

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра строительства горных предприятий
и подземных сооружений

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ
И ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Методические указания по курсовому проектированию
для студентов магистратуры направления 08.04.01

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022

УДК 624 (073)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ: Методические указания по курсовому проектированию / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *П.А. Деменков, О.М. Смирнова, А.В. Алексеев*. СПб, 2022. 32 с.

В методических указаниях приведены необходимые исходные и справочные данные для выполнения курсового проектирования по дисциплине «Проектирование сооружений при освоении подземного пространства». Дано описание технологий строительства «Тор down» и «стена в грунте». Приведены рекомендации по моделированию в программном комплексе Plaxis 3D.

Предназначены для студентов магистратуры направления 08.04.01 «Строительство» программа «Проектирование строительства и реконструкции зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения».

Научный редактор проф. *А.Г. Протосеня*

Рецензент доц. *Е.В. Городнова* (ФГБОУ ПГУПС)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по курсовому проектированию составлены в соответствии с учебным планом и программой учебной дисциплины «Проектирование сооружений при освоении подземного пространства».

Исследование взаимодействия строящегося сооружения на существующее здание является сложной геомеханической задачей, так как напряженно-деформированное состояние зависит от многих факторов, которые варьируются в широком диапазоне (геометрические размеры, физико-механические свойства грунта, характер контактного взаимодействия и т.д.). Для решения поставленной задачи предлагается использовать численное моделирование с применением метода конечных элементов (МКЭ). Несмотря на некоторую идеализацию натуральных условий, использование МКЭ позволяет приблизить расчетную схему к реальному объекту, а также дает возможность изучать объект в широком диапазоне условий путем изменения свойств среды и геометрических параметров модели.

Одним из наиболее популярных сегодня является программный комплекс PLAXIS, предназначенный для выполнения сложных геотехнических расчетов напряженно-деформированного состояния системы «грунтовый массив — сооружение» в процессе строительства, эксплуатации и реконструкции с учетом изменения свойств грунтов и материалов конструктивных элементов. С помощью PLAXIS инженер может оперативно создавать различные варианты проектируемого сооружения, учитывая многие факторы, влияющие на выбор оптимального решения.

Работа над курсовым проектом способствует более полному усвоению теоретического материала, приобретению навыков практического расчета геотехнических конструкций с учетом особенностей процессов возведения и правильной интерпретации полученных результатов.

Студент, работая над проектом, систематизирует, закрепляет и углубляет знания, полученные им в процессе обучения. Он должен научиться пользоваться нормативной литературой, учебниками, справочной литературой, ГОСТами и другими материалами.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Цель курсового проекта – закрепление теоретических знаний по дисциплине «Проектирование сооружений при освоении подземного пространства» и приобретение практических навыков в проектировании полузаглубленных сооружений.

Курсовой проект по дисциплине «Проектирование сооружений при освоении подземного пространства» является комплексным проектом, включающим в себя:

- анализ грунтов площадки строительства на основе данных изысканий и определений физико-механических характеристик отдельных слоёв основания;
- выбор и обоснование геометрических параметров модели и отдельных конструкций;
- выделение основных влияющих факторов и учет их при моделировании;
- построение модели;
- задание этапов расчета;
- выполнение численных расчетов с корректировкой, при необходимости, входных параметров;
- обработка полученных результатов;
- армирование «стены в грунте»;
- проведение численных экспериментов.

Проектирование необходимо вести в постоянной увязке с соответствующими разделами курса «Проектирование сооружений при освоении подземного пространства», руководствуясь при этом строительными нормами и правилами и последними достижениями в строительной отрасли.

1.2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задание на разработку проекта выдаётся студенту на основании исходных данных, в которых содержится:

а) данные о полузаглубленном сооружении (схема, геометрия, количество ярусов, конструкции и т.д.);

б) данные о площадке строительства (название географического места строительства, расстояние между скважинами, инженерно-геологический разрез в пределах поперечного или продольного разреза здания с показанием на нём генетических типов грунтов, их основных физико-механических характеристик, положением уровня грунтовых вод);

в) данные о подрабатываемом здании (тип фундамента, геометрические параметры фундаментов, нагрузка на фундаменты, удаленность от котлована и т.д.).

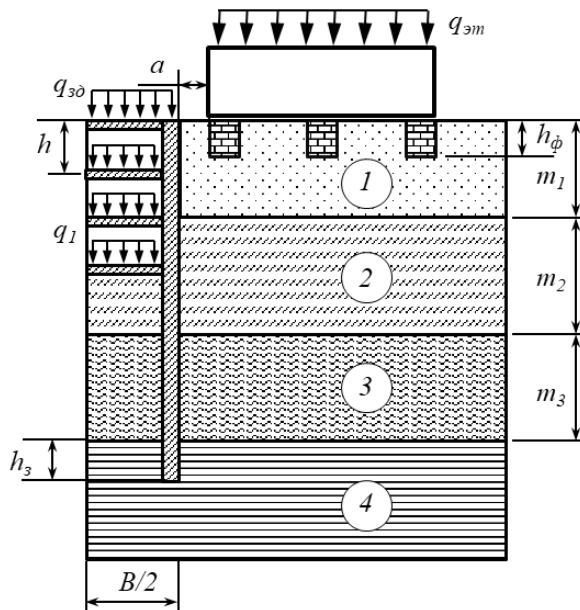


Рис. 1.1. Геотехническая схема

По согласованию с руководителем основные данные для выполнения курсового проекта могут приниматься в соответствии с заданием на дипломное проектирование.

При выполнении курсового проекта необходимо:

- подобрать геометрические параметры стены в грунте [9];

- рассчитать дополнительное воздействие от строительства на существующее здание (рис. 1.1) [8];
- построить мульту оседания на различных этапах строительства;
- выполнить корректировку параметров стены, при необходимости или предложить защитные мероприятия [7];
- по результатам моделирования, выполнить армирование стены [1];
- провести научно-исследовательскую работу.

1.3. ОБЪЁМ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект должен содержать:

а) пояснительную записку с обоснованием принятых решений, со всеми расчётами и расчётными схемами объёмом 25-30 стандартных страниц формата А4 (210×297 мм);

б) графическую часть, представленную на листе формата А1 (584×841 мм), с нормальной плотностью заполнения. При необходимости могут быть дополнительно использованы листы других форматов.

Примерное содержание пояснительной записки:

1. Задание на курсовой проект
2. Аннотация на русском и английском языке
3. Введение
4. Исходные данные
5. Описание объекта
6. Постановка задачи и описание этапов моделирования
7. Результаты моделирования
- 7.1. Определение параметров несущих и ограждающих конструкций
- 7.2. Анализ мульты оседаний
- 7.3. Оценка влияния строительства на существующее здание
8. Армирование «стены в грунте»
9. Научно-исследовательская работа (раздел обязательный для студентов, претендующих на высокую оценку).
10. Заключение
11. Список используемой литературы.

Научно-исследовательская работа студента. Объём и содержание данного раздела определяются по согласованию с преподавателем.

давателем и могут составлять от 20 до 100 % от общего объема курсового проекта.

В разделе НИРС по заданию могут разрабатываться следующие направления:

1. Анализ влияния жесткости стены в грунте на формирование мульды оседания.
2. Анализ влияния удаленности строящегося сооружения от существующего здания.
3. Анализ влияния гидротехнических параметров на формирование мульды оседания.
4. Анализ влияния строящегося сооружения на существующее здание с различными нагрузками (весом).
5. Анализ устойчивости существующего здания при изменении его жесткости.
6. Оценка возможности нагружения строящегося сооружения зданием различной этажности при обеспечении устойчивости существующего здания.
7. Сопоставление поэтапного и единовременного моделирования стены в грунте.

На чертеже размещают следующую информацию (предложенные масштабы носят рекомендательный характер):

1. План строительной площадки/взаимное расположение объектов (М 1:200).
2. План и схема поперечного сечения объектов (М 1:100 или 1:200).
3. Схемы армирования конструкций (М 1:50 или 1:20)
4. Два узла (М 1:10 или М 1:20)
5. Результаты расчетов: эпюра моментов в стене, мульда оседания и т.п.
6. Спецификация материалов на возведение сооружения.
7. Примечания и прочая необходимая для строительства информация.

1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Студент обязан выполнить курсовой проект и защитить его в сроки, предусмотренные планом-графиком на учебный год.

Защита курсового проекта разрешается только после детальной разработки его во всех частях согласно заданию и с визой о допуске к защите.

Защита состоит из краткого доклада студента по выполненному проекту и его ответов на вопросы. Студент должен на защите дать все необходимые объяснения по существу проекта.

Оценка курсового проекта производится с учётом качества содержания, оформления проекта и качества защиты.

Таблица 1.1. Критерии оценок для проведения защиты курсового проекта

Оценка			
«2» (неудовл.)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Студент не выполнил курсовой проект в соответствии с заданием. Не владеет теоретическими знаниями по изучаемой дисциплине. Необходимые практические компетенции не сформированы	Студент выполнил курсовой проект с существенными ошибками. При защите курсового проекта демонстрирует слабую теоретическую подготовку. При решении задач, предусмотренных программой учебной дисциплины, допускает неточности, существенные ошибки	Студент выполнил курсовой проект с некоторыми незначительными ошибками и неточностями. При защите курсового проекта демонстрирует хорошую теоретическую подготовку. Хорошо справляется с решением задач, предусмотренных программой учебной дисциплины	Студент выполнил курсовой проект полностью в соответствии с заданием. При защите курсового проекта демонстрирует высокую теоретическую подготовку. Успешно справляется с решением задач, предусмотренных программой учебной дисциплины

2. ГРУНТЫ

2.1. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Геологические разрезы строятся на листах формата А4 в масштабе 1:100 (вертикальный) и 1:200 или 1:500 (горизонтальный) и приводятся в записке.

Поверхность природного рельефа (NL) строится по устьям скважин. Абсолютные отметки устья скважин определяются методом интерполяции отметок горизонталей, указанных на плане строительной площадки (приложение 3). Мощности слоев откладываются по осям скважин, при этом мощность последнего слоя не ограничивается. Уровень грунтовых вод (WL) предполагается горизонтальным (откладывается от отметки устья скважины №1). При планировке площадки следует стремиться к нулевому балансу объемов подсыпки и срезки грунта и созданию уклона поверхности планировки (DL) 0,01 или 0,02. Пример построения геологического разреза приведен на рисунке 2.1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Почвенно-растительный слой (рис. 2.1.) срезается, а отметки рельефа выравниваются насыпным грунтом. Насыпной грунт, песок и суглинок моделируются с применением модели упрочняющегося грунта (hardening soil) с недренированным типом поведения (undrained A), глина моделируется с применением модели слабого грунта (soft soil) с дренированным типом (drained) поведения.

Основные физико-механические характеристики, прочностные, деформационные и др. характеристики приведены в таблица 2.1.

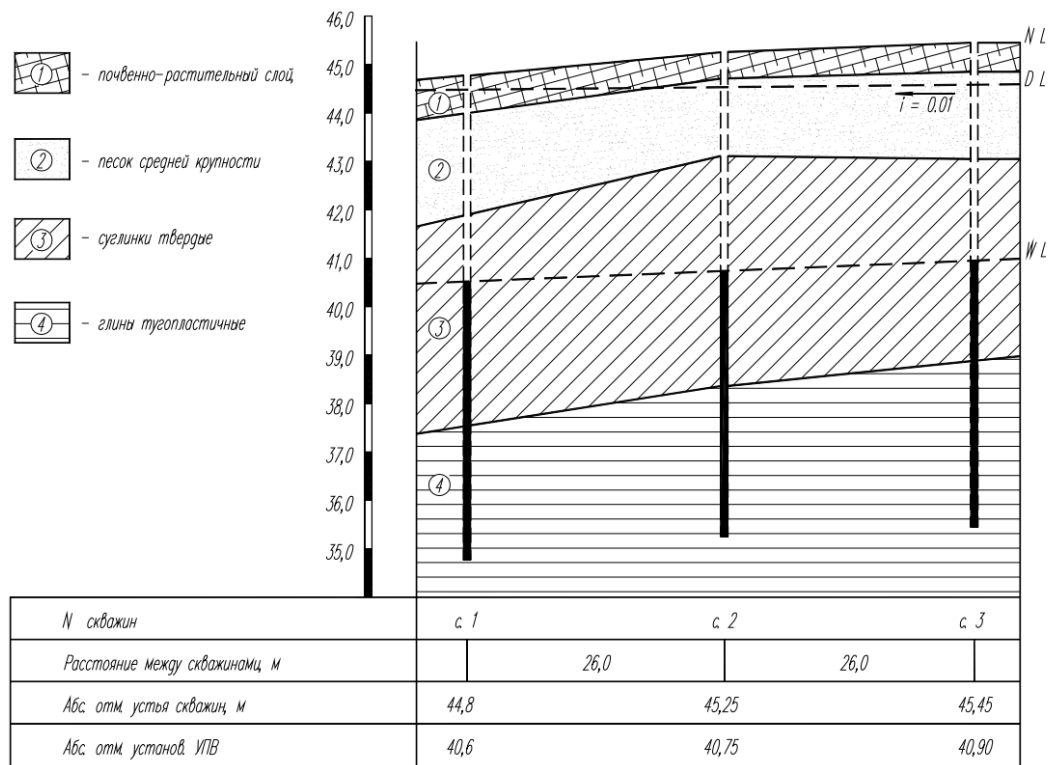


Рис. 2.1. Инженерно-геологический разрез по скважинам 1–2–3

Таблица 2.1.

Физико-механические свойства грунтов

Параметр	Обозначение	Насыпной грунт	Песок	Суглинок	Глина	Ед. изм.
Общие свойства		1	2	3	4	
Модель грунта	<i>Model</i>	HS	HS	HS	SS	
Тип поведения материала	<i>Type</i>	Undr. (A)	Undr. (A)	Undr. (A)	Drained	
Удельный вес грунта выше уровня грунтовых вод	γ_{unsat}	16	17	17	18	кН/м ³
Удельный вес грунта ниже уровня грунтовых вод	γ_{sat}	19	20	20	22	кН/м ³
Начальный коэффициент пустотности	e_{init}	0,5	0,5	0,8	1,0	
Параметры						
Секущий модуль деформации при стандартном дренированном трехосном испытании грунта	E_{50}^{ref}	2,4·10 ⁴	3,5·10 ⁴	1,2·10 ⁴	2,0·10 ³	кН/м ²
Касательный одометрический модуль при первичном нагружении	E_{oed}^{ref}	2,4·10 ⁴	3,5·10 ⁴	0,8·10 ⁴	2,0·10 ³	кН/м ²
Модуль упругости при разгрузке / повторном нагружении	E_{ur}^{ref}	7,2·10 ⁴	10,5·10 ⁴	3,6·10 ⁴	6,0·10 ³	кН/м ²
Показатель степени для зависимости жесткости от уровня напряжений	m	0,5	0,5	0,8	1	
Сцепление	C_{ref}'	2	0	2	5	кН/м ²
Коэффициент трения	φ	33	34	25	25	
Угол дилатансии	ψ	0	3	0	0	
Коэффициент Пуассона	ν_{ur}'	0,2	0,2	0,2	0,2	
K_0 - значение для нормальной консо-	K^{nc}	0,4554	0,4408	0,5152	0,5774	

Параметр	Обозначение	Насыпной грунт	Песок	Суглинок	Глина	Ед. изм.
лидации						
Параметры фильтрации						
Набор данных	-	USDA	USDA	USDA	USDA	-
Модель	-	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	-
Soil type	-	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	-
<2 мкм	-	6	4	20	70	%
2-50 мкм	-	10	4	40	13	%
50 мкм- 2 мм	-	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	%
Use defaults	-	none	none	none	none	-
Горизонтальная проницаемость (x-направление)	$k_x=k_y=k_z$	0.1	7.128	0.2497	0,05	м/день
Изменение проницаемости	c_k	$1,0 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	1	0,2	
Интерфейсы						
Прочность интерфейса	Automatic	Rigid	Manual	Rigid	Manual	-
Коэффициент понижения прочности в интерфейсе	R_{inter}	1.0	0.70	1.0	0.5	
Начальные условия						
Метод задания K_0	—	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	-
Коэффициент переуплотнения	OCR	1.0	1.0	1.0	1.5	-
Коэффициент давления покрывающих слоев	POP	5	5	5	0	кН/м ²
Модифицированный индекс сжатия	λ^*				0,15	кН/м ²
Модифицированный индекс набухания	k^*				0,04	

2.2. МОДЕЛИ ГРУНТОВ

Модель упрочняющегося грунта

Модель упрочняющегося грунта (*hardening soil*) представляет собой упругопластическую модель с упрочнением грунта, поверхность текучести которой не зафиксирована в системе главных напряжений и может расширяться благодаря пластическому деформированию.

Различают два типа упрочнения: упрочнение при сдвиге и упрочнение при сжатии. Упрочнение при сдвиге применяется для моделирования необратимых деформаций, появляющихся при первичном девиаторном нагружении; упрочнение при сжатии – для моделирования необратимых пластических деформаций, обусловленных первичным уплотнением при одометрическом и изотропном нагружении.

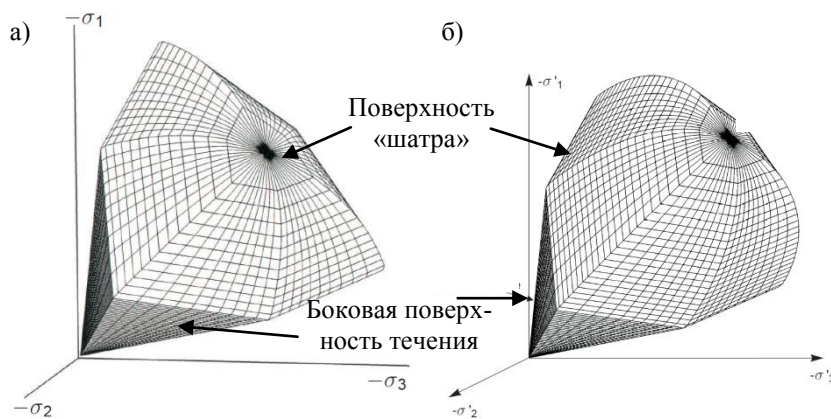


Рис. 2.2. Общие контуры поверхностей пластического течения в пространстве главных напряжений для несвязного грунта, представленного моделью упрочняющегося грунта (а) и моделью слабого грунта (б)

Модель упрочняющегося грунта предназначена для моделирования поведения как слабых, так и прочных грунтов. Эта модель относится к категории шатровых моделей, где боковая поверхность текучести описывает формирование предельного состояния при девиаторном нагружении (используется критерий Кулона-Мора с уче-

том корректировки на упрочнение грунта при сдвиговом деформировании), а «шатровая» полусферическая поверхность закрывает область упругих деформаций для сжимающих напряжений (рис. 2.2, а).

Одной из особенностей модели упрочняющегося грунта является зависимость жесткости грунта от напряжений, задаваемая степенной функцией фактического касательного (одеметрического) модуля от соотношения фактических действующих в грунте напряжений по отношению к эталонному давлению.

Модель слабого грунта

Модель слабого грунта (soft soil) представляет собой упругопластическую модель поведения грунтов, для которых характерна высокая сжимаемость. В первую очередь это глины, глинистые илы, торф в состоянии уплотнения. Для этой модели характерна зависимость жесткости от напряжений согласно логарифмическому закону, различие между первичным нагружением и режимом разгрузки и повторным нагружением, наличие памяти о напряжениях предварительного уплотнения (т.е. учет преднагрузки в истории нагружения).

Модель слабого грунта относится к моделям «шатрового» типа (см. рис. 2.2, б). В этой модели боковая поверхность пластического течения описывается в рамках критерия Кулона-Мора, а «шатровая» полуэллипсоидная поверхность закрывает область упругих деформаций.

Грунты в зависимости от их свойств, гранулометрического состава и режима нагружения могут иметь дренированное и недренированное поведение в зависимости от отжатия грунтовой воды из пор при сжатии грунта. В случае свободного отжатия воды из пор грунта при его сжатии формирования избыточного порового давления не происходит и говорят о дренированном поведении. При недренированном поведении отжатие воды из пор невозможно или затруднено, в этом случае вода препятствует сжатию грунта, что вызывает формирование избыточного порового давления. Избыточное поровое давление увеличивает величину полных напряжений в грунте, но вместе с тем одновременно практически не влияет на сдвиговую прочность.

3. СТЕНА В ГРУНТЕ

3.1. ТЕХНОЛОГИЯ «TOP-DOWN»

В средней части плиты перекрытий опираются на опоры, представленные, буровыми сваями, изначально выполненными с поверхности. При пролетах более 20 м распорками служат плиты перекрытий, в дальнейшем являющиеся постоянными конструкциями здания. В распорках-перекрытиях устраиваются отверстия для выдачи на поверхность грунта, разработанного на первом этапе. После разработки первого яруса по грунту выполняется второе перекрытие и процесс разработки грунта вниз повторяется.

Такая технология устройства подземных сооружений носит название «сверху вниз» (Top-Down). Наиболее эффективно ее сочетание с технологией «стена в грунте».

3.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ «СТЕНЫ В ГРУНТЕ»

Для монолитных стен применяют тяжелый бетон класса не ниже В15, для сборных конструкций – не ниже В22,5. В водонасыщенных грунтах используется бетон марки по водонепроницаемости не ниже W2, по морозостойкости – не ниже F50. Для повышения плотности бетона, повышения пластичности бетонной смеси рекомендуется применять поверхностно-активные пластифицирующие добавки. Толщина защитного слоя бетона принимается не менее 50 мм.

Как правило, глубина котлованов для подземных помещений ограничивается 30...35 м, а сами стены заглубляются в водоупорный грунт. Величина заглубления принимается в скальных грунтах 0,5...1,0 м, в мергеле и плотной глине – 0,75...1,5 м, в пластичных суглинках и глинах – 1,5...2,0 м.

Применяемые для устройства «стены в грунте» современные агрегаты, снабженные плоскими грейферными ковшами или фрезами, способны производить отрывку траншей шириной от 0,4 до 1 м и более. Ковши применяются при разработке слабых грунтов, фрезы – более прочных, в том числе с твердыми включениями. Глубина отрывки может достигать 30–50 м, однако известны случаи устройства стен глубиной более 100 м. Отрывка производится захватками длиной до 6 м (а в отдельных случаях и более) с установкой специ-

альных вертикальных ограничителей. Методом «стена в грунте» можно выполнить конструкции практически любого очертания в плане.

3.3. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА «СТЕНЫ В ГРУНТЕ»

Для удержания стен траншеи от обрушения до начала отрывки на поверхности возводится железобетонная крепь, называемая форшахтой, которая также является направляющей для ковшовых рабочих органов. Устойчивость стен траншеи в грунте в процессе углубления обеспечивается статическим давлением глинистого раствора, уровень которого всегда должен быть выше уровня грунтовых вод.

После отрывки участка траншеи на требуемую глубину, если стена предполагается монолитной, в траншею опускается арматурный каркас и методом ВПТ производится бетонирование. Поступающая бетонная смесь вытесняет глинистый раствор, который дополнительно отсасывается насосом и поступает на регенерацию. Концевые ограничители после схватывания бетона приподнимаются, а спустя несколько часов извлекаются на поверхность. Последовательность отрывки и бетонирования монолитной стены в грунте показана на рис. 3.1.

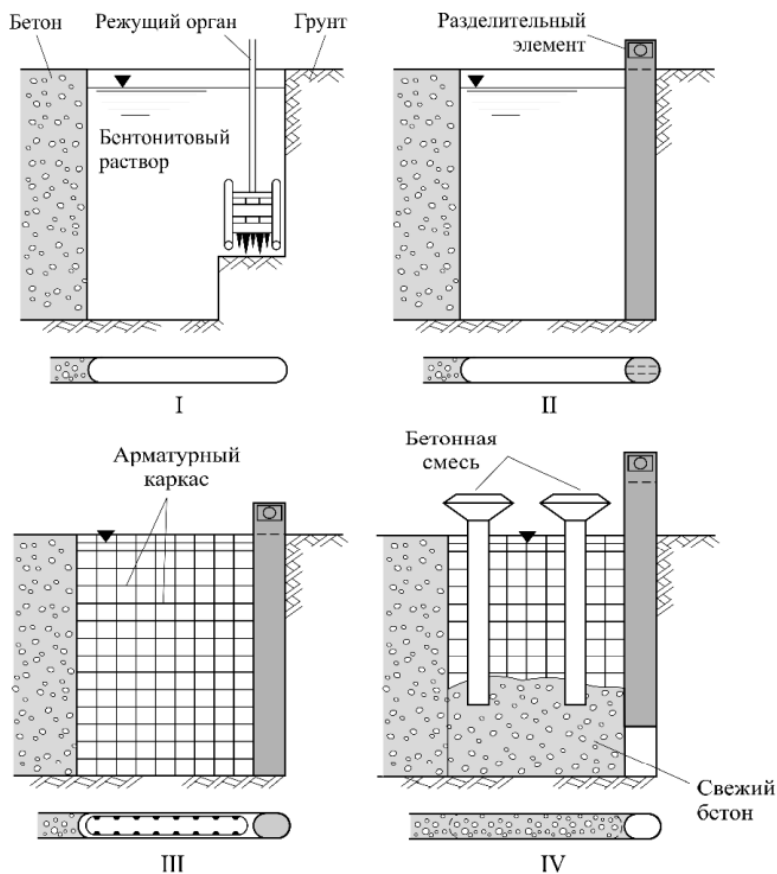


Рис. 3.1. Последовательность устройства монолитной стены в грунте

Бетонирование монолитных стен может выполняться смесью литой консистенции. При необходимости экономии цемента могут использоваться более жесткие смеси, однако в этом случае необходима укладка бетона с помощью вибрирования.

Расчетное обеспечение устройства «стены в грунте» на стадии строительства включает в себя расчеты устойчивости траншей при заданной плотности глинистого раствора. Эта плотность, находящаяся в интервале $1,05-1,3 \text{ г/см}^3$, может быть принята исходя из опыта строительства, а также получена расчетом. В первом прибли-

жении плотность глинистого раствора может быть установлена по выражению

$$\gamma_{г.р.} = \frac{2F}{bH_{г.р.}^2},$$

где F – суммарная горизонтальная сила давления грунта и грунтовых вод, действующая на захватку; b – длина захватки; $H_{г.р.}$ – высота уровня глинистого раствора над дном траншеи.

В случае устройства стены в грунте вблизи существующих зданий и сооружений устойчивость глубокой траншеи приближенно может считаться обеспеченной при выполнении соотношения

$$a \geq 0,5b_3,$$

где a – расстояние от существующего здания или сооружения до траншеи, b_3 – длина захватки.

Плотность глинистого раствора при приготовлении его из бентонитовых глин принимается $1,05 \dots 1,15 \text{ г/см}^3$, а при использовании глин других видов – $1,10 \dots 1,30 \text{ г/см}^3$.

Если устойчивость траншеи гарантируется только при плотности глинистого раствора более $1,3 \text{ г/см}^3$, а требуемые длины захваток получаются малыми, устройство траншейных стен может оказаться неосуществимым и стену в грунте выполняют из секущихся свай. При этом следует считаться с тем, что производительность устройства таких стен является в несколько раз меньшей, чем при устройстве траншейных стен.

3.4. АРМИРОВАНИЕ СТЕНЫ В ГРУНТЕ

Подбор арматуры для стены в грунте осуществляют по максимальным величинам изгибающего момента и усилия, полученного при моделировании. Можно воспользоваться следующими формулами:

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2},$$

где M – максимальный изгибающий момент; R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельного состояния первой группы; b – ширина сжатой зоны (принимается равной 1 м); h_0 – высота сжатой зоны.

Если выполняется условие $\alpha_m < \alpha_R$, сжатая арматура по расчету не требуется. Величина α_R зависит от класса арматуры (таблица 3.1.).

Таблица 3.1.

Параметры для расчета армирования

Класс арматуры	A240	A300	A400	A500	B500
Значение ξ_R	0,612	0,577	0,531	0,493	0,502
Значение α_R	0,425	0,411	0,390	0,372	0,376

При отсутствии сжатой арматуры площадь сечения растянутой определяется по формуле:

$$A_s = R_b b h_0 (1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}) / R_s,$$

где R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельного состояния первой группы.

Если $\alpha_m > \alpha_R$, требуется увеличить сечение или повысить класс бетона, или установить сжатую арматуру.

Проверка стены на внецентренное сжатие выполняется по условию $\alpha_n < \xi_R$.

$$\alpha_n = \frac{N}{R_b b h_0}.$$

Требования к армированию изложены в СП [1].

В приложении 5 приведены прочностные характеристики бетона и арматуры, а в приложении 6 расчетные площади поперечных сечений арматуры.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ

Моделирование стены в грунте необходимо выполнять поэтапно для учета технологической осадки, реализующейся при:

- разработке траншеи под глинистым раствором;
- заполнении траншеи литым бетоном с вытеснением глинистого раствора;
- схватывания бетона на готовом участке стены в грунте.

Моделирование глинистого раствора и литого бетона выполняется путем назначения соответствующего давления на стенки захватки траншеи, возрастающего с глубиной по гидростатическому закону. Затвердевший бетон моделируется линейно-упругим материалом.

Моделируемая стена в грунте, разрабатывается отдельными захватками. Одновременно разрабатываются захватки с расстоянием в свету 4 м.

4.1. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

На одном из этапов расчета необходимо смоделировать процесс рассеивания избыточного порового давления вследствие консолидации с течением времени. Для этого тип решателя необходимо установить на Consolidation, а тип входной нагрузки (Loading input) поменять со Staged construction на Minimum excess pore pressure. Таким образом, программа автоматически определит промежуток времени, необходимый для рассеивания величин избыточного порового давления в грунтах с недренированным поведением до минимально возможной величины. Подробно процесс моделирования рассеивания избыточного порового давления изложен в [9].

4.2. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЯ

Программа Plaxis позволяет автоматически рассчитать величину коэффициента запаса устойчивости, выполняя в процессе расчета прочностные показатели грунтов вплоть до формирования потери устойчивости. Тогда коэффициент запаса, получаемый при последовательном редуцировании прочности можно записать как:

$$\Sigma M_{sf} = \frac{tg \varphi}{tg \varphi_r} = \frac{c}{c_r}.$$

Для оценки устойчивости откосов следует расчетную величину коэффициента запаса устойчивости сравнивать с нормативной, которая для породных откосов принимается в диапазоне 1,25-1,50 в зависимости от надежности результатов инженерно-геологических изысканий.

Оценка устойчивости зданий и сооружений на поверхности при их попадании в зону подработки выполняется в соответствии с СП [6] сравнением прогнозных величин максимальных вертикальных оседаний земной поверхности под зданием и прогнозной величины относительной разности осадок с их максимально допустимыми величинами, определенными в СП. Следует отметить, что здесь при оценке устойчивости должны использоваться только дополнительные оседания, вызванные разработкой котлована. Относительная разность осадок определяется по формуле:

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{L},$$

где S_{\max} и S_{\min} – соответственно максимальное и минимальное вертикальное оседание земной поверхности под зданием; L – расстояние между точками максимального и минимального оседания земной поверхности.

Необходимо определить максимальное вертикальное оседание, минимальное вертикальное оседание и расстояние между точками минимального и максимального вертикального оседания под ростверком здания. По этим данным необходимо выполнить оценку устойчивости здания.

5. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из графической части и пояснительной записки. Графическая часть выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ на листе формата А1 (810×597 мм). Для пояснительной записки используется формат А4 (210×297 мм), формат набора 165×257 мм (верхнее и нижнее поля 20 мм; левое 30 мм; правое 15 мм).

Основной текст: шрифт Times New Roman, 12 кегль, обычный, полуторный междустрочный интервал; абзацный отступ 1,25 см; запрет висячих строк; автоматический перенос слов; автоматическое выравнивание по ширине. При наборе текста клавиша «Enter» используется только в конце абзаца.

Сокращенные слова, знаки процента, номера, параграфа и др. не должны «отрываться» на другую строку от цифр, чисел и слов, к которым они относятся (10 кг, 5 мм, 1990 г., 50% и т. д.). Не должны разделяться инициалы от фамилии, а также сокращения типа: «и т. д.», «и др.». Инициалы от фамилии, наименования от единиц отбиваются жестким пробелом: Ctrl+Shift+пробел.

Заголовки; шрифт Times New Roman, 12 кегль, полужирный, по центру, без переносов. При наличии трех и более заголовков они задаются по такому же принципу, но кеглем 11, 10. Над заголовком должно быть не менее 4 строк основного текста. Под заголовком – не менее 3 строк основного текста. Отбивка заголовка: сверху – 24 пункта, снизу – 18 пунктов.

Нижний колонтитул: шрифт Times New Roman, 11 кегль, обычный, по центру.

Таблицы: шрифт Times New Roman, 11 кегль, обычный; в таблицах, не размещающихся на одной странице, необходимо повторять «головку» таблицы. Каждый блок информации необходимо вводить с новой строки.

Формулы: шрифт - Times New Roman, 12 кегль, обычный, крупный индекс 8 кегль, мелкий индекс 7 кегль, крупный символ 20 кегль мелкий символ 12 кегль; расположение по центру; сверху и снизу – отбивки по 6 пунктов. Латинские буквы набираются курсивом, обычным; функции, русские, греческие буквы, цифры и хими-

ческие символы – прямым, обычным. Это правило распространяется и на набор индексов в символах.

Легенда к формуле – это расшифровка символов, входящих в формулу. После формулы ставится запятая, затем с левого края новой строки (без абзацного отступа) слово "где" (без двоеточия после него), далее обозначение символа, его расшифровка и после запятой обозначение размерности параметра; после точки с запятой разъясняется следующий символ.

Иллюстрации размещаются в непосредственной близости от ссылки на них. Размер иллюстраций должен соответствовать формату набора. Подрисуночные подписи: шрифт Times New Roman, кегль 10, обычный, отступ от рисунка 6-8 пунктов, межстрочный интервал 1,0.

Отбивки сверху рисунка и снизу подписи 1-1,5 строки.

Библиографический список составляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100. Стиль списка: Times New Roman, 10 кегль, обычный.

В пояснительной записке приводятся обоснование решений, рисунки, поясняющие текст. Пояснительная записка начинается титульным листом, далее размещается задание на выполнение курсового проекта. Текст излагается кратким и логичным стилем с использованием общепринятых специальных терминов. В тексте обязательны ссылки на используемые литературные источники, перечень которых помещается в конце пояснительной записки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мангушев Р. А. и др. Основания и фундаменты: Учебник для бакалавров строительства / Р.А. Мангушев, В.Д. Карлов, И.И. Сахаров, А.И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГА-СУ, 2011. – 394 с.
2. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства / ЦНИИ-Промзданий Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1984.
3. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
4. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
5. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений
6. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83.
7. СП 361.1325800.2017 Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов.
8. СП 21.13330.2012 Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.
9. СТО 36554501-017-2009 Проектирование и устройство монолитной конструкции, возводимой способом «стена в грунте».
10. Plaxis 3D. Руководство пользователя. R.W.J. Brinkgerve [и др.]. Нидерланды, 2020.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Схема А

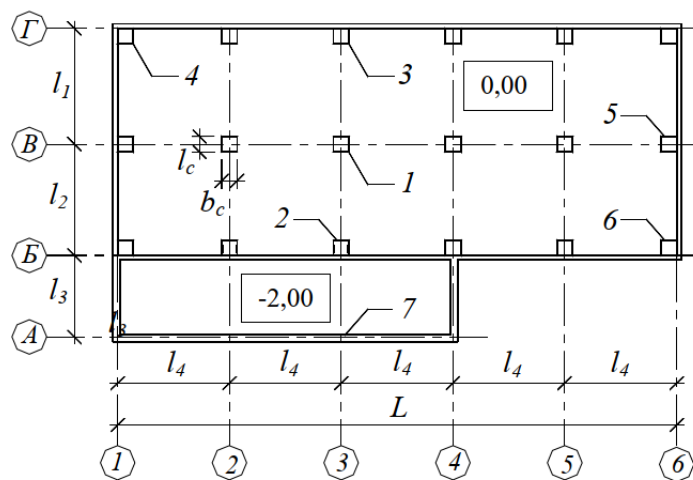


Схема Б

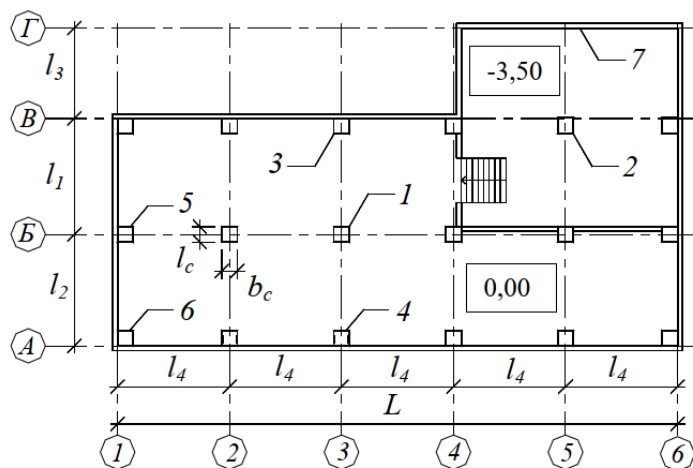


Схема В

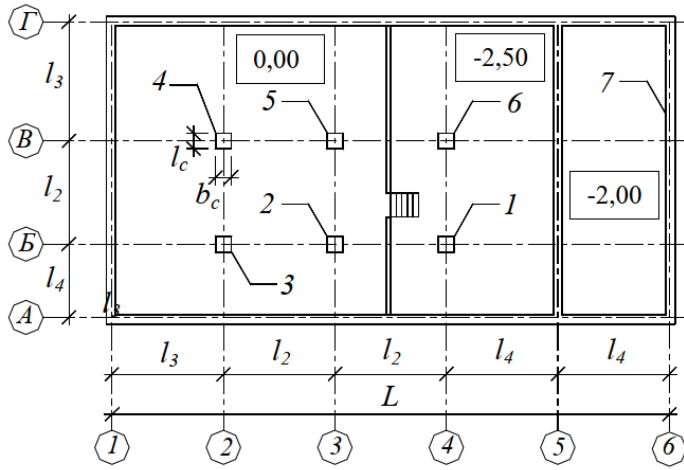
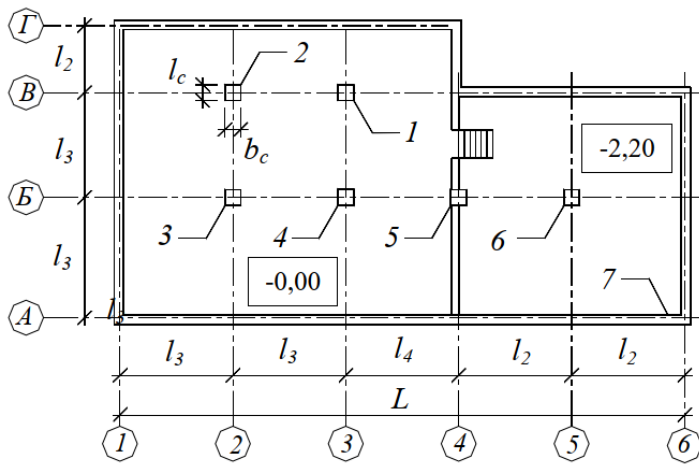


Схема Г



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

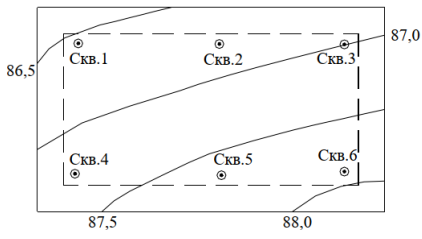
Вариант	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	L , м	l_c , м	b_c , м
Для схем А и Б							
1	15	9	6	6	42	0,6	0,4
2	18	15	6	12	48	0,8	0,6
3	21	12	6	6	36	0,6	0,4
4	24	9	6	12	48	0,8	0,4
5	12	12	6	6	36	0,6	0,4
6	15	15	6	6	30	0,8	0,6
7	18	9	6	6	42	0,6	0,4
8	21	12	6	12	48	0,8	0,4
9	24	15	6	6	30	0,6	0,4
10	12	9	6	12	48	0,8	0,6
Для схем В и Г							
1	–	12	6	9	–	0,3	0,3
2	–	6	4,8	12	–	0,35	0,35
3	–	9	4,2	6	–	0,4	0,4
4	–	9	6	9	–	0,5	0,5
5	–	12	4,8	6	–	0,4	0,3
6	–	9	3,6	12	–	0,5	0,4
7	–	12	6	6	–	0,5	0,3
8	–	9	4,8	12	–	0,4	0,4
9	–	12	5,1	9	–	0,5	0,5
10	–	9	4,2	6	–	0,4	0,4

Примечание обозначения размеров смотреть на схемах (приложение 1). Для схем № 1, № 2 и № 3 количество поперечных рам определяется в зависимости от общей длины здания L и шага колонн l_4

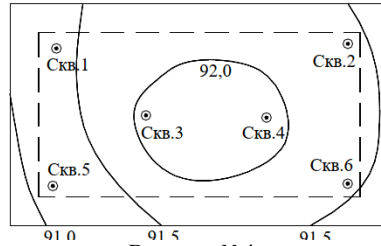
ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Планы строительных площадок

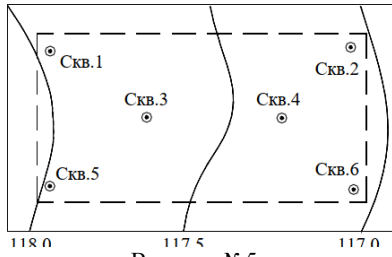
Вариант №1



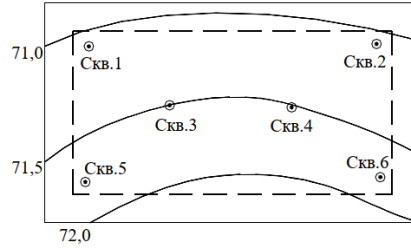
Вариант №2



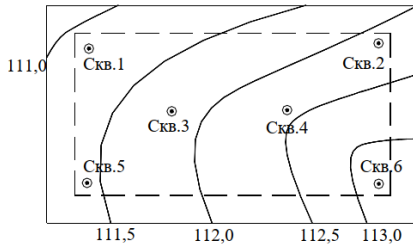
Вариант №3



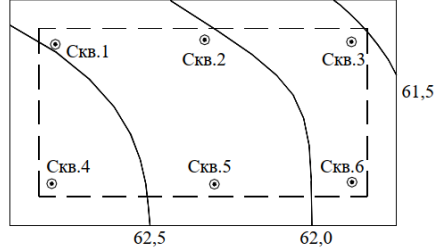
Вариант №4



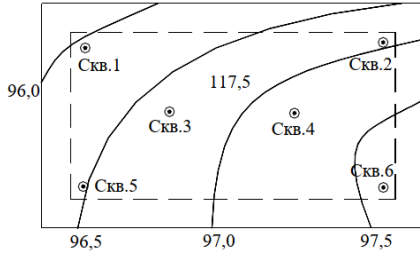
Вариант №5



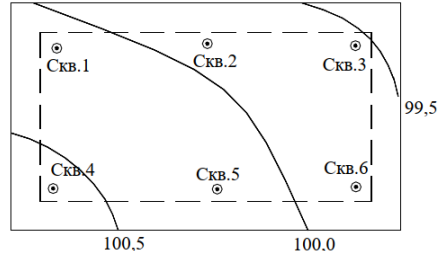
Вариант №6



Вариант №7



Вариант №8



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица П.4.1.

Мощности слоев по скважинам

№ варианта	№ слоя	Мощность слоев по скважинам						Глубина УГВ, м
		1	2	3	4	5	6	
1	1	0,8	0,9	1,0	1,2	1,0	0,9	4,0
	2	2,5	3,6	3,8	3,9	3,7	3,0	
	3	5,0	5,6	5,8	5,0	4,8	4,5	
2	1	0,9	1,2	1,5	1,3	1,0	0,7	3,0
	2	1,5	2,0	2,5	2,2	1,8	1,2	
	3	7,0	6,5	6,0	6,2	6,8	7,2	
3	1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	3,5
	2	2,0	2,7	3,0	3,2	2,5	1,5	
	3	4,1	4,8	5,5	5,0	4,5	4,2	
4	1	0,5	0,8	1,1	1,0	1,0	0,7	4,5
	2	3,5	4,0	4,2	4,5	3,8	3,0	
	3	4,0	4,5	4,8	4,8	5,0	5,5	
5	1	0,2	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	5,0
	2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,0	3,8	
	3	2,1	2,5	3,3	3,0	3,0	2,8	
6	1	0,4	0,6	0,8	0,9	0,7	0,6	4,2
	2	5,0	5,0	5,5	5,6	5,4	5,2	
	3	3,5	3,1	2,8	2,5	3,0	3,8	
7	1	0,7	1,0	1,2	1,1	1,0	0,8	3,8
	2	1,4	2,0	2,2	2,5	2,4	1,8	
	3	6,0	5,8	5,2	5,0	5,5	6,1	
8	1	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,6	4,8
	2	2,5	3,0	3,5	3,8	3,5	3,0	
	3	5,2	5,8	6,0	6,2	5,9	5,8	
9	1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	3,5
	2	1,8	2,2	2,5	2,6	2,4	2,0	
	3	4,1	4,6	5,0	4,8	4,4	4,1	
10	1	0,5	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	4,0
	2	3,2	3,4	3,8	3,5	3,4	3,2	
	3	4,3	4,5	5,0	5,1	4,8	4,5	

Примечание: мощность четвертого слоя не ограничена.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица П.5.1.

Прочностные характеристики бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	Модуль упругости E_b , МПа	Сопротивление сжатию R_b при значении γ_{b2} , МПа			Сопротивление растяжению R_{bt} при значении γ_{b2} , МПа		
		0,85	1,0	1,1	0,85	1,0	1,1
В 10	18000	4,960	5,85	6,435	0,48	0,57	0,63
В 12,5	21000	6,205	7,30	8,030	0,56	0,66	0,73
В 15	23000	7,395	8,70	9,570	0,64	0,75	0,82
В 20	27000	9,775	11,50	12,65	0,76	0,90	0,99
В 25	30000	12,325	14,50	13,95	0,89	1,05	1,15
В 30	32500	14,45	17,00	18,70	1,02	1,20	1,32
В 35	34500	17,00	20,00	22,00	1,1	1,30	1,43
В 40	36000	19,125	22,50	24,75	1,2	1,40	1,54

Таблица П.5.2.

Расчетное сопротивление арматуры, МПа

Класс арматуры	Модуль упругости E_s , МПа	Диаметр, мм	Арматура		
			растянутая		сжатая
			нагруженная продольной; поперечной силами (при расчете на изгиб в наклонном сечении) R_s	нагруженная поперечной силой (при расчете на поперечную силу Q) R_{sw}	R_{sc}
А-I	210000	6 ... 22	225	175	225
А-II	210000	10 ... 40	280	225	280
А-III	200000	6 ... 8	355	285 / 255*	355
		10 ... 40	365	290 / 255*	365
Вр-I	170000	3	375	270 / 300**	375
		4	365	265 / 296**	365
		5	360	260 / 270**	360

*В сварных каркасах для диаметра, меньшего чем 1/3 диаметра продольной арматуры, расчетное сопротивление R_{sw} понижается.

**При применении в вязаных каркасах расчетное сопротивление R_{sw} повышается.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П.6.1.

Расчетные площади поперечных сечений арматуры, см²

Диаметр, мм	Число стержней									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64	0,710
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	0,13	0,26
5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85	15,39
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,84	20,36	22,90	25,45
20	3,142	6,28	9,41	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,38	31,42
22	3,801	7,60	11,40	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,13	49,09
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,54
32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,08	71,26	81,44	91,62	101,8
40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,80	75,36	87,92	100,48	113,04	125,60

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Общие положения	4
1.1. Общие указания по выполнению курсового проекта	4
1.2. Задание на выполнение курсового проекта	4
1.3. Объём и содержание курсового проекта.....	6
1.4. Порядок выполнения и защиты курсового проекта.....	8
2. Грунты.....	9
2.1. Геологический разрез и физико-механические свойства грунтов.....	9
2.2. Модели грунтов	13
Модель упрочняющегося грунта.....	13
Модель слабого грунта.....	14
3. Стена в грунте.....	15
3.1. Технология «Top-Down»	15
3.2. Конструктивные особенности «стены в грунте».....	15
3.3. Технология строительства «стены в грунте»	16
3.4. Армирование стены в грунте	18
4. Рекомендации по моделированию	20
4.1. Гидротехнические условия.....	20
4.2. Оценка устойчивости здания	20
5. Правила оформления курсового проекта.....	22
Библиографический список.....	24
Приложение 1	25
Приложение 2	27
Приложение 3	28
Приложение 4	29
Приложение 5	30
Приложение 6	31

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ
И ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Методические указания по курсовому проектированию
для студентов магистратуры направления 08.04.01*

Сост.: *П.А.Деменков, О.М. Смирнова, А.В. Алексеев*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
строительства горных предприятий и подземных сооружений

Ответственный за выпуск *П.А.Деменков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 30.05.2022. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,9. Усл.кр.-отт. 1,9. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 50 экз. Заказ 331.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2