,26	0,19	1,65	18	20	11,0	УГВ = = 4,9 м
		Суглинок лёссовидный	3,8	2,66	0,19	0,30	0,27	1,85	30	18	8,0	
		Мелкий песок	3,5	2,65	–	–	0,20	1,86	4	31	14,2	
2	85,8	Суглинок лёссовидный	3,0	2,67	0,17	0,26	0,19	1,65	18	20	11,0	УГВ = = 3,8 м
		Суглинок лёссовидный	5,1	2,66	0,19	0,30	0,27	1,85	30	18	8,0	
		Мелкий песок	3,8	2,65	–	–	0,20	1,86	4	31	14,2	

Вариант 20

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ_p , град	E , МПа	Примечание
1	189,5	Суглинок заглипсованный	5,3	2,67	0,18	0,26	0,17	1,83	28	24	20,5	УГВ не отмечен
		Суглинок	6,2	2,69	0,13	0,29	0,28	1,89	35	23	15,0	
		Глина со щебнем известняка	2,9	2,72	0,17	0,36	0,19	1,96	61	28	23,2	
2	189,8	Суглинок заглипсованный	4,8	2,67	0,18	0,26	0,17	1,83	28	24	20,5	УГВ не отмечен
		Суглинок	6,7	2,69	0,13	0,29	0,28	1,89	35	23	15,0	
		Глина со щебнем известняка	3,5	2,72	0,17	0,36	0,19	1,96	61	28	23,2	

Вариант 21

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_d , кПа	φ_d , град	E , МПа	Примечание
1	231,7	Песок пылеватый	2,2	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	7,0	УГВ = = 4,4 м
		Глина со щебнем до 5 %	1,9	1,9	0,21	0,40	0,30	1,88	50	16	12,0	
		Глина со щебнем до 12 %	2,5	2,5	0,19	0,37	0,22	2,08	82	23	29,0	
		Глина со щебнем до 20 %	3,9	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	45,0	
2	230,9	Песок пылеватый	2,0	2,67	–	–	0,18	1,71	2	27	7,0	УГВ = = 5,8 м
		Глина со щебнем до 5 %	2,6	1,9	0,21	0,40	0,30	1,88	50	16	12,0	
		Глина со щебнем до 12 %	0,8	2,5	0,19	0,37	0,22	2,08	82	23	29,0	
		Глина со щебнем до 20 %	4,1	3,9	0,16	0,36	0,17	2,14	100	28	45,0	

Вариант 22

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_d , кПа	φ_d , град	E , МПа	Примечание
1	91,0	Суглинок	0,8	2,71	0,27	0,40	0,37	1,65	18	17	3,2	УГВ = = 1,9 м
		Песок пылеватый	1,4	2,68	–	–	0,32	1,65	1,5	25	8,0	
		Суглинок	2,9	2,69	0,15	0,23	0,19	1,85	25	21	14,0	
		Песок гравелистый	1,3	2,69	–	–	0,33	1,67	4	27	14,8	
		Гравелистый грунт (рухляк)	4,5	2,72	–	–	0,17	2,05	–	41	28,0	
2	91,8	Суглинок	0,7	2,71	0,27	0,40	0,37	1,65	18	17	3,2	УГВ = = 1,1 м
		Песок пылеватый	1,3	2,68	–	–	0,32	1,65	1,5	25	8,0	
		Суглинок	3,0	2,69	0,15	0,23	0,19	1,85	25	21	14,0	
		Песок гравелистый	1,5	2,69	–	–	0,33	1,67	4	27	14,8	
		Гравелистый грунт (рухляк)	4,9	2,72	–	–	0,17	2,05	–	41	28,0	

Вариант 23

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_d , кПа	φ_d , град	E , МПа	Примечание
1	39,5	Супесь аллювиальная	1,6	2,66	0,19	0,23	0,23	1,97	2,3	21	12,0	УГВ = = 0,9 м
		Пылеватый песок заторфованный	8,7	2,65	0,07	0,09	0,25	1,87	2,3	25	7,0	
2	38,7	Супесь аллювиальная	1,8	2,66	0,19	0,23	0,23	1,97	2,3	21	12,0	УГВ = = 0,3 м
		Пылеватый песок заторфованный	9,3	2,65	0,07	0,09	0,25	1,87	2,3	25	7,0	

Вариант 24

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ , град	E , МПа	Примечание
1	112,6	Песок мелкий аллювиальный	3,2	2,67	–	–	0,21	2,02	2	30	18,4	УГВ = 1,5 м
		Супесь аллювиальная	6,1	2,69	0,18	0,24	0,21	2,06	35	24	15,0	
		Песок пылеватый	1,1	2,70	–	–	0,22	1,97	3	29	7,5	
		Рухляки алевролитов	8,0	2,71	–	–	0,18	2,20	100	24	28,0	
2	113,8	Песок мелкий аллювиальный	3,5	2,67	–	–	0,21	2,02	2	30	18,4	УГВ = 2,4 м
		Супесь аллювиальная	5,4	2,69	0,18	0,24	0,21	2,06	35	24	15,0	
		Песок пылеватый	0,9	2,70	–	–	0,22	1,97	3	29	7,5	
		Рухляки алевролитов	6,3	2,71	–	–	0,18	2,20	100	24	28,0	

Вариант 25

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ , град	E , МПа	Примечание
1	151,0	Мелкий песок	6,5	2,67	–	–	0,20	1,84	4,0	30	18,7	УГВ = 2,4 м
		Торф	3,2	1,90	–	–	0,75*	1,2	–	28	1,0	
		Суглинок озерно-аллювиальный	5,4	2,65	0,17	0,25	0,31	1,76	21	17	5,2	
2	151,8	Мелкий песок	6,8	2,67	–	–	0,20	1,84	4,0	30	18,7	УГВ = 3,5 м
		Торф	2,8	1,90	–	–	0,75*	1,2	–	28	1,0	
		Суглинок озерно-аллювиальный	5,1	2,65	0,17	0,25	0,31	1,76	21	17	5,2	

* – дана объемная влажность торфа

Вариант 26

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ , град	E , МПа	Примечание
1	134,8	Суглинок озерно-аллювиальный	6,4	2,65	0,20	0,29	0,30	1,8	12	11	7,5	УГВ = 1,6 м
		Супесь аллювиальная	3,3	2,66	0,16	0,22	0,23	1,78	5	18	8,5	
		Глина третичная	4,1	2,65	0,45	0,65	0,50	1,65	12	8	16,6	
2	133,3	Суглинок озерно-аллювиальный	7,4	2,65	0,20	0,29	0,30	1,8	12	11	7,5	УГВ = 1,8 м
		Супесь аллювиальная	3,2	2,66	0,16	0,22	0,23	1,78	5	18	8,5	
		Глина третичная	3,2	2,65	0,45	0,65	0,50	1,65	12	8	16,6	

Вариант 27

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_s , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	ϕ , град	E , МПа	Примечание
1	167,0	Пылеватый песок	1,8	2,67	–	–	0,1	1,84	6	34	16,0	УГВ = 4,1 м
		Супесь	2,4	2,65	0,13	0,17	0,15	2,00	9	25	29,0	
		Суглинок аллювиальный	3,9	2,66	0,17	0,25	0,24	1,94	21	20	14,0	
		Глина	3,7	2,65	0,37	0,53	0,40	1,80	42	16	30,0	
2	167,2	Пылеватый песок	2,7	2,67	–	–	0,1	1,84	6	34	16,0	УГВ = 4,8 м
		Супесь	3,6	2,65	0,13	0,17	0,15	2,00	9	25	29,0	
		Суглинок аллювиальный	4,6	2,66	0,17	0,25	0,24	1,94	21	20	14,0	
		Глина	3,9	2,65	0,37	0,53	0,40	1,80	42	16	30,0	

Вариант 28

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	65,1	Суглинок аллювиальный	4,4	2,66	0,19	0,27	0,24	1,75	21	22	8,8	УГВ = 3,2 м
		Мелкий песок	1,8	2,65	–	–	0,29	1,93	0	30	21,0	
		Супесь	1,9	2,66	0,16	0,23	0,28	1,82	8	24	9,0	
		Суглинок аллювиальный	4,9	2,67	0,14	0,26	0,22	1,86	25	23	12,0	
2	65,8	Суглинок аллювиальный	5,1	2,66	0,19	0,27	0,24	1,75	21	22	8,8	УГВ = 4,7 м
		Супесь	3,1	2,66	0,16	0,23	0,28	1,82	8	24	9,0	
		Суглинок аллювиальный	3,4	2,67	0,14	0,26	0,22	1,86	25	23	12,0	

Вариант 29

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	85,1	Суглинок лессовидный	3,4	2,67	0,17	0,26	0,19	1,72	20	21	12,0	УГВ = 4,9 м
		Суглинок лессовидный	3,8	2,66	0,19	0,30	0,27	1,90	32	18	10,4	
		Мелкий песок	3,5	2,65	–	–	0,20	1,86	5	31	14,5	
2	85,8	Суглинок лессовидный	3,2	2,67	0,17	0,26	0,19	1,72	20	21	12,0	УГВ = 3,8 м
		Суглинок лессовидный	4,1	2,66	0,19	0,30	0,27	1,90	32	18	10,4	
		Мелкий песок	3,8	2,65	–	–	0,20	1,86	5	31	14,5	

Вариант 30

Физико-механические характеристики грунтов

Номер скв.	Коорд. устья скв., м	Наименование грунта	Толщ. слоя, м	ρ_r , т/м ³	w_p	w_L	w	ρ , т/м ³	c_p , кПа	φ_p , град	E , МПа	Примечание
1	187,5	Суглинок заглипсованный	5,1	2,67	0,18	0,26	0,17	1,87	34	24	17,2	УГВ не отмечен
		Суглинок	6,3	2,69	0,13	0,29	0,28	1,99	39	24	7,8	
		Глина со щебнем известняка	2,9	2,72	0,17	0,36	0,19	1,96	61	29	22,4	
2	187,8	Суглинок заглипсованный	4,9	2,67	0,18	0,26	0,17	1,87	34	24	17,2	УГВ не отмечен
		Суглинок	6,5	2,69	0,13	0,29	0,28	1,99	39	24	7,8	
		Глина со щебнем известняка	3,5	2,72	0,17	0,36	0,19	1,96	61	29	22,4	

Нагрузки на фундамент

Номер варианта	Нагрузки на обрез фундамента для расчета по несущей способности						Сечение колонны, мм	Расстояние от оси колонны до оси наружной стены, м	
	1-я комбинация			2-я комбинация					Нагрузка от стены, N кН
	N_{\max} кН	M кНм	Q кН	M кНм	N_{\max} кН	Q кН			
1	850	50	25	-65	800	-30	150	400 x 400	0,4
2	950	60	30	-65	900	-35	180	400 x 500	0,45
3	1250	80	30	-85	1200	-30	195	400 x 600	0,5
4	2100	100	40	-105	2000	-45	210	500 x 600	0,55
5	1800	120	30	-125	1750	-30	150	400 x 600	0,4
6	1600	80	40	-80	1400	-40	120	400 x 400	0,45
7	900	50	20	-50	1600	-30	130	400 x 500	0,4
8	750	60	30	-60	1800	-40	140	400 x 600	0,45
9	800	80	40	-65	2000	-30	150	500 x 600	0,5
10	1000	100	25	-70	800	35	160	500 x 500	0,4
11	1100	120	30	-75	900	-40	180	400 x 400	0,45
12	1200	80	40	-80	1000	-45	130	400 x 500	0,5
13	1400	90	45	-90	1200	-20	140	500 x 500	0,4
14	1600	120	25	-100	1400	-25	150	400 x 600	0,45
15	1800	100	30	-110	1600	-30	160	400 x 500	0,5
16	2000	120	40	-120	1800	-35	170	600 x 800	0,4
17	1200	80	20	-50	600	-40	180	400 x 400	0,45
18	1400	50	25	-60	700	-20	200	400 x 500	0,5
19	1600	60	30	-70	800	-25	150	400 x 500	0,4
20	1800	70	34	-80	900	-30	160	400 x 600	0,45
21	2000	80	40	-90	1000	-35	170	500 x 800	0,5
22	2400	90	45	-100	1200	-40	180	400 x 400	0,4
23	750	100	50	-110	500	-20	190	400 x 500	0,45
24	800	120	55	-120	600	-25	200	400 x 500	0,5
25	850	60	60	-50	600	-30	160	500 x 500	0,4
26	900	70	20	-60	550	-35	170	500 x 500	0,45
27	950	80	25	-70	600	-35	180	400 x 600	0,5
28	1000	90	30	-80	500	-40	185	500 x 600	0,4
29	1200	100	35	-90	600	-40	190	500 x 600	0,45
30	2000	120	40	-100	1200	-45	200	600 x 800	0,5

Варианты районов строительства

№ п/п	Город	Глина или суглинок	Супесь, песок пылеватый или мелкий	Песок средней крупности, крупный или гравелистый	Крупнообломочные грунты
1	Архангельск	1,59	1,94	2,08	2,35
2	Астрахань	0,91	1,1	1,18	1,34
3	Барнаул	1,86	2,27	2,43	2,75
4	Братск	2,06	2,51	2,69	3,04
5	Владимир	1,37	1,65	1,79	2,03
6	Вологда	1,5	1,83	1,96	2,22
7	Екатеринбург	1,72	2,09	2,24	2,54
8	Иваново	1,44	1,75	1,88	2,13
9	Ижевск	1,65	2,01	2,15	2,44
10	Иркутск	2,02	2,46	2,63	2,98
11	Казань	1,58	1,93	2,07	2,34
12	Калининград	0,59	0,71	0,76	0,87
13	Кемерово	1,95	2,38	2,55	2,88
14	Красноярск	1,9	2,31	2,47	2,8
15	Липецк	1,32	1,6	1,72	1,95
16	Магадан	2,06	2,51	2,68	3,04
17	Москва	1,32	1,61	1,72	1,95
18	Мурманск	1,49	1,81	1,94	2,2
19	Омск	1,94	2,36	2,53	2,87
20	Орел	1,24	1,51	1,62	1,83
21	Оренбург	1,65	2,01	2,15	2,44
22	Пенза	1,47	1,8	1,92	2,18
23	Рязань	1,36	1,65	1,77	2,01
24	Самара	1,54	1,88	2,01	2,28
25	Санкт-Петербург	1,15	1,39	1,49	1,69
26	Саратов	1,41	1,71	1,84	2,08
27	Сыктывкар	1,74	2,11	2,26	2,57
28	Тамбов	1,35	1,64	1,76	2,0
29	Томск	1,97	2,4	2,57	2,91
30	Ярославль	1,43	1,74	1,86	2,11

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.
2. ГОСТ 13580.2021. Плиты железобетонные ленточных фундаментов. Технические условия.
3. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.
4. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты.
5. СП 63.13330.2016 Железобетонные конструкции.
6. СП 131.13330.2018. Строительная климатология.
7. Берлинов, М. В. Основания и фундаменты: учеб. / М. В. Берлинов. – 4-е изд., перер. и доп. – Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2011. – 320 с. (ЭСБ «Университетская библиотека онлайн»).
8. Далматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пособие / Б. И. Далматов. – 2-е изд., перер. и доп. – Ленинград: Строиздат, 1988. – 415 с
9. Проектирование оснований фундаментов на пучинистом грунте: метод. пособие. – Москва: Изд-во Мин. строительства и ЖКХ РФ, 2019. – 53 с.
10. Михайлов, А., Концедаева, Ж. Механика грунтов: учеб. пособие / А. Михайлов, Ж. Концедаева. – Вологда–Москва: Изд-во ИНФРА-Инженерия, 2021. – 364 с.
11. Насонов, С. Б. Руководство по проектированию и расчету строительных конструкций / С. Б. Насонов. – Москва: Изд-во АСВ, 2015. – 816 с.
12. Савельев, А. В. Основания и фундаменты сооружений: учеб. пособие / А. В. Савельев. – Москва: Альтаир: МГАВТ, 2014. – 119 с. (ЭСБ «Университетская библиотека онлайн»).
13. Симвулиди, И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании: учеб. пособие / И. А. Симвулиди. – Москва: Высшая школа, 1973. – 431 с. (ЭСБ «Университетская библиотека онлайн»).

Локальный электронный методический материал

Александр Юрьевич Михайлов

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ,
СООРУЖЕНИЙ

Редактор Э. С. Круглова

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л 7,0. Печ. л. 6,8

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1