A technical drawing of a retaining wall cross-section. The wall is shown in grey with a black outline. It has a vertical stem with a top flange and a base that tapers outwards. The drawing includes hatching for the ground surface above and below the wall, and a horizontal line indicating the ground level on the left side.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Промышленное, гражданское строительство
и городское хозяйство»

Л.В. Ахмедьянова, Е.М. Третьякова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОДПОРНЫХ СТЕН

Электронное учебно-методическое пособие

ISBN 978-5-8259-1257-8

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2018

УДК 624.151.5(075.8)

ББК 38.58:38.2я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертный центр Кузнецова»

А.В. Кузнецов;

канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного
университета *В.А. Филиппов.*

Ахмедьянова, Л.В. Проектирование и расчет подпорных стен : электрон. учеб.-метод. пособие / Л.В. Ахмедьянова, Е.М. Третьякова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 1 оптический диск.

В учебно-методическом пособии даны указания по выполнению курсовой работы по дисциплинам «Городские инженерные сооружения», «Инженерные сооружения промышленных предприятий». Представлены необходимые теоретические и практические сведения для проектирования и расчета подпорных стен, приведены примеры оформления пояснительной записки и чертежей.

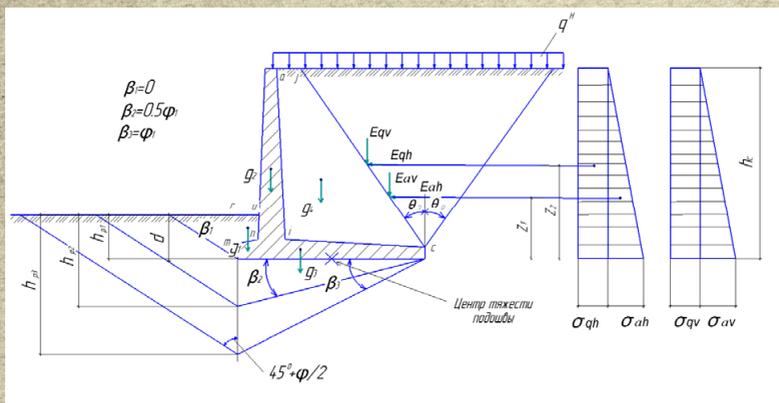
Предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство» (профили «Городское строительство и хозяйство», «Промышленное и гражданское строительство») всех форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
Тольяттинского государственного университета.

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

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2018



Редактор *О.В. Горбань*
 Технический редактор *Н.П. Крюкова*
 Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
 Художественное оформление,
 компьютерное проектирование: *И.В. Карасев, Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 16.03.2018.

Объем издания 12 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-12-17.

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

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДПОРНЫХ СТЕН	7
1.1. Типы подпорных стен	7
1.2. Конструктивные требования	10
2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	13
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	15
4. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	17
5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ	27
5.1. Исходные данные	27
5.2. Конструирование тонкостенной уголкового подпорной стены	27
5.3. Расчет устойчивости положения стены против сдвига	29
5.4. Расчет по деформациям	34
Контрольные вопросы	38
Библиографический список	39
Приложение А	40
Приложение Б	41
Приложение В	42
Приложение Г	43

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа на тему «Проектирование и расчет подпорных стен» выполняется в рамках изучения дисциплин «Городские инженерные сооружения» и «Инженерные сооружения промышленных предприятий». Согласно рекомендациям, изложенным в настоящем пособии, разрабатываются инженерные сооружения, предназначенные для стабилизации пологонаклонных или отвесных грунтовых профилей. Содержание работы – конструирование и расчет сборной железобетонной подпорной стены.

Курсовая работа выполняется в соответствии с действующим учебным планом по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

Цель работы – получение студентами знаний по основным конструктивным решениям специальных инженерных сооружений, а также изучение основ и особенностей проектирования и расчета конструкций подпорных стен.

Задачи:

– расширение комплекса основополагающих знаний в области проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений в современных городах с учетом экономических, технологических и архитектурных требований при соблюдении условий сохранения окружающей среды и дальнейшего развития городского хозяйства;

– развитие профессиональных навыков и творческого подхода к решению комплексной инженерной задачи по выбору конструктивной схемы элементов подпорных стен, отвечающих конкретному технологическому заданию, с лучшими технико-экономическими показателями в соответствии с нормативной и технической документацией;

– ознакомление студентов с алгоритмом расчета подпорных стен.

Учебно-методическое пособие направлено на формирование у студентов, обучающихся по строительным направлениям, таких компетенций, как:

– владение основными законами геометрического формирования, построения и взаимного пересечения моделей плоскости и пространства, необходимыми для выполнения и чтения чертежей зданий, сооружений, конструкций, составления конструкторской документации (ОПК-3);

– знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест (ПК-1);

– способность участвовать в проектировании и изыскании объектов профессиональной деятельности (ПК-4).

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДПОРНЫХ СТЕН

1.1. Типы подпорных стен

Подпорные стены являются одним из важных и широко распространенных видов инженерных сооружений промышленных предприятий и городской застройки.

Подпорная стена (также называют подпорная стенка, опорная стенка) — это удерживающее сооружение, предназначенное для поддержания грунта (земли) на участке со сложным рельефом. Подпорные стены применяются для удержания от обрушения грунтов на откосах и склонах; они широко используются при устройстве подземных переходов, в автодорожном строительстве, в качестве берегоукрепительных сооружений.

Различают такие виды стен, как стены на свайном основании, шпунтовые стены, уголкового (тонкостенные) стены, массивные подпорные стены.

Подпорные стены на свайном основании в отличие от стен на естественном основании возводятся на сваях. Применяются они главным образом при недостаточных прочностных характеристиках грунтов под подошвой подпорной стены. Нагрузки передаются сваями на глубокие, более прочные слои грунта. Существуют разные варианты устройства свайного основания, отличающиеся видом применяемых свай, их взаимным расположением и технологиями возведения. Также возможны различные варианты конструкции, воспринимающей горизонтальное давление грунта: массивная стена, уголковая в форме плоской плиты или оболочки, жестко связанной со свайным ростверком.

Шпунтовые ограждения представляют собой временные ограждения котлованов, которые состоят из забитых в грунт стальных или деревянных шпунтовых свай. Ограждения из шпунта изготавливаются под любые виды сооружений при устройстве фундаментов в случаях, когда невозможно произвести разработку котлованов в откосах. Такие ограждения помогают спасти от обрушения грунт при сооружении различного рода конструкций.

В массивных подпорных стенах их устойчивость на сдвиг и опрокидывание при воздействии горизонтального давления грунта обеспечивается в основном собственным весом стены, поэтому их называют гравитационными. В тонкостенных подпорных стенах их устойчивость обеспечивается собственным весом стены и весом грунта, вовлекаемого конструкцией стены в работу.

Как правило, массивные подпорные стены более материалоемкие и более трудоемкие при возведении, чем тонкостенные, и могут применяться при соответствующем технико-экономическом обосновании (например, при возведении их из местных материалов, отсутствии сборного железобетона).

Массивные подпорные стены отличаются друг от друга формой поперечного профиля и материалом (бетон, бутобетон и т. д.) (рис. 1).

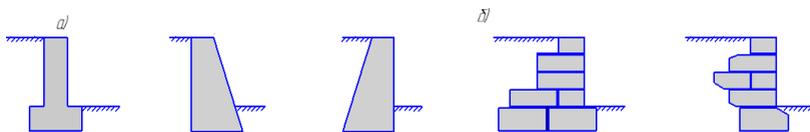


Рис. 1. Массивные подпорные стены: *а* – монолитные; *б* – блочные

В промышленном и гражданском строительстве, как правило, находят применение тонкостенные подпорные стены углового типа, представленные на рис. 1.2.

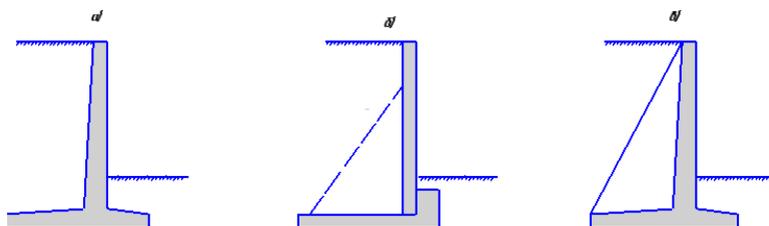


Рис. 2. Тонкостенные подпорные стены: *а* – угловые консольные; *б* – угловые анкерные; *в* – контрфорсные

По способу изготовления тонкостенные подпорные стены могут быть монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Тонкостенные консольные стены углового типа состоят из лицевых и фундаментных плит, жестко сопряженных между собой. В полносборных конструкциях лицевые и фундаментные плиты выполняются из готовых элементов. В сборно-монолитных конструкциях лицевая плита сборная, а фундаментная – монолитная. В монолитных подпорных стенах жесткость узлового сопряжения лицевых и фундаментных плит обеспечивается соответствующим расположением арматуры, а жесткость соединения в сборных подпорных стенах – устройством щелевого паза (рис. 3, *а*) или петлевого стыка (рис. 3, *б*).

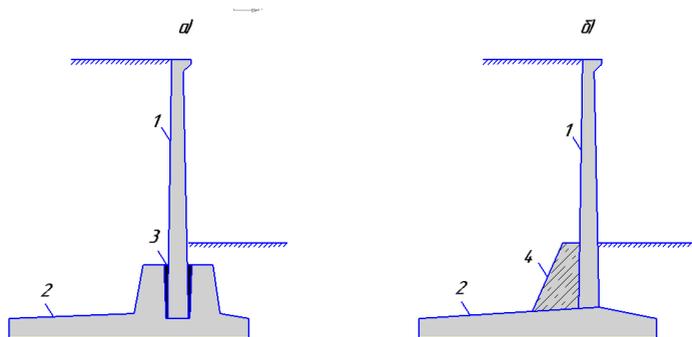


Рис. 3. Сопряжение сборных лицевых и фундаментных плит:
а – с помощью щелевого паза; *б* – с помощью петлевого стыка;
 1 – лицевая плита; 2 – фундаментная плита; 3 – цементно-песчаный раствор; 4 – бетон замоноличивания

Тонкостенные подпорные стены с анкерными тягами состоят из лицевых и фундаментных плит, соединенных анкерными тягами (связями), которые создают в плитах дополнительные опоры, облегчающие их работу (рис. 2, *б*). Сопряжение лицевых и фундаментных плит может быть шарнирным или жестким.

Контрфорсные подпорные стены состоят из ограждающей лицевой плиты, контрфорса и фундаментной плиты. При этом грунтовая нагрузка от лицевой плиты частично или полностью передается на контрфорс (рис. 2, *в*).

Для повышения устойчивости стены против опрокидывания в ее конструкции со стороны засыпки предусматривают консоль-

ный выступ (разгрузочную консоль), для повышения устойчивости против скольжения устраивают также шпору в подошве стены или этой подошве придают уклон, при котором ее скольжению по грунту сопротивляется сила веса стены.

1.2. Конструктивные требования

Габариты подпорных стен определяются одним параметром – высотой подпора грунта, т. е. разностью перепада верхних и нижних планировочных отметок. Основные размеры подпорных стен (общую высоту, ширину подошвы) следует назначать, как правило, кратными 300 мм. Размеры толщины элементов стены и подошвы назначаются кратными 20 мм.

Глубину заложения подошвы подпорной стены следует назначать в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Минимальная глубина заложения подпорных стен должна быть не менее 0,6 м в нескальных и не менее 0,3 м – в скальных грунтах.

При наличии в основании стены слабых грунтов с расчетным сопротивлением 100–200 кПа либо пучинистых глинистых грунтов при глубине промерзания, равной или большей, чем заглубление фундаментной плиты, основанием должна служить песчаная или щебеночная подушка. Грунт естественного залегания вынимается на глубину не менее 600 мм от подошвы стены и заменяется песком или щебнем. Песок отсыпается слоями, поливается водой и утрамбовывается.

Сборные фундаментные плиты следует устанавливать на подготовленное основание в виде утрамбованного в грунт щебня. Толщина слоя щебня должна приниматься не менее 100 мм и выступать за грани подошвы не менее чем на 150 мм.

В продольном направлении подошву подпорной стены следует принимать горизонтальной или с уклоном не более 0,02. При большем уклоне подошва выполняется ступенчатой. В поперечном направлении подошву подпорной стены следует принимать горизонтальной или с уклоном в сторону засыпки не более 0,125.

Конструкции подпорных стен должны быть разделены на всю высоту (включая фундаменты) температурно-усадочными швами. Расстояния между швами следует принимать: не более 10 м — в монолитных бутобетонных и бетонных подпорных стенах без конструктивного армирования, 20 м — в монолитных бетонных конструкциях при конструктивном армировании и в монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкциях, 30 м — в сборных железобетонных конструкциях.

Швы в монолитных бетонных и железобетонных подпорных стенах выполняются путем постановки в тело конструкции просмоленной доски. Ширина швов принимается равной 30 мм.

Обратную засыпку пазух подпорных стен следует производить дренирующими грунтами (песчаными или крупнообломочными). Грунты нужно трамбовать до величины удельного веса сухого грунта $1,65 \text{ т/м}^3$. Не допускается применять для обратной засыпки тяжелые пластичные глины.

Поверхность подпорных стен, обращенная в сторону засыпки, должна быть защищена гидроизоляцией. Допускается применение окрасочной гидроизоляции с битумными растворами или мастиками в соответствии с нормативными документами. Для обеспечения учитываемых в расчете сил трения между грунтом и этими поверхностями последние следует делать неровными. При бетонных и железобетонных стенах этого можно достичь, смещая горизонтально расположенные соседние доски опалубки относительно друг друга на 0,5–1,0 см.

При расположении подпорных стен вне здания следует предусматривать устройство со стороны подпора грунта пристенного дренажа (рис. 4).

В водоупорных грунтах в основании дренажа следует устраивать подготовку из жирной глины толщиной 200 мм с уклоном 0,05 в сторону стены. Пристенный песчаный дренаж толщиной 300 мм выполняется из песка средней крупности. Дренажный коллектор из щебня или гравия крупностью 10–25 мм следует устраивать с продольным уклоном не менее 0,04.

В лицевых элементах подпорных стен необходимо предусматривать дренажные отверстия диаметром 50 мм через 3–6 м.

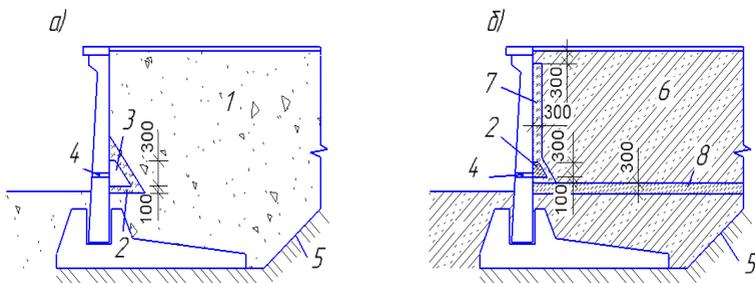


Рис. 4. Схема дренажа: *а* – при водоносных грунтах засыпки; *б* – при водоупорных грунтах засыпки; 1 – обратная засыпка водоносным грунтом; 2 – дренажный коллектор; 3 – песок средней крупности; 4 – дренажные отверстия; 5 – грунт естественного залегания; 6 – обратная засыпка водоупорным грунтом; 7 – пристенный песчаный дренаж из песка средней крупности; 8 – слой жирной глины ($h = 200$ мм)

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется студентами по заданию согласно табл. 3.1, 3.2, 3.3 и прил. А в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений к расчету на прочность и устойчивость железобетонных инженерных сооружений.

Выполнение курсовой работы состоит из трех основных этапов:

- выбор исходных данных,
- конструирование и расчет основных конструкций,
- оформление курсовой работы.

Материал излагается в пояснительной записке объемом не более 25 страниц и на одном листе графики (А2).

Пояснительная записка выполняется чернилами или на компьютере на листах формата А4, оформленных рамкой.

При оформлении текста на компьютере использовать шрифт размером 14 пунктов, формулы набирать с использованием редактора формул.

Рекомендуется следующая последовательность выполнения пояснительной записки.

1. Содержание.
2. Введение.
3. Исходные данные к заданию: высота подпора и длина подпорной стены, характеристики грунта, значения нагрузок, условия работы сооружения.
4. Конструирование тонкостенной уголковой подпорной стены.
5. Расчет подпорной стены.
 - 5.1. Расчет устойчивости подпорной стены против сдвига.
 - 5.2. Расчет основания по деформациям.
6. Конструктивные мероприятия.
7. Библиографический список.

В состав расчетно-пояснительной записки включаются следующие схематические рисунки:

- общий вид подпорной стены (рис. 5);
- схема призмы обрушения (рис. 6);
- схема для определения устойчивости стены (рис. 7);

- схема для определения давлений под подошвой фундаментной плиты (рис. 8);
- схема для определения центра тяжести фундаментной и лицевой плит (рис. 9).

Графический материал оформляется карандашом или на компьютере на одном листе чертежной бумаги формата А2.

Графическая часть включает:

- фрагмент фасада подпорной стены, ГМ 1:200, ВМ 1:40;
- план подпорной стены с маркировкой и развертка плит, М 1:100;
- разрез подпорной стены, М 1:40;
- расчетную схему подпорной стены;
- примечания.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исходные данные для проектирования приведены в табл. 1, 2, 3.

Студенты используют указанные таблицы, выбрав вариант по личному шифру (номер зачетной книжки).

Таблица 1

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высота подпора H , м	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	3,2	3,4	3,6
Нагрузка q^H , кН/м ²	12	10	14	16	18	20	21	22	23	24
Длина подпорной стенки, м	120	66	60	90	72	150	93	126	144	81

Примечание. Глубина заложения фундамента стены d от уровня планировки со стороны нижнего среза грунта принимается не менее 0,6 м.

Таблица 2

Характеристика грунта основания	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ_I , кН/м ³	17	16,5	18	19	20	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5
γ_{II} , кН/м ³	17	16,5	18	19	20	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5
φ_I , град	30	31	26	26	27	32	28	25	28	25
φ_{II} , град	34	36	28	29	29	35	32	28	30	27
c_I , кПа	15	14	12	15	16	12	20	18	17	20
c_{II} , кПа	17	15	18	17	24	16	30	21	20	30

Таблица 3

Характеристика грунта засыпки	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ'_I , кН/м ³	16,5	16,5	19	19,5	17	18	17,5	20	18,5	20,5
γ'_{II} , кН/м ³	16,5	16,5	19	19,5	17	18	17,5	20	18,5	20,5
φ'_I , град	34	33	30	33	29	32	29	28	29	31
φ'_{II} , град	37	36	33	36	32	35	32	31	32	34

Характеристики грунта в табл. 2, 3 имеют следующие наименования:

$\gamma_1, \gamma'_1, \varphi_1, \varphi'_1, c_1$ — соответственно удельный вес, угол внутреннего трения и удельное сцепление при расчетах по прочности и устойчивости;

$\gamma_{II}, \gamma'_{II}, \varphi_{II}, \varphi'_{II}, c_{II}$ — соответственно удельный вес, угол внутреннего трения и удельное сцепление при расчетах по деформациям.

4. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Во **введении** должны быть отражены задачи в области градостроительства и отмечена роль городских инженерных сооружений, в частности подпорных стен, при благоустройстве городских территорий. Следует указать на широкий диапазон применения подпорных стен.

Подпорные стены применяются для удержания от обрушения грунтов на откосах и склонах; они широко используются при устройстве подземных переходов, в автодорожном строительстве, в качестве берегоукрепительных сооружений.

В разделе **«Выбор исходных данных»** помимо сведений, составляющих задание, необходимо поместить материалы, которые также относятся к исходным данным, но принимаются студентом самостоятельно.

Бетон рекомендуется применять классов В25, В30 или В35.

Выбор коэффициентов надежности по нагрузке производится с учетом данных табл. 4. При этом значения коэффициентов, указанных в скобках, принимаются при расчете конструкций на устойчивость в том случае, когда уменьшение постоянной нагрузки может ухудшить условия работы конструкций.

Таблица 4

Значения коэффициентов надежности по нагрузке

№ п/п	Нагрузка	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
1	Собственный вес конструкции	1,1 (0,9)
2	Вес грунта в природном залегании	1,1 (0,9)
3	Вес уплотненного грунта засыпки	1,1 (0,9)
4	Равномерно распределенная нагрузка (пригрузка)	1,2

В разделе **«Конструирование тонкостенной уголковой подпорной стены»** прежде всего необходимо определить геометрию принятой конструкции. Для уголковой консольной подпорной стены высота лицевой панели h принимается с учетом карнизного блока, в зависимости от заданной величины подпора H в соответствии с прил. А.

Ширина фундаментной плиты B выбирается также по прил. А, но с использованием приближенной формулы:

$$B = 0,5(h + 2,2), \text{ м}, \quad (1)$$

где h – высота лицевой панели в м.

Длина лицевой панели и фундаментной плиты составляет 3 метра. В скомпонованном виде подпорная стена приводится на рис. 5 и служит основой для расчетов. Все расчеты производятся на **один погонный метр** подпорной стены.

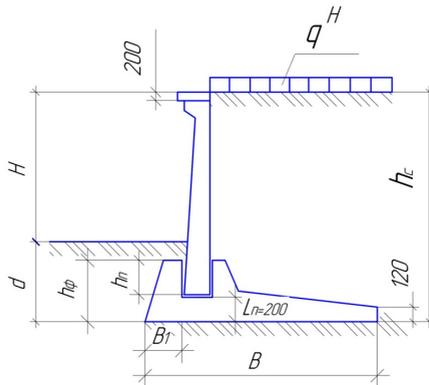


Рис. 5. Общий вид сборной подпорной стены

Давление грунта для уголковых подпорных стен следует определять, исходя из условия образования за стеной клиновидной симметричной (а для короткой задней консоли – несимметричной) призмы обрушения (рис. 6). Давление грунта принимается действующим на наклонную (расчетную) плоскость, проведенную под углом:

$$\varepsilon = \theta, \text{ при } \delta = \varphi',$$

где ε – угол наклона расчетной плоскости к вертикали; θ – угол наклона плоскости скольжения к вертикали; δ – угол трения грунта на контакте со стенкой.

$$\theta = 45^\circ - \varphi'_1/2, \quad (2)$$

где φ'_1 – расчетное значение угла внутреннего трения грунта засыпки в градусах при расчете по I группе предельных состояний (по прочности и устойчивости). При расчете основания по деформациям в формулу (2) подставляют значение φ'_{II} .

В зависимости от величины угла θ , высоты стены и длины задней консоли фундаментной плиты очертание контура грунта под призмой обрушения может быть треугольным или трапециевидным. В любом случае основание полученной фигуры допускается принимать горизонтальным с учетом средней толщины фундаментной плиты.

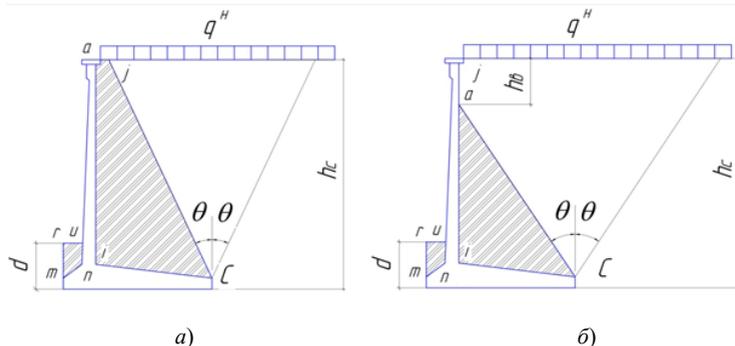


Рис. 6. Призмы обрушения: а – симметричная; б – несимметричная

Наибольшая величина активного давления грунта при наличии на горизонтальной поверхности засыпки равномерно распределенной нагрузки q определяется при расположении этой нагрузки в пределах всей призмы обрушения, если нагрузка не имеет фиксированного положения.

Расчет устойчивости положения стены против сдвига

Расчет устойчивости положения стены против сдвига производится из условия:

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n, \quad (3)$$

где F_{sa} – сдвигающая сила, равная сумме проекции всех сдвигающих сил на горизонтальную плоскость, кН; F_{sr} – удерживающая сила, равная сумме проекций всех удерживающих сил на горизонтальную плоскость; γ_c – коэффициент условий работы грунта основания, выбирается согласно табл. 5; γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2, 1,15 и 1,1 соответственно для зданий и сооружений I, II, III класса сложности.

Коэффициенты условий работы грунта основания

Для песков, кроме пылеватых	1
Для пылеватых песков, а также пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии	0,9
Для пылевато-глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии	0,85
Для скальных, неветрелых и слабоведрелых грунтов	1
Для выветрелых	0,9
Для сильновыветрелых	0,8

Сдвигающая сила F_{sa} определяется по формуле

$$F_{sa} = E_{ah} + E_{qh}, \text{ кН}, \quad (4)$$

где E_{ah} и E_{qh} – равнодействующие горизонтального давления грунта засыпки и давления грунта от нагрузки q на поверхности.

Удерживающая сила F_{sr} для нескального основания определяется по формуле

$$F_{sr} = F_v \operatorname{tg}(\varphi_1 - \beta) + B_{c_1} + E_p, \text{ кН}, \quad (5)$$

где B – ширина подошвы подпорной стены; c_1 удельное сцепление грунта; β – угол наклона поверхности скольжения подошвы стены к горизонту; E_p – равнодействующая пассивного давления, вычисляется для слоя грунта h_{pi} , соответствующего значению угла β_i (рис. 7); F_v – сумма проекций всех сил на вертикаль:

$$F_v = G_w + \Sigma G_g + E_{av} + E_{qv}, \text{ кН}, \quad (6)$$

где G_w – собственный вес стены; ΣG_g – собственный вес грунта над передней и задней консолью в уголкового стенах; E_{av} и E_{qv} – равнодействующие вертикального давления грунта засыпки и давления грунта от нагрузки q на поверхности.

$$E_p = \gamma'_1 h_p^2 \lambda_p / 2 + c_1 h_p (\lambda_p - 1) / \operatorname{tg} \varphi_1, \text{ кН}, \quad (7)$$

где λ_p – коэффициент пассивного сопротивления грунта:

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi_1/2), \quad (8)$$

h_p – высота призмы выпора грунта

$$h_p = d + B \operatorname{tg} \beta, \text{ м}. \quad (9)$$

Расчет устойчивости подпорных стен против сдвига должен производиться по формуле (3) для трех значений угла β ($\beta = 0$, $\beta = \varphi_1/2$ и $\beta = \varphi_1$) (рис. 7).

При сдвиге по подошве ($\beta = 0$) следует учитывать следующие ограничения: $c_1 \leq 5$ кПа, $\varphi_1 \leq 30^\circ$, $\lambda_p = 1$.

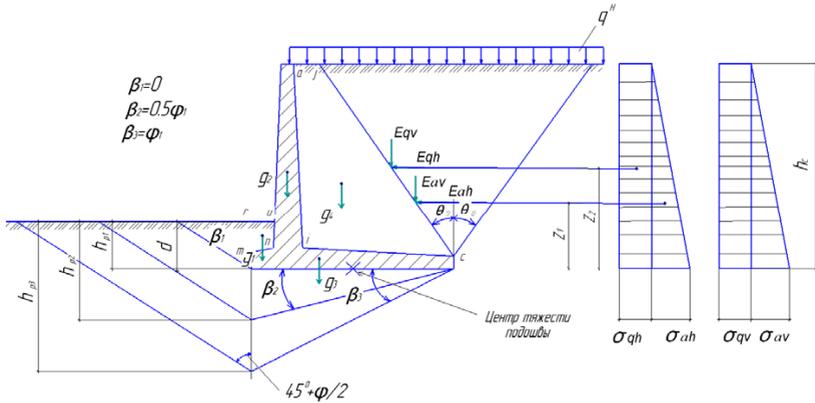


Рис. 7. Схема для определения устойчивости стены

Для определения сдвигающей F_{sa} и удерживающей F_{sr} сил необходимо определить горизонтальное E_{ah} и вертикальное E_{av} давление грунта.

Равнодействующие горизонтального E_{ah} и вертикального E_{av} давлений грунта для стен высотой h_c определяются как площади соответствующих треугольных эпюр давлений (рис. 7) по формулам:

$$E_{ah} = \sigma_{ah} h_c / 2, \text{ кН}; \quad (10)$$

$$E_{av} = \sigma_{av} h_c / 2, \text{ кН}. \quad (11)$$

В случае свободной от нагрузки наклонной поверхности засыпки и наклонной тыловой грани стены горизонтальная σ_{ah} и вертикальная σ_{av} составляющие активного давления грунта на глубине h_c с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$ определяются по формулам:

$$\sigma_{ah} = \gamma_f \gamma'_1 h_c \lambda_a, \text{ кПа}; \quad (12)$$

$$\sigma_{av} = \sigma_{ah} \text{tg}(\varepsilon + \delta), \text{ кПа}, \quad (13)$$

где γ – расчетное значение удельного веса грунта; ε – угол наклона расчетной плоскости к вертикали или плоскости обрушения; δ – угол трения грунта на контакте со стенкой, принимаемый для стен с повышенной шероховатостью равным φ , для мелкозернистых водонасыщенных песков и при наличии на поверхности вибрационных нагрузок равным 0, в остальных случаях равным $0,5\varphi$ (здесь φ – расчетное значение угла внутреннего трения грунта); λ_a – коэффициент активного давления грунта:

$$\lambda_a = \left[\frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\cos\varepsilon \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin\varphi}{\cos(\varepsilon + \delta)\cos\varepsilon}} \right)} \right]^2 \quad (14)$$

Для определения λ_a принимаются:

- 1) при расчете устойчивости стены – φ'_1 , $\delta = \varphi'_1$, $\varepsilon = \theta$, $\theta = 45^\circ - \varphi'_1/2$;
- 2) при расчете деформаций основания – φ'_{II} , $\delta = \varphi'_{II}$, $\varepsilon = \theta$, $\theta = 45^\circ - \varphi'_{II}/2$.

Равнодействующие горизонтального E_{qh} и вертикального E_{qv} давлений грунта от нагрузки q на поверхности определяются как площади соответствующих прямоугольных эпюр давлений (рис. 7):

$$E_{qh} = \sigma_{qh} h_c, \text{ кН}; \quad (15)$$

$$E_{qv} = \sigma_{qv} h_c, \text{ кН}. \quad (16)$$

Горизонтальную σ_{qh} , вертикальную σ_{qv} – составляющие активного давления грунта от равномерно распределенной нагрузки q^H на поверхности с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$ определяем по формулам:

$$\sigma_{qh} = \gamma_f q^H \lambda_a, \text{ кПа}; \quad (17)$$

$$\sigma_{qv} = \sigma_{qh} \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta), \text{ кПа}. \quad (18)$$

Собственный вес грунта над передней и задней консолью в угловых стенах определяется:

$$\Sigma G_g = g_1 + g_4, \text{ кН}. \quad (19)$$

Вес грунта над передней консолью (контур «*mrugno*» с площадью A_1) находят с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 0,9$:

$$g_1 = \gamma_f A_1 \gamma'_1, \text{ кН}. \quad (20)$$

Вес грунта над задней консолью (контур «aicj» с площадью A_4) определяют с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$:

$$g_4 = \gamma_f A_4 \gamma'_1, \text{ кН.} \quad (21)$$

Вес лицевой и фундаментной плит G_w находят с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 0,9$, используя данные прил. Б:

$$G_w = g_2 + g_3 = \gamma_f P_{\text{л}} + \gamma_f P_{\text{ф}}, \text{ кН.} \quad (22)$$

Для найденных сил должны быть определены координаты точек приложения L_i и z_i (рис. 9) относительно осей, проходящих через центр тяжести подошвы фундаментной плиты, который делит ширину подошвы B на две равные части.

Расчет основания по деформациям

В разделе «Расчет основания по деформациям» необходимо определить расчетное сопротивление грунта основания R по формуле из СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} k_z B \gamma_{\text{II}} + M_q d \gamma'_{\text{II}} + M_c c_{\text{II}}], \text{ кПа,} \quad (23)$$

где M_{γ} , M_q , M_c – коэффициенты, принимаемые по таблице (прил. В); $k = 1$; $k_z = 1$; B – ширина подошвы фундаментной плиты; d – глубина заложения фундамента; γ_{II} – удельный вес грунта ниже подошвы фундамента; γ'_{II} – удельный вес грунта засыпки; γ_{c1} и γ_{c2} – коэффициенты условий работы, принимаются равными соответственно 1,25 и 1.

Расчет основания по деформациям производится только для не- скальных грунтов. При отсутствии специальных технологических требований расчет деформации основания считается удовлетворительным, если среднее давление на грунт p_{cp} под подошвой фундамента от нормативной нагрузки не превышает расчетного сопротивления грунта основания R , а краевые – 1,2 R :

$$p_{\text{cp}} \leq R, \text{ (кПа);}$$

$$p_{\text{max}} \leq 1,2 R, \text{ (кПа).} \quad (24)$$

При этом эпюру напряжений допускается принимать трапециевидной (рис. 8, а) или треугольной (рис. 8, б).

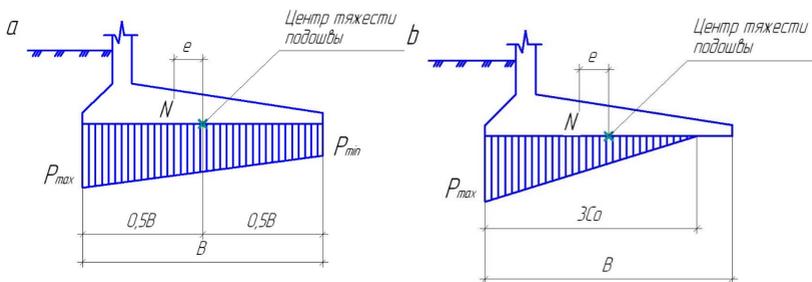


Рис. 8. Эпюры напряжений давления грунта под подошвой фундамента:
 а – при $e \leq B/6$; б – при $e > B/6$

Краевые давления на грунт под подошвой стены $p_{\frac{\max}{\min}}$ и p_{\max} при эксцентриситете приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы $e \leq B/6$ определяются по формуле (25), а при $e > B/6$ – по формуле (26):

$$p_{\frac{\max}{\min}} = \frac{F_v}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right), \text{ кПа}, \quad (25)$$

$$p_{\max} = \frac{2F_v}{3c_0} = 2p_{\text{ср}}, \text{ кПа}, \quad (26)$$

где F_v – сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость, определяемая по формуле (6); e – эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы стены, определяемый по формуле

$$e = M_0/F_v, \text{ м}, \quad (27)$$

где M_0 – сумма моментов всех вертикальных и горизонтальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы.

$3c_0$ – длина эпюры по подошве фундамента:

$$c_0 = 0,5B - e, \text{ м}. \quad (28)$$

Горизонтальные и вертикальные составляющие активного давления от веса грунта и равномерно распределенной нагрузки (пригрузки) находят с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$ по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_{ah} &= \gamma_f \gamma'_c h_c \lambda_a; \\ \sigma_{av} &= \sigma_{ah} \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta); \end{aligned}$$

$$\sigma_{qh} = \gamma_f q^H \lambda_a;$$

$$\sigma_{qv} = \sigma_{qh} \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta).$$

Коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта λ_a рассчитывают по формуле (14) с подстановкой значений: $\varphi = \varphi_{II}^I$, $\delta = \varphi_{III}^I$, $\varepsilon = \theta$ при $\theta = 45^\circ - \varphi_{II}^I/2$.

Равнодействующие горизонтальных и вертикальных составляющих активного давления от веса грунта E_{ah} , E_{av} и равномерно распределенной нагрузки (пригрузки) E_{qh} , E_{qv} находят по формулам (10), (11), (15), (16).

Вес грунта над передней и задней консолями фундаментной плиты соответственно g_1 и g_4 находят по формулам (20) и (21), но с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

Вес лицевой и фундаментной плит соответственно g_2 и g_3 определяют по формуле (22), подставляя значение коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

Сумма проекций всех сил на вертикаль определяется:

$$F_v = G_w + \Sigma G_g + E_{av} + E_{qv}, \text{ кН}$$

(см. формулы (19)–(22)).

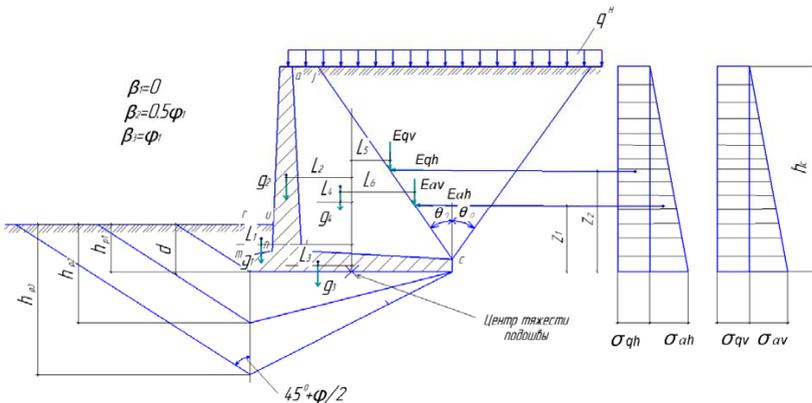


Рис. 9. Схема для определения центра тяжести фундаментной и лицевой плиты

Сумма моментов всех вертикальных и горизонтальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы (рис. 9), определяется:

$$M_0 = \Sigma M_{vi} + \Sigma M_{hi}, \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\Sigma M_{vi} = g_1 L_1 + g_2 L_2 + g_3 L_3 + g_4 L_4 + E_{av} L_6 + E_{qv} L_5, \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$\Sigma M_{hi} = E_{ah} z_1 + E_{qh} z_2, \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Конструктивные мероприятия

В разделе «**Конструктивные мероприятия**» необходимо предусмотреть и отразить на чертежах:

- температурно-осадочные швы через каждые 30 м шириной 30 мм;
- дренажные отверстия диаметром 50 мм через каждые 3 м;
- пристенный дренажный коллектор треугольного сечения высотой 400–500 мм из гравия крупностью 20–30 мм с продольным уклоном 0,04;
- гидроизоляцию поверхностей стены, контактирующих с грунтом, в виде обмазки горячим битумом за два раза;
- температурно-осадочные швы, которые решают конструктивно путем установки просмоленной доски.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ

5.1. Исходные данные

Высота подпора $H = 2,6$ м;

Нагрузка $q^n = 20$ кН/м²;

Длина подпорной стенки $L = 150$ м;

$\gamma_I = 19,5$ кН/м³;

$\gamma_{II} = 19,5$ кН/м³;

$\varphi_I = 28$ град;

$\varphi_{II} = 30$ град;

$c_I = 17$ кПа;

$c_{II} = 20$ кПа;

$\gamma'_I = 18$ кН/м³;

$\gamma'_{II} = 18$ кН/м³;

$\varphi'_I = 32$ град;

$\varphi'_{II} = 35$ град.

Сооружение III класса.

5.2. Конструирование тонкостенной уголковой подпорной стены

Для уголковой консольной подпорной стены высота лицевой панели h принимается с учетом карнизного блока в зависимости от заданной величины подпора H .

$H = 2,6$ м;

$2,6 + 0,6 = 3,2 \rightarrow$ Принимаем $h = 3,3$ м для плиты ПЛ-7.

Ширина фундаментной плиты B выбирается с использованием приближенной формулы:

$$B = 0,5 (h + 2,2), \quad (29)$$

где h – высота лицевой панели в м.

$B = 0,5(3,3 + 2,2) = 2,75$ м \rightarrow Принимаем $B = 2,8$ м для плиты ПФ-4.

Давление грунта для уголковых подпорных стен определяется, исходя из условия образования за стеной клиновидной симметричной призмы обрушения (рис. 11).

По формуле (30):

$$\theta = 45^\circ - 32^\circ/2 = 29^\circ.$$

В зависимости от величины угла θ , высоты стены и длины задней консоли фундаментной плиты очертание контура грунта под призмой обрушения может быть треугольным или трапециевидным. В любом случае основание полученной фигуры допускается принимать горизонтальным с учетом средней толщины фундаментной плиты.

Наибольшая величина активного давления грунта при наличии на горизонтальной поверхности засыпки равномерно распределенной нагрузки q определяется при расположении этой нагрузки в пределах всей призмы обрушения, если нагрузка не имеет фиксированного положения.

5.3. Расчет устойчивости положения стены против сдвига

Расчет устойчивости положения стены против сдвига производится из условия:

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n. \quad (31)$$

Расчет устойчивости подпорных стен против сдвига должен производиться по формуле (29) для трех значений угла β ($\beta = 0$, $\beta = \varphi_1/2$ и $\beta = \varphi_1$) (рис. 12).

Определяем λ_a – коэффициент активного давления грунта по формуле

$$\lambda_a = \left[\frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\cos \varepsilon \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos(\varepsilon + \delta) \cos \varepsilon}} \right)} \right]^2 \quad (4)$$

$$\lambda_a = \left[\frac{\cos(32 - 29)}{\cos 29 \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(32 + 32) \sin 32}{\cos(29 + 32) \cos 29}} \right)} \right]^2 = 0,31. \quad (32)$$

При расчете устойчивости стены:

$$\varphi = \varphi'_1 = 32^\circ;$$

$$\delta = \varphi'_1 = 32^\circ;$$

$$\varepsilon = \theta = 29^\circ;$$

$$\theta = 45^\circ - \varphi'_1/2 = 29^\circ.$$

Горизонтальную σ_{ah} и вертикальную σ_{av} составляющие активного давления грунта на глубине h_c (рис. 12) с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$ определяем по формулам:

$$\sigma_{ah} = \gamma_f \gamma'_1 h_c \lambda_a; \quad (33)$$

$$\sigma_{av} = \sigma_{ah} \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta). \quad (34)$$

$$\sigma_{ah} = 1,1 \cdot 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 3,5 \text{ м} \cdot 0,31 = 21,48 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{av} = 21,48 \text{ кН/м}^2 \cdot \operatorname{tg}(29 + 32) = 38,76 \text{ кПа}.$$

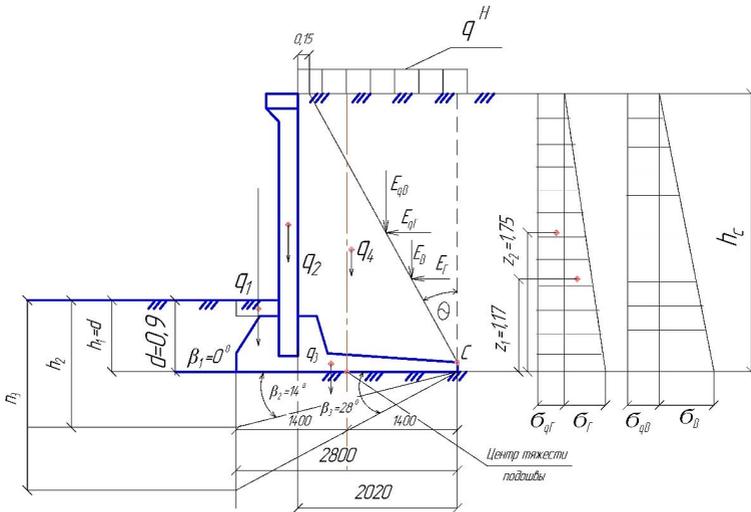


Рис. 12. Схема для определения центра тяжести фундаментной и лицевой плит

Равнодействующие горизонтального E_{ah} и вертикального E_{av} давлений грунта для стен высотой h_c определяются как площади соответствующих треугольных эпюр давлений (рис. 12) по формулам:

$$E_{ah} = \sigma_{ah} h_c / 2; \quad (35)$$

$$E_{av} = \sigma_{av} h_c / 2. \quad (36)$$

$$E_{ah} = 21,48 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м/2} = 37,59 \text{ кН};$$

$$E_{av} = 38,76 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м/2} = 67,83 \text{ кН}.$$

Определяем горизонтальную σ_{qh} и вертикальную σ_{qv} составляющие активного давления грунта от равномерно распределенной нагрузки q^H на поверхности с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$ по формулам:

$$\sigma_{qh} = \gamma_f q^H \lambda_a; \quad (37)$$

$$\sigma_{qv} = \sigma_{qh} \text{tg}(\varepsilon + \delta). \quad (38)$$

$$\sigma_{qh} = 1,2 \cdot 20 \text{ кН/м}^2 \cdot 0,31 = 7,44 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{qv} = 7,44 \cdot \text{tg}(29 + 32) = 13,39 \text{ кПа}.$$

Определяем равнодействующие горизонтального E_{qh} и вертикального E_{qv} давлений грунта от нагрузки q на поверхности по формулам:

$$E_{qh} = \sigma_{qh} h_c; \quad (39)$$

$$E_{qv} = \sigma_{qv} h_c. \quad (40)$$

$$E_{qh} = 7,44 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м} = 26,04 \text{ кН};$$

$$E_{qv} = 13,39 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м} = 46,87 \text{ кН}.$$

Определяем F_v – сумму проекций всех сил на вертикаль по формуле

$$F_v = G_w + \Sigma G_g + E_{av} + E_{qv}, \quad (41)$$

где G_w – собственный вес стены; ΣG_g – собственный вес грунта над передней и задней консолью в угловых стенах; E_{av} и E_{qv} – равнодействующие вертикального давления грунта засыпки и давления грунта от нагрузки q на поверхности ($G_w = q_2 + q_3 = \gamma_f P_{л} + \gamma_f P_{ф}$; $\Sigma G_g = q_1 + q_4 = \gamma_f A_1 \gamma'_1 + \gamma_f A_4 \gamma'_1$).

$$G_w = 0,9 (40 \text{ кН} + 58,8 \text{ кН}) = 88,92 \text{ кН};$$

$$\Sigma G_g = 0,54 \text{ м} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 0,9 + 3,58 \text{ м}^2 \cdot 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 1,1 = 72,63 \text{ кН};$$

$$E_{av} = 67,83 \text{ кН};$$

$$E_{qv} = 46,87 \text{ кН};$$

$$F_v = 88,92 \text{ кН} + 72,63 \text{ кН} + 63,96 \text{ кН} + 46,87 \text{ кН} = 276,25 \text{ кН}.$$

Сдвигающая сила F_{sa} определяется по формуле $F_{sa} = E_{ah} + E_{qh}$:

$$F_{sa} = 37,59 \text{ кН} + 26,04 \text{ кН} = 63,63 \text{ кН}.$$

Расчет устойчивости подпорных стен против сдвига для значения угла $\beta = 0$ по формуле

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n.$$

При сдвиге по подошве ($\beta = 0$) следует учитывать следующие ограничения: $c_1 \leq 5$ кПа, $\varphi_1 \leq 30^\circ$, $\lambda_p = 1$.

Определяем λ_p – коэффициент пассивного сопротивления грунта и h_p – высоту призмы выпора грунта по формулам:

$$\lambda_p = \text{tg}^2(45^\circ + \varphi_1/2); \quad (42)$$

$$h_p = d + B \text{ tg } \beta. \quad (43)$$

$$\lambda_p = 1;$$

$$h_p = 0,9 \text{ м} + 2,8 \text{ м} \cdot \text{tg}(0) = 0,9 \text{ м}.$$

Определяем равнодействующую пассивного давления грунта:

$$E_p = \gamma'_1 h_p^2 \lambda_p / 2 + c_1 h_p (\lambda_p - 1) / \text{tg } \varphi_1; \quad (44)$$

$$E_p = 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 0,9^2 \text{ м}^2 \cdot 1/2 + 17 \text{ кПа} \cdot 0,9 \cdot (1 - 1) / \text{tg } 28 = 7,29 \text{ кН}.$$

Удерживающую силу F_{sr} для нескального основания определяем по формуле:

$$F_{sr} = F_v \text{ tg}(\varphi_1 - \beta) + B c_1 + E_p, \quad (45)$$

$$F_{sr} = 276,25 \text{ кН} \cdot \text{tg}(28 - 0) + 2,8 \text{ м} \cdot 17 \text{ кПа} + 7,29 \text{ кН} = 201,77 \text{ кН};$$

$$F_{sa} = 63,63 \text{ кН}.$$

Проверяем соотношение $F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n$ при $\gamma_c = 0,9$ и $\gamma_n = 1,1$:

$$F_{sa} = 63,63 \text{ кН} < 0,9 \cdot 201,77 / 1,1 = 165,08 \text{ кН}.$$

Условие выполняется.

Расчет устойчивости подпорных стен против сдвига для значения угла $\beta = \varphi_1/2 = 14^\circ$ по формуле (31):

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n.$$

Определяем λ_p – коэффициент пассивного сопротивления грунта и h_p – высоту призмы выпора грунта по формулам (42) и (43):

$$\lambda_p = \text{tg}^2(45 + 28/2) = 2,77;$$

$$h_p = 0,9 \text{ м} + 2,8 \text{ м} \cdot \text{tg}(14) = 1,6 \text{ м}.$$

По формуле (44)

$$E_p = 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 1,6^2 \text{ м}^2 \cdot 2,77/2 + \\ + 17 \text{ кПа} \cdot 1,6 \cdot (2,77 - 1)/\text{tg} 28 = 154,37 \text{ кН}.$$

Удерживающую силу F_{sr} для нескального основания определяем по формуле (45):

$$F_{sr} = 276,25 \text{ кН} \cdot \text{tg}(28 - 14) + 2,8 \text{ м} \cdot 17 \text{ кПа} + 154,37 \text{ кН} = 270,85 \text{ кН};$$

$$F_{sa} = 63,63 \text{ кН}.$$

Проверяем соотношение $F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n$ при $\gamma_c = 0,9$ и $\gamma_n = 1,1$:

$$F_{sa} = 63,63 \text{ кН/м} < 0,9 \cdot 270,85 / 1,1 = 221,60 \text{ кН}.$$

Условие выполняется.

Расчет устойчивости подпорных стен против сдвига для значения угла $\beta = \varphi_1 = 28^\circ$ по формуле (31):

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n.$$

Определяем λ_p – коэффициент пассивного сопротивления грунта и h_p – высоту призмы выпора грунта по формулам (42) и (43):

$$\lambda_p = \text{tg}^2(45 + 28 / 2) = 2,77;$$

$$h_p = 0,9 \text{ м} + 2,8 \text{ м} \cdot \text{tg} (28) = 2,39 \text{ м}.$$

По формуле (44):

$$E_p = 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 2,39^2 \text{ м}^2 \cdot 2,77/2 + \\ + 17 \text{ кПа} \cdot 1,6 \cdot (2,77 - 1)/\text{tg} 28 = 275,08 \text{ кН}.$$

Удерживающую силу F_{sr} для нескального основания определяем по формуле (45):

$$F_{sr} = 276,25 \text{ кН} \cdot \text{tg}(28 - 14) + 2,8 \text{ м} \cdot 17 \text{ кПа} + 277,66 \text{ кН} = 325,26 \text{ кН};$$

$$F_{sa} = 63,63 \text{ кН}.$$

Проверяем соотношение $F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n$ при $\gamma_c = 0,9$ и $\gamma_n = 1,1$:

$$F_{sa} = 63,63 \text{ кН} < 0,9 \cdot 325,26 / 1,1 = 266,12 \text{ кН}.$$

Условие выполняется.

5.4. Расчет по деформациям

Расчет основания по деформациям производится только для не- скальных грунтов. При отсутствии специальных технологических требований расчет деформации основания считается удовлетворительным, если среднее давление на грунт p_{cp} под подошвой фундамента от нормативной нагрузки не превышает расчетного сопротивления грунта основания R , а краевые – $1,2 R$:

$$\begin{aligned} p_{cp} &\leq R, \\ p_{max} &\leq 1,2 R. \end{aligned} \quad (46)$$

В начале расчета определяем расчетное сопротивление грунта основания по формуле:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma}k_z B \gamma_{II} + M_q d \gamma'_{II} + M_c c_{II}]; \quad (47)$$

$$\begin{aligned} R &= 1,25 \cdot 1/1 [1,15 \cdot 1 \cdot 2,8 \cdot 19,5 + \\ &+ 5,59 \cdot 0,9 \cdot 18 + 7,95 \cdot 20] = 390,435 \text{ кПа}, \end{aligned}$$

где в зависимости от угла внутреннего трения $\varphi_{II} = 30^\circ$: $M_{\gamma} = 1,15$; $M_q = 5,59$; $M_c = 7,95$, $\gamma_{c1} = 1,25$, $\gamma_{c2} = 1$ – коэффициенты условий работы.

Находим координаты точек приложения сил L_i и z_i (рис. 13) относительно осей, проходящих через центр тяжести подошвы фундаментной плиты, который делит ширину подошвы B на две равные части.

$$L_1 = B/2 - 0,54/2 = 1,13 \text{ м};$$

$$L_2 = B/2 - 0,54 - 0,5 \cdot 0,24 = 0,86 \text{ м};$$

$$L_3 = 0,2 \text{ м};$$

$$L_4 = B/2 - 0,54 - 0,24 - X_c = 0,06 \text{ м},$$

где
$$X_c = \frac{0,15^2 + (0,15 + 2,02) \cdot 2,02}{3(0,15 + 2,02)} = 0,68;$$

$$L_5 = 0,5 \text{ м};$$

$$L_6 = 0,82 \text{ м};$$

$$z_1 = \frac{1}{3} h_c = \frac{1}{3} 3,5 = 1,17 \text{ м};$$

$$z_2 = \frac{1}{2} h_c = \frac{1}{2} 3,5 = 1,75 \text{ м}.$$

$$\sigma_{ah} = 1 \cdot 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 3,5 \text{ м} \cdot 0,27 = 17,01 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{av} = 17,01 \text{ кН/м}^2 \cdot \text{tg}(27,5 + 35) = 32,68 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{qh} = 1 \cdot 20 \text{ кН/м}^2 \cdot 0,27 = 5,4 \text{ кПа};$$

$$\sigma_{qv} = 5,4 \text{ кН/м}^2 \cdot \text{tg}(62,5) = 10,37 \text{ кПа}.$$

Равнодействующие горизонтальных и вертикальных составляющих активного давления от веса грунта E_{ah} , E_{av} и равномерно распределенной нагрузки (пригрузки) E_{qh} , E_{qv} находят по формулам (35), (36), (39), (40):

$$E_{ah} = 17,01 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м/2} = 29,68 \text{ кН};$$

$$E_{av} = 32,68 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м/2} = 57,19 \text{ кН};$$

$$E_{qh} = 5,4 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м} = 18,9 \text{ кН};$$

$$E_{qv} = 10,37 \text{ кН/м}^2 \cdot 3,5 \text{ м} = 36,3 \text{ кН}.$$

Вес грунта над передней и задней консолями фундаментной плиты соответственно g_1 и g_4 находят с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

Вес лицевой и фундаментной плит соответственно g_2 и g_3 определяются с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

$$g_1 = 0,54 \text{ м} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 18 \text{ кН/м}^3 = 1,944 \text{ кН};$$

$$g_2 = 40 \text{ кН};$$

$$g_3 = 58,8 \text{ кН};$$

$$g_4 = 3,58 \text{ м}^2 \cdot 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 1 = 64,44 \text{ кН}.$$

Определяем сумму моментов всех вертикальных и горизонтальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы:

$$M_0 = \Sigma M_{vi} + \Sigma M_{hi},$$

$$\text{где } \Sigma M_{vi} = g_1 L_1 + g_2 L_2 + g_3 L_3 + g_4 L_4 + E_{av} L_6 + E_{qv} L_5$$

$$\Sigma M_{hi} = E_{ah} z_1 + E_{qh} z_2$$

$$\Sigma M_{vi} = 1,944 \text{ кН} \cdot 1,13 \text{ м} + 40 \text{ кН} \cdot 0,86 \text{ м} + 58,8 \text{ кН} \cdot 0,2 \text{ м} + 64,44 \text{ кН} \cdot 0,06 \text{ м} + 57,19 \text{ кН} \cdot 0,82 \text{ м} + 36,3 \text{ кН} \cdot 0,5 \text{ м} = 117,27 \text{ кНм};$$

$$\Sigma M_{hi} = 29,68 \text{ кН} \cdot 1,17 \text{ м} + 18,9 \text{ кН} \cdot 1,75 \text{ м} = 67,8 \text{ кНм}.$$

$$M_0 = 117,27 + 67,8 = 185,07 \text{ кНм}.$$

Определяем F_v – сумму проекций всех сил на вертикаль по формуле (41):

$$F_v = (40 + 58,8) \text{ кН/м} \cdot 1 + 0,54 \text{ м} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 18 \text{ кН/м}^3 \cdot 1 + 57,19 \text{ кН/м} + 36,3 \text{ кН/м} = 258,67 \text{ кН}.$$

Находим e – эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы стены, определяемый по формуле:

$$e = M_0 / F_v \quad (48)$$

$$e = 185,07 \text{ кН} / 258,67 \text{ кН/м} = 0,682 \text{ м}.$$

$$e = 0,682 > B/6 = 2,8/6 = 0,467.$$

Находим краевые давления на грунт под подошвой стены p_{\max} при эксцентриситете приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы $e > B/6$ по формуле:

$$p_{\max} = \frac{2F_v}{3c_0} = 2p_{\text{cp}} \quad (49)$$

$$P_{\max} = 2 \cdot 258,67 \text{ кН} / 3 \cdot C_0 = 2 \cdot 258,67 / 3 \cdot 0,685 \text{ м} = 251,75 \text{ кПа}.$$

$$P_{\text{cp}} = 125,875 \text{ кПа}.$$

Проверяем условие (46):

$$P_{\max} = 251,75 \text{ кПа} \leq 1,2 \cdot 390,435 \text{ кПа} = 468,52 \text{ кПа};$$

$$P_{\text{cp}} = 125,875 \text{ кПа} \leq 390,435 \text{ кПа}.$$

Условие выполняется.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

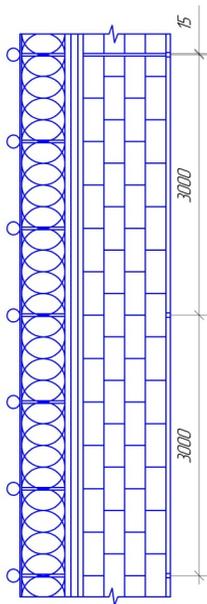
1. Типы и конструктивные решения подпорных стен.
2. Материалы конструкций подпорных стен.
3. Области применения и назначение подпорных стен.
4. Типы грунтов, используемых в качестве засыпки пазух стен.
5. Виды расчетов подпорных стен.
6. Факторы, влияющие на конфигурацию призмы обрушения грунта.
7. Схема действия сил на подпорную стену (опрокидывающие и удерживающие силы, сдвигающие и удерживающие силы).
8. Значения угла β (угол наклона поверхности скольжения подошвы стены к горизонту) при расчете стены против сдвига.
9. Суть расчета основания по деформациям.
10. Внутренние силовые факторы, определяемые при расчете подпорных стен.
11. Меры повышения устойчивости подпорной стены против опрокидывания.
12. Меры повышения устойчивости подпорной стены против сдвига по подошве без увеличения массы стены.

Библиографический список

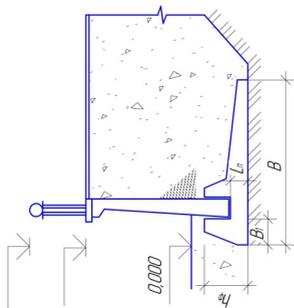
1. Основания, фундаменты и подземные сооружения : справочник проектировщика / под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименко. — М. : Стройиздат, 1985. — 479 с.
2. Проектирование подпорных стен и стен подвалов : справочное пособие к СНиП / Центр. н.-и. и проект. ин-т пром. зданий и сооружений. — М. : Стройиздат, 1990. — 101 с.
3. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства / ЦНИИ-Промзданий Госстроя СССР. — М. : Стройиздат, 1984. — 116 с.
4. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07.85*. — Введ. 2011–05–20. — М. : Минрегион России, 2011.
5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. — Введ. 2011–05–20. — М. : Минрегион России, 2011.

Схема подпорной стены. Характеристики плит для ее возведения

Фрагмент фасада подпорной стены



Разрез



Показатели плиты лицевой

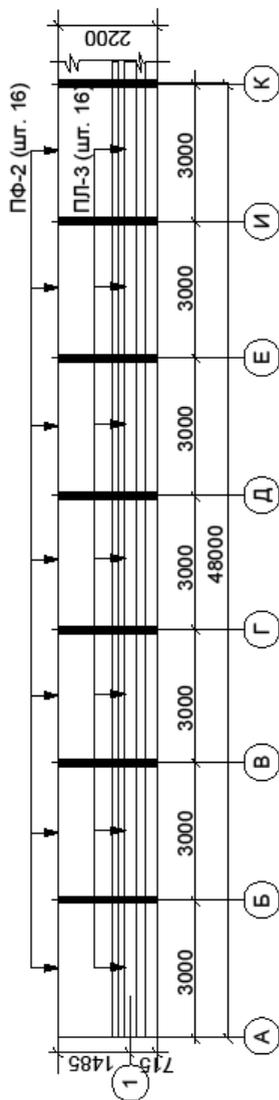
№ п/п	Марка плиты	h мм	B мм	Вес (P _н) кН	Объем бетона м ³
1	ПЛ-1	1500	140	15,0	0,60
2	ПЛ-2	1800	140	18,0	0,72
3	ПЛ-3	2100	150	23,0	0,90
4	ПЛ-4	2400	150	25,6	1,03
5	ПЛ-5	2700	160	30,0	1,20
6	ПЛ-6	3000	160	33,0	1,32
7	ПЛ-7	3300	200	40,0	1,60
8	ПЛ-8	3600	200	43,8	1,75
9	ПЛ-9	3900	240	53,0	2,12
10	ПЛ-10	4200	240	57,5	2,29

Показатели плиты фундаментной

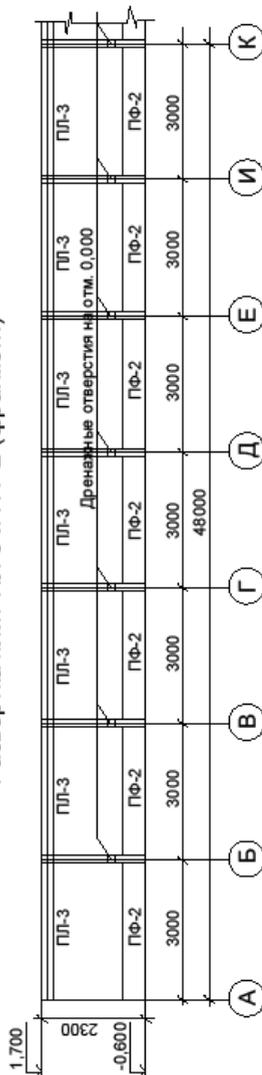
№ п/п	Марка плиты	B мм	h _н мм	B _н мм	L _н мм	Вес (P _н) кН	Объем бетона м ³
1	ПФ-1	1900	500	230	200	33,0	1,31
2	ПФ-2	2200	500	230	200	38,0	1,51
3	ПФ-3	2500	600	240	200	52,0	1,08
4	ПФ-4	2800	700	240	200	58,8	2,35
5	ПФ-5	3100	800	320	300	76,7	3,07
6	ПФ-6	3400	900	320	400	84,0	3,36
7	ПФ-7	3700	1000	320	400	91,5	3,66

Маркировочная схема подпорной стены

Маркировочная схема подпорной стены
на примере использования плит ПЛ-3 и ПФ-2 (фрагмент)



Развертка плит ПЛ-3 и ПФ-2 (фрагмент)



Значения коэффициентов M_γ , M_q , M_c

Угол внутреннего трения j_{II} , град	Коэффициенты			Угол внутреннего трения j_{II} , град	Коэффициенты		
	M_γ	M_q	M_c		M_γ	M_q	M_c
0	0	1,00	3,14	23	0,69	3,65	6,24
1	0,01	1,06	3,23	24	0,72	3,87	6,45
2	0,03	1,12	3,32	25	0,78	4,11	6,67
3	0,04	1,18	3,41	26	0,84	4,37	6,90
4	0,06	1,25	3,51	27	0,91	4,64	7,14
5	0,08	1,32	3,61	28	0,98	4,93	7,40
6	0,10	1,39	3,71	29	1,06	5,25	7,67
7	0,12	1,47	3,82	30	1,15	5,59	7,95
8	0,14	1,55	3,93	31	1,24	5,95	8,24
9	0,16	1,64	4,05	32	1,34	6,34	8,55
10	0,18	1,73	4,17	33	1,44	6,76	8,88
11	0,21	1,83	4,29	34	1,55	7,22	9,22
12	0,23	1,94	4,42	35	1,68	7,71	9,58
13	0,26	2,05	4,55	36	1,81	8,24	9,97
14	0,29	2,17	4,69	37	1,95	8,81	10,37
15	0,32	2,30	4,84	38	2,11	9,44	10,80
16	0,36	2,43	4,99	39	2,28	10,11	11,25
17	0,39	2,57	5,15	40	2,46	10,85	11,73
18	0,43	2,73	5,31	41	2,66	11,64	12,24
19	0,47	2,89	5,48	42	2,88	12,51	12,79
20	0,51	3,06	5,66	43	3,12	13,46	13,37
21	0,56	3,24	5,84	44	3,38	14,50	13,98
22	0,61	3,44	6,04	45	3,66	15,64	14,64

Основные буквенные обозначения**Характеристики грунта**

γ — удельный вес;

γ_I, γ_{II} — удельный вес ненарушенного сложения соответственно для предельных состояний первой и второй группы;

γ' — удельный вес засыпки;

γ'_I, γ'_{II} — удельный вес засыпки соответственно для предельных состояний первой и второй группы;

φ — угол внутреннего трения;

φ_I, φ_{II} — угол внутреннего трения ненарушенного сложения соответственно для предельных состояний первой и второй группы;

$\varphi'_I, \varphi'_{II}$ — угол внутреннего трения засыпки соответственно для предельных состояний первой и второй группы;

c — удельное сцепление;

c_I, c_{II} — удельное сцепление ненарушенного сложения соответственно для предельных состояний первой и второй группы;

c'_I, c'_{II} — удельное сцепление засыпки соответственно для предельных состояний первой и второй группы;

E, E' — модуль деформации соответственно основания и засыпки;

R_c — расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта;

R — расчетное сопротивление грунта основания.

Геометрические характеристики

y — расстояние от поверхности грунта до рассматриваемого сечения;

y_c — расстояние от верха конструкции до рассматриваемого сечения;

B — ширина подошвы фундамента;

B' — приведенная ширина подошвы фундамента;

A — площадь подошвы фундамента;

h_c — расстояние от поверхности грунта до подошвы фундамента;

h_w — расстояние от низа сооружения до расчетного уровня грунтовых вод;

h_r — высота слоя грунта при учете пассивного сопротивления;

ε — угол наклона расчетной плоскости к вертикали;

ρ — угол наклона поверхности засыпки к горизонтали;

β — угол наклона поверхности скольжения к горизонтали;

θ — угол наклона плоскости скольжения к вертикали.

Нагрузки, сопротивления, внутренние усилия

M — изгибающий момент;

Q — поперечная сила;

N — нормальная сила;

F_{sa} — сдвигающая сила;

F_{sr} — удерживающая сила;

F_v — сумма проекции всех сил на вертикальную плоскость;

N_u — вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания;

σ_h, σ_v — интенсивность давления грунта соответственно горизонтального и вертикального;

G — вес конструкции, грунта, временная нагрузка и т. д.;

E_p — горизонтальная составляющая пассивного сопротивления грунта;

q — интенсивность равномерно-распределенной нагрузки;

p, p_{\max}, p_{\min} — давление под подошвой фундамента соответственно среднее, максимальное, минимальное.

Прочие характеристики

I — момент инерции сечения;

e — эксцентриситет приложения силы.