

Министерство образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

Строительный факультет

Кафедра геотехники

## **ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

Методические указания

Санкт-Петербург  
2014

*Рецензент* д-р техн. наук, профессор И. И. Сахаров (СПбГАСУ)

**Основания и фундаменты:** метод. указания / сост.: Р. А. Мангушев, А. В. Ершов; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – 90 с.

Приведены содержание дисциплины «Основания и фундаменты», рекомендации по изучению дисциплины, исходные данные и указания для выполнения курсового проекта.

Предназначены для изучения дисциплины и выполнения курсового проекта студентами направления 270800 – строительство (профили «Промышленное и гражданское строительство» и «Проектирование зданий») и специальности 271101 – строительство уникальных зданий и сооружений.

Табл. 1. Ил. 15. Библиогр.: 40 назв.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно учебным планам и рабочим программам СПбГАСУ, разработанным в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом, дисциплина «*Основания и фундаменты*» изучается в течение двух семестров и предваряется подготовкой по другим *смежным наукам*, среди которых *геология* и *механика грунтов*.

Основной теоретический материал для студентов очной формы обучения излагается на лекциях, а около 20 % изучается студентами самостоятельно. Студенты заочной формы обучения осваивают большую часть дисциплины самостоятельно.

В первом семестре теоретические знания, полученные на лекциях, закрепляются при решении задач и выполнении контрольных работ на практических занятиях. Семестр заканчивается зачетом.

Во втором семестре выполняется курсовой проект, целью которого является приобретение навыков работы с нормативной, справочной и технической литературой для конструирования и расчета фундаментов. Кроме этого, развиваются навыки разработки вариантов проектных решений и их анализа на основе технико-экономических сравнений.

К экзамену по дисциплине допускаются студенты, успешно сдавшие зачет и защитившие курсовой проект.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Введение.** Основные понятия и определения. Типы оснований и фундаментов. Последовательность проектирования оснований и фундаментов. Основные факторы, влияющие на выбор типа фундамента и глубины заложения его опорной части (подошвы).

**1. Принципы проектирования оснований и фундаментов.** Требования к фундаментам и их проектированию. Предельные состояния оснований сооружений. Случаи, требующие расчета оснований по несущей способности. Нагрузки и воздействия, учитываемые при расчете оснований. Комплексная взаимосвязь факторов, подлежащих учету при проектировании фундаментов.

Типы сооружений по жесткости. Виды деформаций и смещений сооружений. Причины развития неравномерных осадок сооружений (деформации уплотнения, разуплотнения, выпирания и расструктурирования; неравномерные осадки в период эксплуатации сооружений). Конструктивные мероприятия по снижению чувствительности сооружений к неравномерным осадкам.

Численное моделирование совместной работы основания и сооружения.

Выбор оптимальных решений при проектировании оснований и фундаментов.

**2. Фундаменты мелкого заложения на естественном основании.** Конструкции и материалы фундаментов. Защита фундаментов и подземных частей сооружений от подземных вод. Дренаж.

Последовательность проектирования фундаментов мелкого заложения. Выбор глубины заложения подошвы фундамента. Определение размеров подошвы жестких фундаментов при действии вертикальных (центральных и внецентренных) нагрузок. Проверка давления на слабый подстилающий слой грунта. Расчет осадок фундаментов. Расчет фундаментов при действии горизонтальных и выдергивающих нагрузок.

Основные положения проектирования гибких фундаментов.

**3. Свайные фундаменты.** Конструкции ростверков и свайных фундаментов. Конструкции и способы погружения в грунт свай заводского изготовления. Технологии изготовления свай в грунте.

Явления, происходящие в грунте при погружении свай и при их изготовлении в нем. Несущая способность сваи по материалу. Расчетный метод определения несущей способности основания сваи на вдавливающую и выдергивающую нагрузки. Условия возникновения отрицательного трения по боковой поверхности сваи и его учет при оценке несущей способности основания сваи. Определение несущей способности основания сваи по результатам статических и динамических испытаний. Определение несущей способности основания сваи по данным статического зондирования грунтов.

Последовательность проектирования свайных фундаментов. Выбор глубины заложения ростверка. Выбор типа, длины и поперечного сечения сваи. Работа сваи в кусте. Расчет центрально и внецентренно нагруженных свайных фундаментов. Определение осадок

свайных фундаментов. Расчет свайных фундаментов при действии горизонтальных нагрузок.

**4. Искусственно улучшенные основания.** Конструктивные методы улучшения работы грунтов в основании (грунтовые подушки, шпунтовые ограждения, боковые пригрузки, армирование грунта).

Поверхностное уплотнение грунта. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. Глубинное уплотнение грунтов динамическими воздействиями. Устройство грунтовых свай. Уплотнение грунта статической нагрузкой. Уплотнение грунта водопонижением.

Закрепление грунтов (цементация, смолизация, силикатизация, электросиликатизация, метод гидроразрыва, термический метод, метод струйной технологии).

**5. Крепление стен и осушение котлованов.** Крепление стен котлованов с помощью распорок, подкосов, шпунтовых ограждений и анкеров. Расчет минимального заглубления консольной стены. Расчет заанкерванной стены. Типы анкеров. Несущая способность инъекционного анкера.

Открытый водоотлив. Искусственное понижение уровня подземных вод. Противофильтрационные завесы. Сохранение структуры грунта в основании дна котлована.

**6. Фундаменты глубокого заложения и подземные сооружения.** Конструкции подземных сооружений и фундаментов глубокого заложения.

Фундаменты и сооружения, возводимые способом «стена в грунте».

Область применения опускных колодцев и кессонов. Последовательность погружения опускных колодцев в грунт. Нагрузки, действующие на колодцы при погружении. Расчет колодцев на нагрузки, действующие при погружении и эксплуатации. Особенности погружения колодцев. Особенности устройства фундаментов кессонным методом.

Особенности работы и расчет фундаментов глубокого заложения.

**7. Фундаменты в особых грунтовых условиях.** Фундаменты на сильносжимаемых водонасыщенных глинистых грунтах. Особенности проектирования. Способы устройства фундаментов на сильносжимаемых водонасыщенных глинистых грунтах.

Фундаменты на лёссовых просадочных грунтах. Оценка просадочности лёссовых грунтов. Расчет просадочных деформаций. Способы устройства фундаментов на просадочных лёссовых грунтах.

Фундаменты на набухающих и дающих усадку грунтах. Оценка деформируемости грунта при набухании. Расчет осадок в результате высыхания набухших грунтов. Способы устройства фундаментов на набухающих грунтах.

Фундаменты на вечномерзлых грунтах. Процессы, происходящие в деятельном слое и вечномерзлом грунте. Оценка деформируемости мерзлых и оттаивающих грунтов. Принципы использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований. Мероприятия по сохранению вечномерзлого состояния грунтов. Основные положения расчета фундаментов, возводимых с сохранением вечномерзлого состояния грунта. Основные положения расчета фундаментов, возводимых без сохранения вечномерзлого состояния грунта. Конструкции и методы устройства фундаментов на вечномерзлых грунтах.

Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. Мероприятия по борьбе с морозным пучением. Расчет фундаментов на воздействие сил морозного пучения.

**8. Фундаменты при динамических воздействиях.** Источники колебаний грунта. Явления, происходящие в грунте при динамических воздействиях.

Фундаменты под машины. Типы машин. Требования, предъявляемые к фундаментам под машины. Методы расчета фундаментов на динамические нагрузки. Проектирование фундаментов под машины по нормативным документам. Методы определения динамических характеристик грунтов. Мероприятия по уменьшению амплитуд колебаний фундаментов.

Фундаменты в условиях сейсмических воздействий. Конструктивные особенности фундаментов. Проектирование фундаментов в сейсмических районах по нормативным документам.

**9. Усиление оснований и фундаментов.** Возведение сооружений в стесненных условиях. Геотехнический мониторинг.

Причины, приводящие к необходимости усиления оснований и фундаментов. Основные принципы проектирования оснований и фундаментов реконструируемых зданий. Приемы усиления оснований и фундаментов (изменение условий передачи нагрузки на грунт, увеличение прочности кладки фундамента, увеличение прочности грунтов основания).

Возведение фундаментов вблизи существующих сооружений. Причины развития дополнительных осадок существующих сооруже-

ний в результате нового строительства. Конструктивные решения сооружений и их фундаментов, примыкающих к существующим строениям. Основные принципы проектирования фундаментов сооружений, возводимых в стесненных условиях.

Геотехнический мониторинг. Цель и задачи мониторинга. Основные инструментальные методы мониторинга. Программа мониторинга и контролируемые параметры.

## УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КУРСА

Приступая к проработке теоретического материала, следует, прежде всего, представить его объем. С этой целью необходимо ознакомиться со списком вопросов, составляемым для подготовки к зачету (экзамену) в соответствии с рабочей программой дисциплины и предоставляемым студентам на одной из последних лекций перед зачетом (экзаменом).

Для изучения теоретического материала необходимо использовать учебники [6] и учебные пособия [5, 8, 9]. Учебники содержат систематическое изложение учебной дисциплины, соответствующее учебной программе. Учебные пособия дополняют или частично (полностью) заменяют учебник. В большинстве случаев учебные пособия содержат подробное изложение одного раздела дисциплины.

Ссылки на дополнительную литературу для углубленного изучения отдельных разделов дисциплины приводятся в виде единого списка в конце учебника или отдельного – после каждой главы.

В результате изучения дисциплины «Основания и фундаменты» студент **должен знать:**

- термины и определения, закрепленные в нормативной и технической литературе [11–14, 26, 28];
- состав и объем инженерно-геологических изысканий для строительства;
- принципы проектирования фундаментов по предельным состояниям;
- расчеты и конструкции фундаментов мелкого заложения;
- расчеты и конструкции свайных фундаментов;
- методы улучшения свойств грунтов;

- способы вскрытия котлованов и водопонижения;
- методы строительства фундаментов глубокого заложения;
- особенности проектирования фундаментов на просадочных, набухающих, вечномерзлых и сильносжимаемых водонасыщенных глинистых грунтах;
- методы усиления оснований и фундаментов при реконструкции сооружений;
- способы крепления стен котлованов и возведения фундаментов сооружений в стесненных условиях;

#### **уметь:**

- оценить инженерно-геологические условия строительной площадки;
- правильно выбрать способ производства работ, обеспечивающий сохранность естественной структуры грунтов основания и зданий окружающей застройки;
- проектировать основания и фундаменты зданий и сооружений по предельным состояниям на основе вариантности решений;
- оценивать устойчивость откосов и определять давление грунта на подпорные стены;

#### **понимать:**

- задачи курса и перспективы развития разделов науки;
- особенности расчета фундаментов различных типов;
- особенности работы фундаментов глубокого заложения;
- основные положения проектирования фундаментов при динамических воздействиях.

## **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Исходными материалами для курсового проектирования служат данные о сооружении и инженерно-геологических условиях площадки строительства, которые приведены в прил. 1 настоящих методических указаний. Там же содержатся указания по их выбору.

**Данные о сооружении:** поперечный разрез сооружения и его план с нумерацией фундаментов, подлежащих конструированию и расчету; нормативные значения нагрузок (изгибающих моментов  $M_{0n}$ , вертикальных  $N_{0n}$  и горизонтальных  $Q_{0n}$  сил) на обрезы фундаментов при основных сочетаниях.

При расчетах оснований и фундаментов по первому предельному состоянию (для расчетов прочности и устойчивости) используют значения  $N_{0п}$ ,  $Q_{0п}$  и  $M_{0п}$ , которые вычисляют путем умножения соответствующих им значений  $N_{0н}$ ,  $Q_{0н}$  и  $M_{0н}$  на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ . Значение этого коэффициента зависит от вида нагрузки (см. СНиП 2.02.01, СНиП 2.01.07). Поскольку курсовой проект не предполагает сбор нагрузок, для перехода от  $N_{0н}$ ,  $Q_{0н}$  и  $M_{0н}$  к  $N_{0п}$ ,  $Q_{0п}$  и  $M_{0п}$  следует использовать осредненное значение  $\gamma_f$ , принимаемое равным 1,2.

В расчетах по второму предельному состоянию (при расчетах деформаций оснований) расчетные значения нагрузок  $N_{0п}$ ,  $Q_{0п}$  и  $M_{0п}$  соответствуют нормативным, поскольку  $\gamma_f = 1,0$ .

**Инженерно-геологические условия площадки строительства:** инженерно-геологическая карта, содержащая сведения о рельефе и размещении буровых скважин; инженерно-геологические разрезы; таблица со значениями характеристик физико-механических свойств грунтов; географическое положение площадки строительства.

Для каждого дисперсного грунта даны следующие характеристики:

- удельный вес грунта  $\gamma$  (отношение веса грунта, включая вес воды в порах, к занимаемому этим грунтом объему), кН/м<sup>3</sup>;
- удельный вес частиц грунта  $\gamma_s$  (отношение веса твердых частиц грунта к их объему), кН/м<sup>3</sup>;
- природная влажность грунта  $w$  (отношение массы воды, содержащейся в порах грунта, к массе сухого грунта), д. ед.;
- влажность глинистого грунта на границе текучести  $w_L$ , д. ед.;
- влажность глинистого грунта на границе пластичности (раскатывания)  $w_p$ , д. ед.;
- коэффициент фильтрации  $k_f$ , см/с;
- угол внутреннего трения грунта  $\phi$ , град;
- удельное сцепление грунта  $c$ , кПа;
- модуль общей деформации грунта  $E$  (в пределах стадии линейного деформирования), кПа.

Значения удельного веса  $\gamma$ , удельного сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\phi$  даны для расчета по первому ( $\gamma_I$ ,  $c_I$  и  $\phi_I$ ) и второму ( $\gamma_{II}$ ,  $c_{II}$  и  $\phi_{II}$ ) предельным состояниям. Доверительная вероятность расчетных значений  $\gamma_I$ ,  $c_I$  и  $\phi_I$  равна 0,95, а  $\gamma_{II}$ ,  $c_{II}$  и  $\phi_{II}$  – 0,85 (см. п. 2.14 СНиП 2.02.01).

## СОСТАВ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект фундаментов сооружения состоит из расчетно-пояснительной записки и чертежа.

**Расчетно-пояснительная записка** к курсовому проекту включает следующие разделы:

- 1) оценку инженерно-геологических условий строительной площадки;
- 2) оценку конструктивных особенностей сооружения;
- 3) выбор основного типа фундамента сооружения;
- 4) конструирование и расчет фундаментов сооружения;
- 5) рекомендации по производству работ нулевого цикла.

Записку разрабатывают максимально краткой, без комментариев по общим вопросам конструирования и теоретическим положениям нормативных расчетов.

Все расчеты и рекомендации сопровождают ссылками на нормативную, техническую или справочную литературу, список которой приводят на последней странице расчетно-пояснительной записки. *Основные расчеты сопровождают поясняющими их чертежами и схемами. Схемы, приводимые для вычисления осадок фундаментов и расчета несущей способности висячих свай, совмещают с инженерно-геологическими колонками.*

Все расчетные схемы выполняют в масштабе. На них указывают фактические значения всех необходимых для расчета величин (размеры фундаментных конструкций, толщины грунтовых слоев, нагрузки, напряжения, сопротивления и т. п.).

**Чертеж** выполняют на листе основного формата А1 (594×841 мм). При невозможности размещения всех элементов чертежа на листе формата А1 используют листы дополнительного формата или несколько листов основного формата А2 (420×594 мм).

Чертеж разрабатывают, учитывая стандарты Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Системы проектной документации для строительства (СПДС). При его выполнении в первую очередь следует руководствоваться ГОСТ Р 21.1101 «Основные требования к проектной и рабочей документации».

Чертеж выполняют одновременно с запиской. На нем приводят (рис. 1):

1) поперечный или продольный разрез сооружения, совмещенный с инженерно-геологическим разрезом (масштаб 1:200);

2) чертежи (фасады и планы) фундаментов, рассмотренных на стадии вариантного проектирования, совмещенные с инженерно-геологической колонкой (масштаб 1:100), а также таблицу с технико-экономическими показателями (значения осадок и прямых затрат на возведение рассмотренных типов фундаментов);

3) схему расположения фундаментов и фундаментных балок (масштаб 1:100 или 1:200);

4) фасады (виды) фундаментов с отметками, размерами и привязками к осям сооружения (масштаб 1:50);

5) детали устройства деформационных швов и гидроизоляции, узлы опирания фундаментных балок и др. (масштаб 1:50);

6) таблицу со значениями основных физико-механических характеристик грунтов;

7) спецификацию к схемам расположения элементов сборных конструкций (см. прил. К ГОСТ Р 21.1101);

8) примечания;

9) основную надпись (см. прил. Ж ГОСТ Р 21.1101).

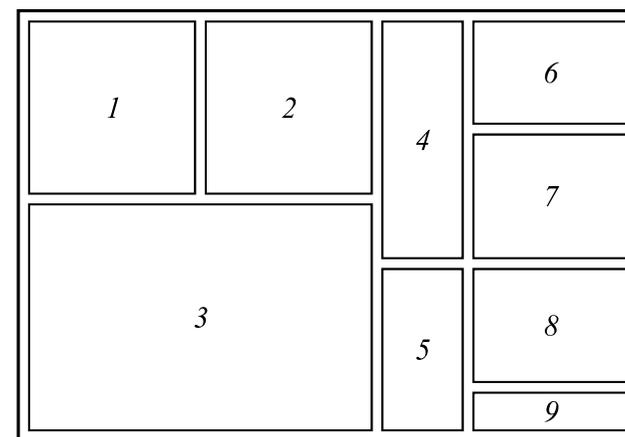


Рис. 1. Вариант компоновки элементов чертежа (описание позиций приведено в тексте)

Если в качестве основного типа фундамента принят свайный, то в п. 3 включают:

- а) схему расположения свай (масштаб 1:100 или 1:200);
- б) схему расположения ростверков и фундаментных балок (масштаб 1:100 или 1:200).

Для сборных ленточных фундаментов изображают их развертку вдоль одной из продольных осей сооружения.

Масштаб выбирают таким образом, чтобы соблюсти требования ЕСКД и СПДС.

Примечание к чертежу размещают над основной надписью. В примечании по пунктам:

1) описывают конструкцию запроектированных фундаментов двумя-тремя предложениями (указывают марки фундаментных конструкций по ГОСТам и сериям, характеристики бетона, способ заглубления свай); указывают несущий слой грунта; приводят характеристики подготовки (бетонной, щебеночной или песчаной) под фундамент или ростверк;

2) перечисляют нормативные документы, в соответствии с которыми выполнен проект;

3) отмечают, что на чертеже даны относительные высотные отметки; указывают абсолютное значение высотной отметки, соответствующее относительной отметке 0,000;

4) для проекта свайных фундаментов указывают высотные отметки, с которых следует заглублять сваи, а также основные характеристики используемой при этом техники;

5) перечисляют нормативы по организации строительства, земляным и геодезическим работам, технике безопасности и т. п., которыми следует руководствоваться при производстве работ нулевого цикла;

7) для проекта свайных фундаментов указывают номера свай, подлежащих испытаниям статической нагрузкой в соответствии с ГОСТ 5686 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями; приводят значения нагрузок при испытаниях»;

8) дают сведения о грунте, подлежащем использованию для засыпки пазух, и его требуемой плотности сложения.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### 1. Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки

#### 1.1. Дополнительные характеристики грунтов

Для каждого грунта (инженерно-геологического элемента) вычисляют значения дополнительных физических характеристик. Расчеты выполняют, используя приведенные в исходных данных значения основных физических характеристик, в следующей последовательности:

а) удельный вес скелета грунта  $\gamma_d$  (отношение веса сухого грунта к занимаемому этим грунтом объему, включающему поры), кН/м<sup>3</sup>;

б) относительное содержание твердых частиц  $m$  (отношение объема твердых частиц к объему всего грунта), д. ед.;

в) пористость  $n$  (отношение объема пор к объему всего грунта), д. ед.;

г) коэффициент пористости  $e$  (отношение объема пор к объему твердых частиц);

д) полная влагоемкость  $w_{sat}$  (влажность, соответствующая полному заполнению пор грунта водой), д. ед.;

е) коэффициент водонасыщения  $S_r$  (отношение объема воды, содержащейся в порах грунта, к объему пор), д. ед.;

ж) удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды  $\gamma_{sb}$ , кН/м<sup>3</sup>;

и) число пластичности  $I_p$  (для глинистых грунтов);

к) показатель текучести  $I_L$  (для глинистых грунтов).

Расчет производят по следующим формулам:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}; \quad m = \frac{\gamma_d}{\gamma_s}; \quad n = 1-m; \quad e = \frac{n}{m};$$

$$w_{sat} = \frac{n \gamma_w}{m \gamma_s}; \quad S_r = \frac{w}{w_{sat}}; \quad I_p = w_L - w_p; \quad I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p},$$

где  $\gamma_w$  – удельный вес воды, равный 9,8 кН/м<sup>3</sup>.

При вычислении  $\gamma_d$  используют значение удельного веса грунта для расчета по второму предельному состоянию.

Ниже уровня подземных вод  $WL$  частицы водопроницаемого грунта (грунта с гидравлически связанными между собой порами) испытывают взвешивающее действие воды, при этом значение его удельного веса вычисляют по формуле

$$\gamma_{sb} = \gamma_{sat} - \gamma_w,$$

где  $\gamma_{sat}$  – удельный вес грунта при полном водонасыщении (т. е. при  $S_r = 1$ ):

$$\gamma_{sat} = \gamma_s m + \gamma_w n = \gamma_d + \gamma_w n.$$

Таким образом,

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w) m.$$

Рассчитав значения дополнительных характеристик грунтов, определяют их разновидности, используя прил. Б и В ГОСТ 25100. Разновидность песков определяют по коэффициенту пористости  $e$  (табл. Б.12) и коэффициенту водонасыщения  $S_r$  (табл. Б.11), а глинистых грунтов – по числу пластичности  $I_p$  (табл. Б.16) и показателю текучести  $I_L$  (табл. Б.19).

В исходных данных для курсового проектирования указаны наименования грунтов по результатам гранулометрического анализа. При уточнении наименования (разновидности) глинистых грунтов по числу пластичности  $I_p$  следует использовать значения характерных влажностей  $w_L$  и  $w_p$  в процентах.

Сжимаемость дисперсных грунтов оценивают по модулю деформации  $E$ , используя табл. В.4 ГОСТ 25100.

### 1.2. Нормативная глубина сезонного промерзания грунта

Вычисляют нормативную  $d_{fn}$  глубину сезонного промерзания грунта (п. 2.27 СНиП 2.02.01):

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t},$$

где  $d_0$  – величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м; для супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28 м; для песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,30 м; для крупнообломочных грунтов – 0,34 м. Для грунтов неоднородного сложения значение  $d_0$  определяют как средневзвешенное в пределах глубины промерзания;

$M_t$  – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур в данном районе, принимаемых по СНиП 23.01 «Строительная климатология».

### 1.3. Расчетные сопротивления грунтов

Расчетное сопротивление  $R$  соответствует такому давлению  $p$  на грунт (в условиях плоской задачи), до достижения которого сохраняется практически линейная зависимость между его осадкой  $s$  и давлением  $p$  (рис. 2). Ограничив давление  $p$  величиной расчетного сопротивления  $R$ , грунтовое основание можно рассматривать в виде линейно деформируемой среды. Таким образом, при  $p \leq R$  для расчетов конечных напряжений и стабилизированных осадок можно использовать решения, полученные в теории линейного деформирования тел.

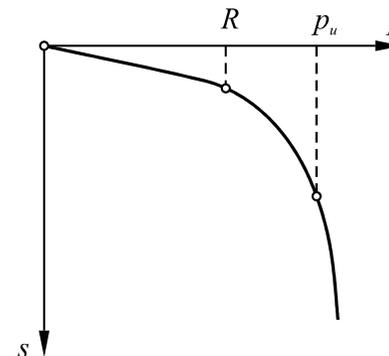


Рис. 2. Зависимость осадки основания фундамента  $s$  от среднего давления  $p$

Следует различать расчетное  $R$  (п. 2.41 СНиП 2.02.01) и предельное  $p_u$  ( $p_u = N_u / (b' l)$ , п. 2.62 СНиП 2.02.01) сопротивления грунта (см. рис. 2). При давлении  $p = R$  в основании под краями подошвы фундамента имеют место локальные области нарушения прочности грунта (где касательные напряжения  $\tau$  превышают предельное сопротивление грунта сдвигу  $\tau_u$ ), при этом общая устойчивость основания сохраняется. При давлении  $p = p_u$  области нарушения прочности грунта достигают таких размеров, что при малейшем увеличении  $p$  произойдет выпор грунта из-под подошвы фундамента, т. е. потеря несущей способности основания.

При расчете осадок фундаментов с использованием модели линейно деформируемой среды принято изображать эпюру расчетного сопротивления грунтов основания  $R$ , т. е. график изменения  $R$  по глубине. Эпюра обладает наглядностью. Она позволяет выявить слабые подстилающие слои (в случае их наличия) и быстро оценить (при известной вертикальной нагрузке) ориентировочную площадь подошвы фундамента  $A$  в зависимости от глубины ее заложения  $d$ .

Для построения эпюры расчетного сопротивления  $R$  грунтов основания выбирают инженерно-геологическую колонку, наиболее близкую к намечаемому пятну застройки. Затем для каждого дисперсного грунта основания вычисляют его расчетные сопротивления  $R$ , кПа, используя формулу в следующем виде:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} [M_\gamma k_z b \gamma_{II} + M_q d \gamma'_{II} + M_c c_{II}],$$

где  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  – коэффициенты условий работы, принимаемые по табл. 3 СНиП 2.02.01 в зависимости от разновидности грунта, залегающего на глубине  $d$ ;  $M_\gamma$ ,  $M_q$  и  $M_c$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 4 СНиП 2.02.01 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения  $\varphi_{II}$ , могут быть определены по строгим теоретическим формулам, которые удобно использовать для автоматизации вычислений;  $k$  – коэффициент, принимаемый равным 1,0, когда прочностные характеристики грунта  $\varphi$  и  $c$  определены непосредственными испытаниями;  $\gamma_{II}$ ,  $\varphi_{II}$  и  $c_{II}$  – расчетные значения удельного веса, кН/м<sup>3</sup>, угла внутреннего трения, град, и удельного сцепления, кПа. Эти значения принимают для грунта, залегающего на глубине  $d$ . Ниже уровня подземных вод  $WL$  для грунтов с  $k_\phi > 0,01$  мм/сут и  $I_L > 0,25$  (для глинистых грунтов) используют значение удельного веса грунта с учетом взвешивающего действия воды  $\gamma_{sb}$ ;  $k_z$  – коэффициент, принимаемый равным 1,0 при  $b \leq 10$  м;  $b$  – ширина подошвы фундамента, принимаемая равной 1,0 м при оценке инженерно-геологических условий;  $d$  – глубина, м, для которой вычисляют расчетное сопротивление (отсчитывается от уровня планировки поверхности);  $\gamma'_{II}$  – расчетное значение удельного веса грунта, кН/м<sup>3</sup>, залегающего в пределах глубины  $d$ . При наличии нескольких грунтов в пределах глубины  $d$  значение  $\gamma'_{II}$  определяют как средневзвешенное:

$$\gamma'_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{II,i} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \quad \sum_{i=1}^n h_i = d,$$

где  $\gamma_{II,i}$  – расчетное значение удельного веса  $i$ -го грунта, кН/м<sup>3</sup>, залегающего в пределах глубины  $d$ ;  $h_i$  – мощность (толщина)  $i$ -го грунта, м, залегающего в пределах глубины  $d$ ;  $n$  – количество грунтов, залегающих в пределах глубины  $d$ .

Как видно из формулы, расчетное сопротивление однородного грунта линейно возрастает с увеличением глубины  $d$ . Таким образом, для построения эпюры в пределах грунта с одинаковыми физико-механическими характеристиками достаточно вычислить  $R$  в двух его точках, расположенных на оси глубины  $d$ . При слоистом напластовании эпюра  $R$  на границах инженерно-геологических элементов будет иметь скачки, связанные с разными значениями их физико-механических характеристик (рис. 3).

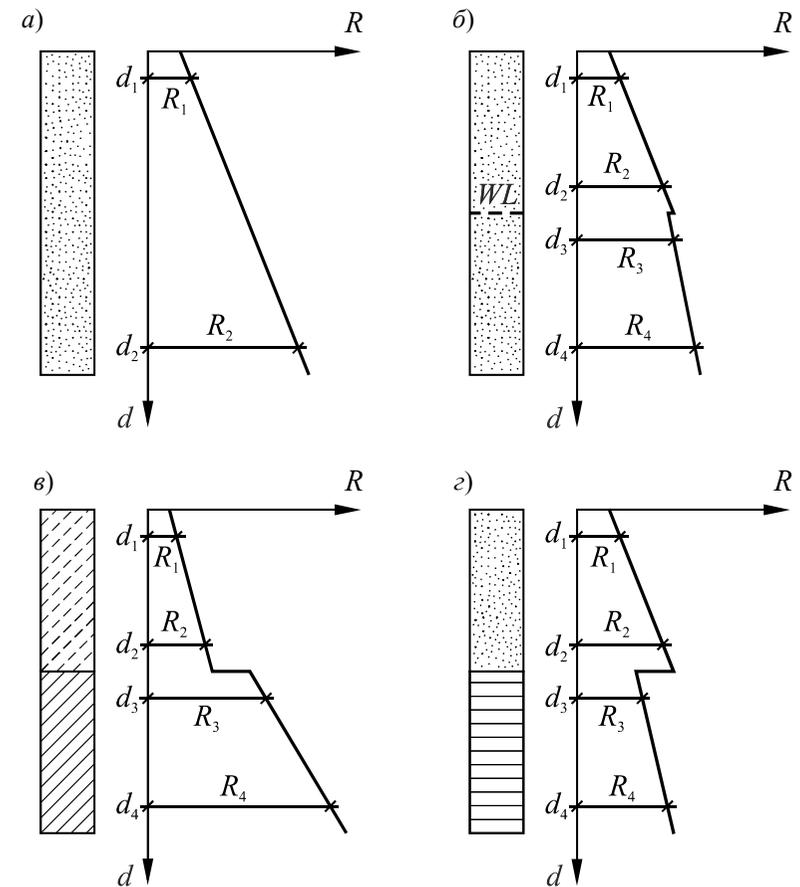


Рис. 3. Варианты эпюр расчетного сопротивления  $R$ : а – при однородном основании; б – при наличии уровня подземных вод; в – при слоистом основании; з – при наличии слабого подстилающего слоя

#### 1.4. Заключение об инженерно-геологических условиях строительной площадки

Оценка инженерно-геологических условий завершается кратким заключением, в котором:

- указывают географическое положение площадки, климатические условия, абсолютные высотные отметки рельефа ( $NL$ );
- указывают общую мощность вскрытой толщи (по глубинам буровых скважин);
- описывают геологическое строение площадки, перечисляя последовательно сверху вниз слагающие ее инженерно-геологические элементы и их свойства (консистенцию глинистых грунтов, плотность сложения и водонасыщенность песков, сжимаемость всех дисперсных грунтов);
- указывают мощности грунтовых слоев и особенности их залегания (изменение мощности по простиранию слоя, наличие линз, выклинивание слоев);
- отмечают глубины залегания поверхности водоносного ( $WL$ ) и водоупорного слоев (к водоупорным грунтам относят глины и суглинки с  $k_{\phi} < 0,01$  мм/сут и  $I_L < 0,25$ );
- отмечают особенности грунтов, которые следует учесть при проектировании и строительстве (пучинистые и тиксотропные свойства грунтов; наличие илов или заторфованных грунтов; содержание в грунтах валунов и линз песка, которые могут создать трудности при заглублении свай).

#### 2. Оценка конструктивных особенностей сооружения

В этом разделе дают краткую характеристику сооружения (его отсеков), приводя следующие сведения:

- назначение (жилое, общественное или промышленное);
- размеры в плане (в осях);
- этажность и высоту этажей;
- полную высоту от планировочной отметки до карниза;
- технологические и эксплуатационные требования (технологическое оборудование; основные габариты и глубины заложения подвалов, лотков, каналов, бортовых и других заглубленных помещений);

- описание конструктивной системы сооружения\*;
- материалы и размеры сечений вертикальных несущих конструкций;
- предельные деформации основания сооружения (или отдельных его частей) по прил. 4 СНиП 2.02.01: осадку  $s_u$  и относительную разность осадок  $(\Delta s / L)_u$ ;
- особенности передаваемых на фундаменты нагрузок.

Выполнив анализ инженерно-геологических условий площадки строительства и оценку конструктивных особенностей сооружения, осуществляют его планово-высотную привязку к местности. На инженерно-геологической карте в масштабе намечают пунктиром пятно застройки, располагая сооружение так, чтобы оно в меньшей степени испытывало возможные неравномерные деформации.

Назначают отметку планировки поверхности ( $DL$ ). Совмещают разрезы сооружения с инженерно-геологическими разрезами.

Учитывая возможные неравномерные деформации сооружения, дают предварительные рекомендации по устройству деформационных швов [2].

Приводят предварительные указания по гидроизоляции и защите заглубленных частей сооружения от подземных вод [1, 31].

Дают предложения о возможных типах фундаментов. Для каждого намечаемого типа фундамента указывают несущий слой грунта.

#### 3. Выбор основного типа фундамента сооружения

Основной тип фундамента (и его основания) выбирают в результате технико-экономического сравнения, выполняемого на стадии вариантного проектирования. С этой целью разрабатывают варианты проектных решений фундамента под наиболее характерную и нагруженную конструкцию сооружения.

На стадии выбора типа фундамента рассматривают не менее трех вариантов, в числе которых обязательно должны быть фундамент на естественном основании и свайный. Если в качестве третьего варианта рассматривают фундамент на искусственном основании (песчаной подушке, закрепленном грунте и т. п.), то его проектируют таким

\* Архитектура: учебник / Т. Г. Маклакова, С. М. Нанасова, В. Г. Шарапенко, А. Е. Балакина. М.: Изд-во АСВ, 2004. С. 69–72, 275–285.

образом, чтобы получить все необходимые размеры для корректного технико-экономического сравнения с другими вариантами.

При технико-экономическом сравнении вариантов оценивают в первую очередь осадки и прямые затраты на возведение фундаментов.

Затраты на возведение фундаментов определяют по федеральным единичным расценкам (прил. 2) в зависимости от объемов работ. Подсчеты объемов работ сопровождаются схемами, а их результаты сводят в таблицы. При вычислении объемов земляных работ крутизну откосов выемок под фундаменты определяют по прил. 3 СНиП 3.02.01.

Разработка вариантов – важнейший этап курсового проекта, к которому необходимо подойти с особым вниманием. *Прежде чем приступить к конструированию и расчету фундаментов, необходимо четко представить себе конструктивное решение сооружения, особенно в местах перехода надземной части здания в подземную, а также узлы примыкания разных по назначению и нагрузкам частей сооружения.* С этой целью рекомендуется тщательно ознакомиться с соответствующей литературой [2, 3, 4].

Перед началом разработки вариантов фундамента следует определить абсолютные и относительные высотные отметки планировки, пола первого этажа, пола подвала и обреза фундамента. При этом следует различать высотную отметку уровня чистого пола первого этажа и отметку планировки поверхности (*DL*). За относительную отметку 0,000 обычно принимают чистый пол первого этажа.

*В курсовом проекте рекомендуется использовать типовые конструкции фундаментов и их элементов, используя серии и ГОСТы.* Выбор фундаментных конструкций по номограммам или ключам серий в зависимости от действующих нагрузок позволит исключить прочностные расчеты.

Конструкции отдельных фундаментов под колонны и ленточных фундаментов под стены представлены на рис. 4–7.

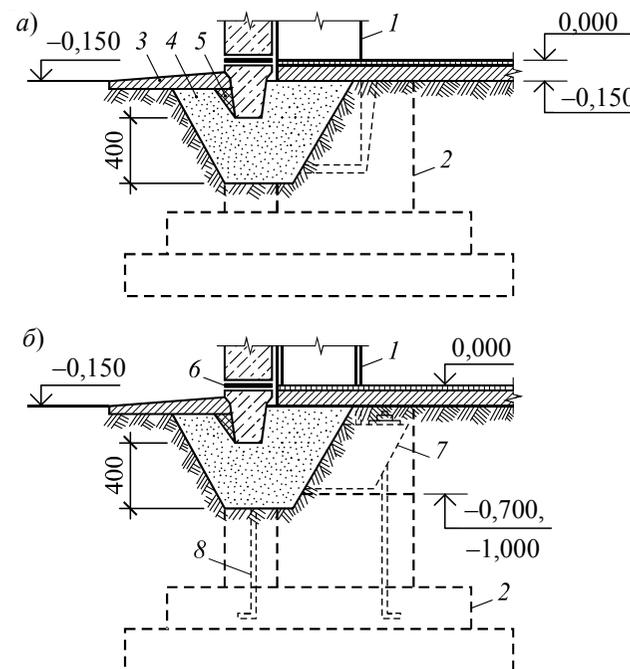


Рис. 4. Отдельные фундаменты под железобетонную (а) и стальную (б) колонны постоянного сечения для зданий без подвалов: 1 – колонна; 2 – фундамент; 3 – отсыпка; 4 – шлак; 5 – глиняный замок; 6 – противокapиллярная гидроизоляция; 7 – траверса; 8 – анкерный болт

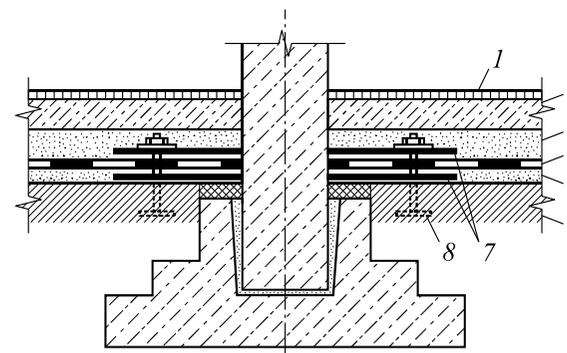


Рис. 5. Конструкция гидроизоляции около отдельного фундамента под железобетонную колонну: 1 – покрытие пола; 2 – конструкция пола подвала; 3 – защитная цементная стяжка, 20 мм; 4 – рулонная гидроизоляция; 5 – выравнивающая цементная стяжка, 30 мм; 6 – бетонная подготовка; 7 – стальной лист; 8 – анкерный болт

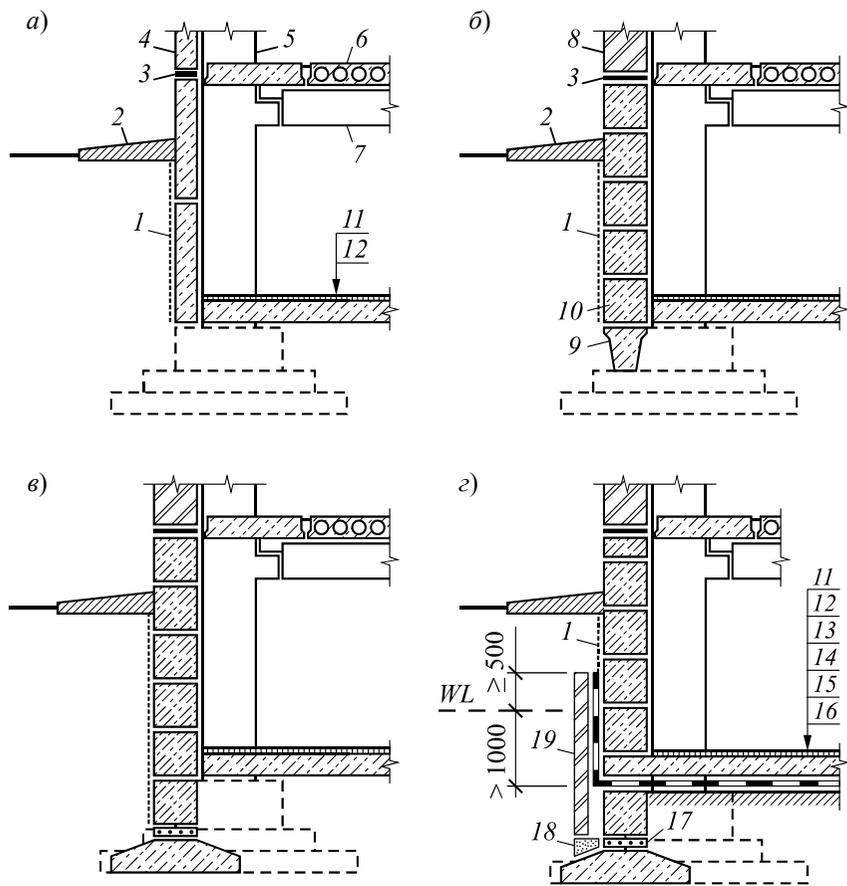


Рис. 6. Отдельные фундаменты под железобетонные колонны постоянного сечения для зданий с подвалами:

*а-в* – при уровне подземных вод ниже подошвы фундамента; *г* – при высоком уровне подземных вод; 1 – окрасочная гидроизоляция; 2 – отсodka; 3 – противокапиллярная гидроизоляция; 4 – стенная панель; 5 – колонна; 6 – плита перекрытия; 7 – ригель; 8 – кирпичная стена; 9 – фундаментная балка; 10 – фундаментный блок; 11 – покрытие пола; 12 – железобетонная плита; 13 – защитная цементная стяжка, 30 мм; 14 – рулонная гидроизоляция; 15 – выравнивающая цементная стяжка, 20 мм; 16 – бетонная подготовка, 100 мм; 17 – армированный пояс; 18 – набетонка; 19 – защитная стенка из полнотелого глиняного кирпича на цементном растворе, 120 мм

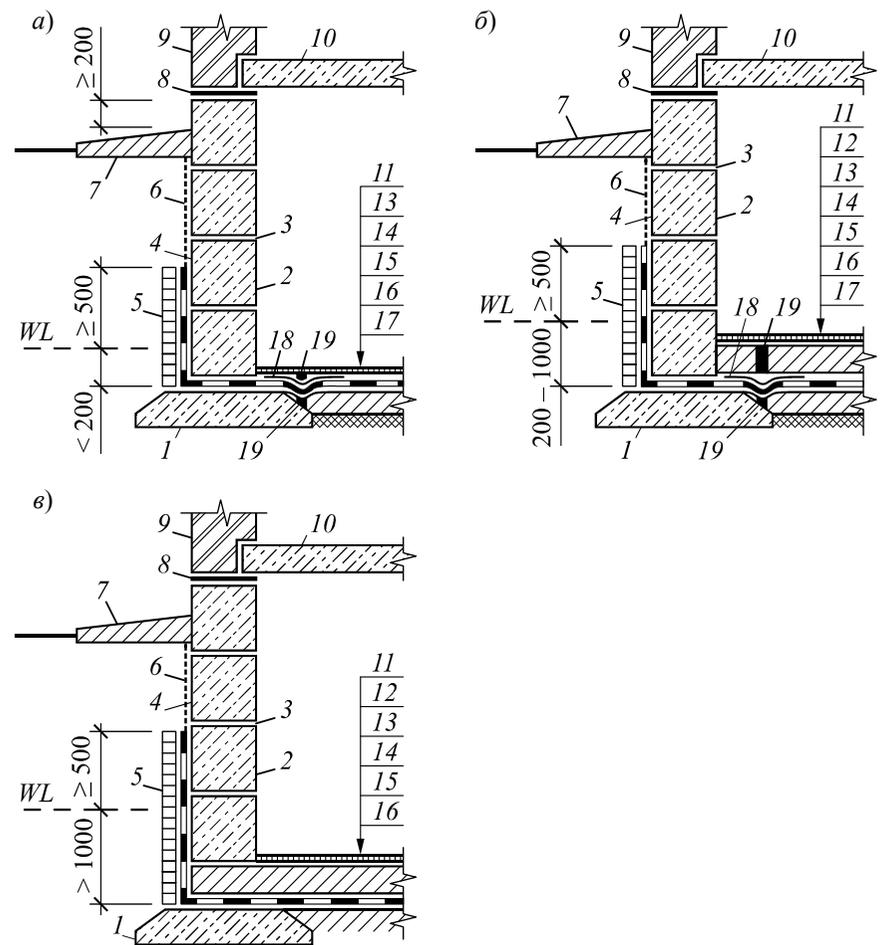


Рис. 7. Ленточные фундаменты под стены для зданий с подвалами при различном уровне подземных вод:

1 – фундаментная плита; 2 – фундаментный блок; 3 – цементный раствор, 20 мм; 4 – выравнивающая затирка цементным раствором; 5 – защитная стенка из полнотелого глиняного кирпича на цементном растворе, 120 мм; 6 – окраска горячим битумом за два раза; 7 – отсodka; 8 – противокапиллярная гидроизоляция; 9 – стена; 10 – надподвальное перекрытие; 11 – покрытие пола подвала; 12 – железобетонная плита; 13 – защитная стяжка из цементного раствора, 30 мм; 14 – рулонная гидроизоляция; 15 – выравнивающая стяжка из цементного раствора, 20 мм; 16 – бетонная подготовка, 100 мм; 17 – жирная глина, 200...300 мм; 18 – армирующая сетка из стекловолокна; 19 – эластичный наполнитель деформационного шва

### 3.1. Фундамент на естественном основании

1. Определяют глубину заложения подошвы фундамента  $d$  относительно отметки планировки  $DL$  по рекомендациям п. 2.25 СНиП 2.02.01.

1.1. Подошву фундамента заглубляют в несущий слой не менее чем на 0,5 м. В качестве несущего слоя не используют слабые глинистые грунты (т. е. глинистые грунты с  $E \leq 5$  МПа и  $S_r \geq 0,8$ ), рыхлые пески, насыпные и заторфованные грунты, илы, а также грунты с  $R \leq 100$  кПа.

1.2. По возможности подошву фундамента располагают выше уровня подземных вод  $WL$ , чтобы сократить или исключить работы по водоотливу при строительстве, а также избежать воздействия гидростатического напора подземных вод на конструкцию пола подвала при эксплуатации сооружения.

1.3. С целью недопущения морозного пучения грунтов основания глубину заложения подошвы наружных фундаментов выбирают согласно указаниям п. 2.29 СНиП 2.02.01. Для этого вычисляют расчетную глубину сезонного промерзания грунта, м:

$$d_f = d_{fn} k_h,$$

где  $d_{fn}$  – нормативная глубина промерзания, м;  $k_h$  – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения, принимаемый для наружных фундаментов отапливаемых сооружений по табл. 1 СНиП 2.02.01, для наружных и внутренних фундаментов неотапливаемых сооружений  $k_h = 1,1$ , кроме районов с отрицательной среднегодовой температурой.

Глубину заложения подошвы фундамента  $d$  принимают не менее  $d_f$  в глинистых грунтах, а также в песках мелких и пылеватых при  $d_w \leq d_f + 2$  м (здесь  $d_w$  – глубина уровня подземных вод  $WL$  от уровня планировки  $DL$ ).

1.4. Учитывают конструктивные особенности сооружения (см. прил. 3). Близко располагаемые фундаменты закладывают на одном уровне. При необходимости заложения соседних фундаментов на разных отметках их допустимую разность  $\Delta h$ , м, определяют исходя из условия

$$\Delta h = r \left( \operatorname{tg} \varphi_I + \frac{c_I}{p} \right),$$

где  $r$  – расстояние между фундаментами в свету, м;  $\varphi_I$  и  $c_I$  – расчетные значения угла внутреннего трения, град, и удельного сцепления, кПа;  $p$  – среднее давление по подошве вышерасположенного фундамента от нагрузок для расчета основания по первому предельному состоянию (по несущей способности), кПа.

2. Вычисляют расчетное сопротивление грунта  $R$ , кПа, в уровне подошвы фундамента при  $b = 1$  м:

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

причем

$$d_1 = h_s + h_{cf} \frac{\gamma_{cf}}{\gamma'_{II}},$$

где  $d_1$  – приведенная глубина заложения наружных и внутренних фундаментов со стороны подвала, м (рис. 8), если  $d_1 > d$  (где  $d$  – глубина заложения фундамента от уровня планировки), в формуле принимают  $d_1 = d$  и  $d_b = 0$ ;  $d_b$  – глубина подвала, отсчитываемая от уровня планировки до пола подвала, м. Для сооружений с подвалом глубиной свыше 2 м в формуле принимают  $d_b = 2$  м. Для сооружений без подвала третье слагаемое в квадратных скобках отсутствует, так как  $d_b = 0$ , а  $d_1 = d$ ;  $h_s$  – толщина слоя грунта выше подошвы фундамента со стороны подвала, м;  $h_{cf}$  – толщина конструкции пола подвала, м;  $\gamma_{cf}$  – расчетное значение удельного веса конструкции пола подвала, кН/м<sup>3</sup> (удельный вес железобетона 25,0 кН/м<sup>3</sup>).

В данном пункте для вычисления  $R$  используют расчетные значения  $\gamma_{II}$ ,  $c_{II}$  и  $\varphi_{II}$  грунта, залегающего на глубине  $d$ .

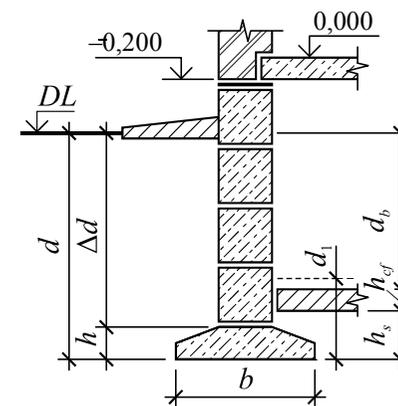


Рис. 8. Геометрические характеристики фундамента с подвалом

3. Определяют ориентировочную площадь подошвы фундамента  $A$ , м<sup>2</sup>, из условия, при котором среднее давление  $p$  на основание не должно превышать расчетного сопротивления грунта  $R$ :

$$A = \frac{N_{\text{оп}}}{R - \gamma_m d},$$

где  $N_{\text{оп}}$  – расчетное значение вертикальной нагрузки на обрез фундамента для расчета по второму предельному состоянию, кН (для ленточных фундамента – на 1 пог. м);  $R$  – расчетное сопротивление грунта, кПа, на глубине  $d$  при  $b = 1$  м;  $\gamma_m$  – среднее значение удельного веса материала фундамента и грунта на его ступенях, принимаемое для фундамента сооружений без подвала равным 20 кН/м<sup>3</sup>, а для сооружений с подвалом – 17 кН/м<sup>3</sup>.

4. Проектируют конструкцию фундамента. Назначают размеры отдельных частей фундамента, учитывая размеры и особенности надземных (надфундаментных) конструкций.

Рекомендуется проектировать железобетонные фундамента под колонны отдельными (столбчатыми) монолитными, а под стены – ленточными сборными, сборно-монолитными или монолитными.

Типовые конструкции фундамента и их элементов выбирают по сериям (типовым проектам) [38–40], справочникам [28, 35] и ГОСТам [20, 21, 27] в зависимости от требуемой глубины заложения и площади подошвы.

Размеры подошвы фундамента назначают исходя из ориентировочной площади  $A$ .

Ширину подошвы  $b$  ленточных фундамента под стены назначают на 1 пог. м их длины, руководствуясь ГОСТ 13580.

Форму подошву отдельного фундамента под колонну при центральной нагрузке обычно принимают квадратной, а при внецентренной – прямоугольной, с развитой частью в плоскости действия изгибающего момента. При этом отношение ширины подошвы  $b$  к длине  $l$  назначают в пределах 0,5...0,85.

При конструировании отдельных фундамента размеры в плане ступеней, подколонника ( $b_{cf}$  и  $l_{cf}$ ), так же как и подошвы ( $b$  и  $l$ ), принимают кратными 300 мм. Высоту ступеней ( $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$ ) назначают кратно 150 мм, а подколонника  $H_{cf}$  и фундамента  $h_f$  кратно 300 мм. Назначая ширину подколонника, следует учитывать номенклатуру длин фундаментных балок (см. ГОСТ 28737).

Фундаментные балки под навесные стены принимают по ГОСТ 28737. Фундаментные балки под самонесущие кирпичные стены выбирают по указанным в ГОСТ 28737 сериям в зависимости от шага колонн, высоты и толщины стены.

Определяют расчетные значения собственного веса фундамента  $N_{fl}$  и грунта на его ступенях  $N_{gfl}$  (для расчета по второму предельному состоянию).

5. Вычисляют расчетное сопротивление грунтового основания фундамента  $R$  с учетом принятой ширины подошвы  $b$ . В формуле используют расчетные значения характеристик грунтов  $\gamma_{II}$ ,  $\phi_{II}$  и  $c_{II}$  в пределах глубины  $b/2$ , отсчитываемой от подошвы фундамента. В случае залегания нескольких грунтов в пределах глубины  $b/2$  вычисляют средневзвешенные значения их характеристик. Для фундамента шириной  $b > 10$  м средневзвешенные значения характеристик  $\gamma_{II}$ ,  $\phi_{II}$  и  $c_{II}$  определяют в пределах глубины  $z = z_1 + 0,1b$  (здесь  $z_1 = 4$  м), а  $k_z = z_0 / b + 0,2$  (здесь  $z_0 = 8$  м).

6. Собирают нагрузки, передаваемые на основание (см. прил. 4).

7. Определяют давления по подошве фундамента (среднее  $p$ , максимальное  $p_{\text{max}}$  и минимальное  $p_{\text{min}}$ ), кПа:

$$p = \frac{N_{II}}{A}; p_{\text{max}} = \frac{N_{II}}{A} + \frac{M_{II}}{W}; p_{\text{min}} = \frac{N_{II}}{A} - \frac{M_{II}}{W},$$

где  $N_{II}$  и  $M_{II}$  – расчетные значения вертикальной нагрузки, кН, и изгибающего момента, кН · м, передаваемых подошвой фундамента на основание для расчета по второму предельному состоянию (для ленточных фундамента – на 1 пог. м);

Для отдельных фундамента при действии изгибающего момента в направлении большей стороны подошвы (длины  $l$ ) момент сопротивления вычисляют по формуле

$$W = \frac{b l^2}{6}.$$

Для ленточных фундамента определяют площадь и момент сопротивления на 1 пог. м длины:

$$A = bl; W = \frac{l b^2}{6}, \text{ где } l = 1 \text{ пог. м.}$$

Полученные значения давлений сопоставляют с расчетным сопротивлением грунта основания  $R$ :

$$p \leq R; p_{\text{max}} \leq 1,2R.$$

Для корректного сопоставления технико-экономических показателей разрабатываемых вариантов недогрузка фундамента не должна превышать 10 %. В противном случае необходимо изменить размеры фундамента.

Для фундаментов колонн зданий, оборудованных мостовыми кранами грузоподъемностью 75 т и выше, а также для фундаментов колонн открытых крановых эстакад при кранах грузоподъемностью свыше 15 т, для сооружений башенного типа (труб, домен), а также для всех видов сооружений при расчетном сопротивлении грунта основания  $R < 150$  кПа размеры фундаментов рекомендуется выбирать такими, чтобы эпюра давлений была трапецевидной, с отношением краевых давлений  $p_{\min}/p_{\max} \geq 0,25$ .

В остальных случаях для фундаментов зданий с мостовыми кранами допускается треугольная эпюра, но без отрыва подошвы фундамента от грунта.

Для фундаментов бескрановых зданий с подвесным транспортным оборудованием допускается треугольная эпюра давлений с нулевой ординатой на расстоянии не более  $1/4$  длины подошвы фундамента  $l$ .

При наличии в пределах сжимаемой толщи основания на глубине  $z$  от подошвы фундамента грунта, прочность которого меньше прочности вышележащих грунтов (эпюра  $R$  имеет вид, показанный на рис. 3,  $z$ ) следует проверить условие п. 2.48 СНиП 2.02.01:

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

где  $\sigma_{zg}$  и  $\sigma_{zp}$  – вертикальные напряжения на кровле грунта меньшей прочности (на глубине  $z$  от подошвы фундамента), кПа (см. пп. 9.2 и 9.3);  $R_z$  – расчетное сопротивление грунта меньшей прочности, кПа, в уровне его кровли (на глубине  $z$  от подошвы фундамента). Значение  $R_z$  вычисляют для условного фундамента с глубиной заложения  $d_z = d + z$  и шириной подошвы  $b_z$ .

Условный фундамент передает на кровлю грунта меньшей прочности давление интенсивностью  $\sigma_{zp}$  через подошву площадью  $A_z$ :

$$A_z = \frac{N}{\sigma_{zp}} = \frac{p_0 b l}{\sigma_{zp}},$$

где  $N$  – расчетное значение дополнительной вертикальной нагрузки на основание фундамента, кН;  $l$  и  $b$  – соответственно длина и ширина подошвы запроектированного фундамента, м.

Ширину условного фундамента вычисляют по формуле

$$b_z = \sqrt{A_z + \left(\frac{l-b}{2}\right)^2} - \frac{l-b}{2}.$$

Если сумма напряжений  $\sigma_{zg}$  и  $\sigma_{zp}$  больше расчетного сопротивления грунта  $R_z$ , следует увеличить размеры подошвы фундамента и повторить проверку.

8. Назначают класс бетона на сжатие (В15, В20 или В25). Для ленточного фундамента проверяют прочность его плитной части на продавливание стеной. Для отдельного фундамента проверяют прочность на продавливание колонной при  $(H_{cf} - h_d) < 0,5(l_{cf} - l_c)$  или подколонником при  $(H_{cf} - h_d) \geq 0,5(l_{cf} - l_c)$ . Для расчета фундамента на прочность используют СНиП 52-01, а также пособие [30] или справочник [28].

9. Рассчитывают значение конечной осадки  $s$  фундамента методом послойного суммирования (прил. 2 СНиП 2.02.01).

9.1. Разделяют грунтовое основание фундамента до нижней границы сжимаемой толщи (до глубины  $\sim 3b$ ) на элементарные *однородные слои* толщиной  $h_i \leq 0,4b$  (рис. 9).

9.2. Вычисляют значения вертикальных напряжений от собственного веса грунта  $\sigma_{zg}$  на границах элементарных слоев:

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zg,0} + \sum_{i=1}^n \gamma_{II,i} h_i + \gamma_w H_w,$$

где  $\sigma_{zg,0}$  – напряжения от собственного веса грунта в уровне подошвы фундамента  $FL$ , кПа;  $\gamma_{II,i}$  – расчетное значение удельного веса  $i$ -го элементарного слоя грунта, кН/м<sup>3</sup>;  $h_i$  – мощность  $i$ -го элементарного слоя грунта, м;  $n$  – количество элементарных слоев в пределах глубины  $z$ , отсчитываемой от подошвы фундамента;  $\gamma_w$  – значение удельного веса воды, равное 9,8 кН/м<sup>3</sup>;  $H_w$  – мощность водоносного горизонта, м.

Ниже уровня подземных вод  $WL$  для грунтов с  $k_\phi > 0,01$  мм/сут и  $I_L > 0,25$  (для глинистых грунтов) используют значение удельного веса грунта с учетом взвешивающего действия воды  $\gamma_{sb,i}$ .

Третье слагаемое  $\gamma_w H_w$  учитывают при вычислении напряжений  $\sigma_{zg}$  в водоупорном слое (в глинах и суглинках с  $k_\phi < 0,01$  мм/сут и  $I_L < 0,25$ ).

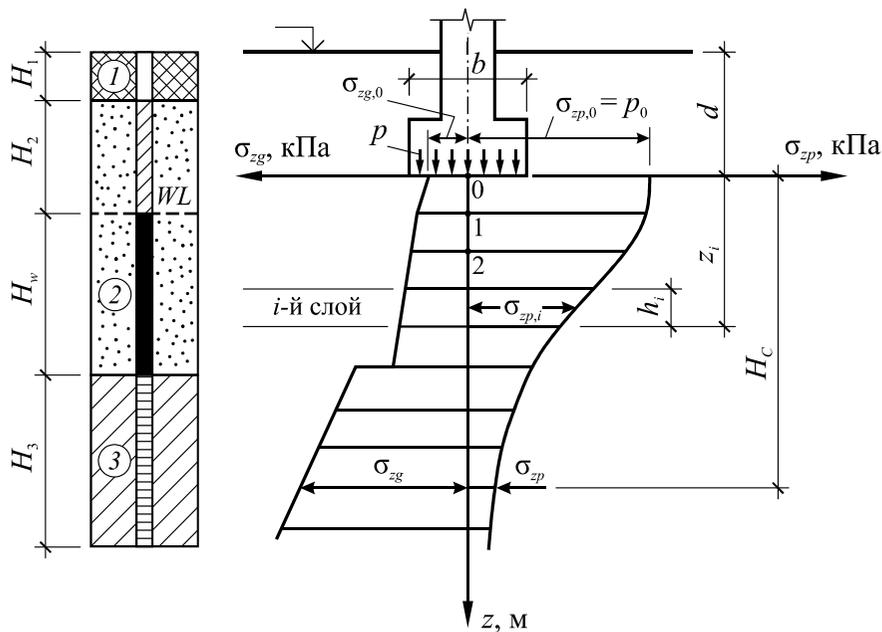


Рис. 9. Схема к расчету осадки фундамента мелкого заложения на линейно деформируемом основании (полупространстве) методом послойного суммирования

На рис. 10 показаны эпюры  $\sigma_{zg}(z)$  в зависимости от различных факторов.

При планировке срезкой эпюру  $\sigma_{zg}$  начинают строить от отметки планировки  $DL$ , а при отсутствии планировки или при планировке подсыпкой – от отметки поверхности природного рельефа  $NL$ .

9.3. Вычисляют значения вертикальных напряжений  $\sigma_{zp}$ , действующих на границах элементарных слоев по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от среднего дополнительного давления  $p_0$ :

$$\sigma_{zp} = \alpha p_0,$$

причем

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, определяемый по табл. 1 прил. 2 СНиП 2.02.01 в зависимости от относительной глубины  $\xi = 2z/b$  и соотношения размеров подошвы  $\eta = l/b$  или вычисляемый по строгой формуле:

$$\alpha = \frac{2}{\pi} \left[ \arctg \frac{bl}{2z\sqrt{b^2 + l^2 + 4z^2}} + \frac{2blz(b^2 + l^2 + 8z^2)}{(b^2 + 4z^2)(l^2 + 4z^2)\sqrt{b^2 + l^2 + 4z^2}} \right].$$

Первое слагаемое в скобках следует перевести из градусов в радианы, умножив его на  $\pi$  и поделив на  $180^\circ$ .

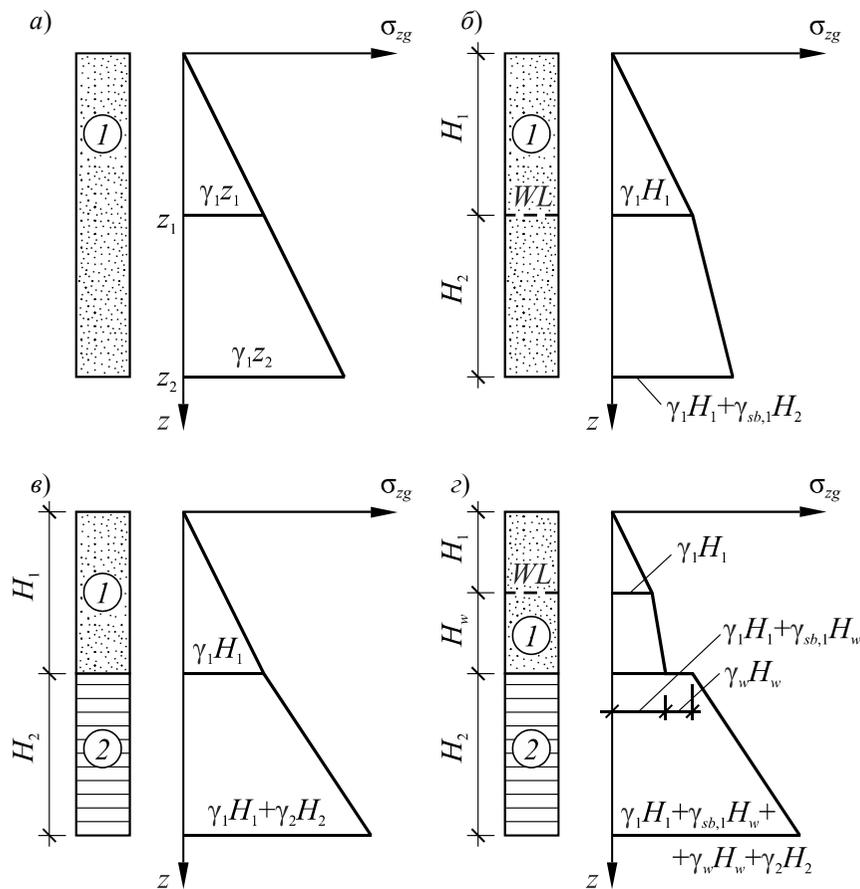


Рис. 10. Эпюры вертикальных напряжений в основании от собственного веса грунта: 1 – водопроницаемый грунт; 2 – водоупорный грунт;  $H_w$  – мощность водоносного горизонта

Результаты расчетов сводят в таблицу (табл. 3.1). Вычислив значения  $\sigma_{zp}$ , строят эпюру вертикальных сжимающих напряжений от давления  $p_0$ .

9.4. Определяют мощность сжимаемой толщи  $H_c$ . Нижняя граница сжимаемой толщи основания располагается на глубине  $z = H_c$ , отсчитываемой от подошвы фундамента, где выполняется условие

$$\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}$$

Если найденная по данному условию нижняя граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации  $E < 5$  МПа или такой слой залегает непосредственно ниже глубины  $z = H_c$ , то нижнюю границу сжимаемой толщи принимают на глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp} = 0,1 \sigma_{zg}$$

9.5. Вычисляют значения конечных (стабилизированных) осадок элементарных слоев,  $m$ , в пределах сжимаемой толщи:

$$s_i = \beta \frac{\sigma_{zp,i} h_i}{E_i}$$

где  $\beta = 0,8$ ;  $\sigma_{zp,i}$  – среднее значение дополнительного вертикального напряжения в  $i$ -м слое, равное полусумме напряжений  $\sigma_{zp}$  в уровне кровли и подошвы  $i$ -го слоя, кПа;  $E_i$  – модуль общей деформации  $i$ -го слоя грунта, кПа.

Таблица 3.1

Результаты расчета осадок элементарных слоев

Точка	$z$ , м	$\sigma_{zg}$ , кПа	$\eta$	$\xi$	$\alpha$	$\sigma_{zp}$ , кПа	Слой	$\sigma_{zp,i}$ , кПа	$h_i$ , м	$E_i$ , МПа	$s_i$ , мм
0	0	$\sigma_{zg,0}$		0	1,00	$p_0$	–	–	–	–	–
1							1				
2							2				
3							3				
...							...				
$n$							$n$				

9.6. Рассчитывают значение конечной (стабилизированной) осадки основания фундамента:

$$s = \sum_{i=1}^n s_i$$

где  $n$  – количество элементарных слоев в пределах сжимаемой толщи  $H_c$ .

Сравнивают расчетное значение осадки основания  $s$  с предельным значением  $s_u$ , регламентированным нормами:

$$s \leq s_u$$

Если условие не выполняется, увеличивают размеры подошвы фундамента и повторяют расчет.

Если при  $p = R$  осадка  $s < 0,4s_u$ , допускается повысить расчетное сопротивление грунта основания  $R$  в 1,2 раза (п. 2.47 СНиП 2.02.01). При этом увеличенное значение давления на основание не должно вызывать деформации основания более  $0,5s_u$  и превышать значение давления из условия расчета основания по несущей способности.

10. Вычисляют объемы работ и затраты на возведение фундамента, используя прил. 2.

### 3.2. Свайный фундамент

1. Выбирают глубину заложения подошвы ростверка  $d$ . Учитывают конструктивные особенности сооружения, как и при проектировании фундамента мелкого заложения на естественном основании.

Для исключения воздействия сил морозного пучения на подошву ростверка и боковые поверхности свай глубину заложения ростверка назначают с учетом указаний п. 2.29 СНиП 2.02.01. В противном случае рассчитывают свайный фундамент на воздействие сил морозного пучения.

2. Выбирают несущий слой грунта, тип сваи и ее габариты (длину и размеры поперечного сечения). Длину сваи назначают в зависимости от глубины залегания несущего слоя грунта и технологии заглубления сваи.

Сваи заглубляют с поверхности дна котлована, когда предусмотрены мероприятия, позволяющие обеспечить устойчивость копровых или буровых установок против опрокидывания или исключить их утопление. В противном случае сваи заглубляют с дневной поверхности или с отметки, позволяющей исключить аварийные ситуации.

Сваебойные установки, оборудованные подбабками или телескопическими мачтами [9], позволяют заглублять сваи ниже уровня стоянки. В случае их использования необходимо обеспечить соответствующую последовательность разработки котлована и устойчивость его откосов.

Концы свай заглубляют в крупнообломочные грунты, гравелистые и крупные пески, глинистые грунты с показателем текучести  $I_L \leq 0,1$  не менее чем на 0,5 м, а в другие дисперсные грунты – не менее чем на 1,0 м. Не допускается опирать нижние концы свай на рыхлые пески и глинистые грунты текучей консистенции. Не рекомендуется опирать сваи на глинистые грунты с  $0,6 < I_L \leq 1,0$  и пески пылеватые.

Типовые конструкции забивных свай принимают по ГОСТ 19804. Габариты (диаметры и длины) буровых и набивных свай назначают, учитывая физико-механические свойства грунтов и технические характеристики имеющегося оборудования [9].

3. Определяют несущую способность основания сваи  $F_d$  (несущую способность сваи «по грунту»), руководствуясь разделом 4 СНиП 2.02.03.

Для висячей сваи постоянного поперечного сечения несущую способность основания  $F_d$ , кН, вычисляют по формуле

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} R A + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i),$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи в грунте;  $R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа (рис. 11). Для свай, заглубляемых с вытеснением грунта, значение  $R$  определяют по таблице раздела 4 СНиП 2.02.03 в зависимости от глубины погружения нижнего конца сваи  $z_0$  и разновидности грунта (при опирании на глинистый грунт – в зависимости от показателя текучести  $I_L$ , а при опирании на песок – в зависимости от крупности его частиц и плотности сложения);  $A$  – площадь поперечного сечения острия сваи, м<sup>2</sup>;  $u$  – наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м;  $f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта по боковой поверхности сваи, кПа.

Для определения  $f_i$  грунтовую толщину, прорезаемую свайей, разделяют на однородные слои толщиной  $h_i$  не более 2 м. Значение  $f_i$  определяют по таблице раздела 4 СНиП 2.02.03 в зависимости от средней глубины расположения  $z_i$  и разновидности  $i$ -го слоя грунта (для

глинистого грунта – в зависимости от показателя текучести  $I_L$  и коэффициента пористости  $e$ , а для песка – в зависимости от крупности его частиц и плотности сложения). Сопротивление техногенных грунтов по боковой поверхности сваи допускается не учитывать;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;  $\gamma_{cR}$  и  $\gamma_{cf}$  – коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта  $R$  и  $f$  соответственно и принимаемые по указаниям разд. 4 СНиП 2.02.03.

Вычисляют расчетную нагрузку, кН, допускаемую на основные сваи:

$$N_a = \frac{F_d}{\gamma_k},$$

где  $F_d$  – несущая способность грунтового основания одиночной сваи, кН;  $\gamma_k$  – коэффициент надежности по грунту, зависящий от способа определения несущей способности сваи. Для расчетного способа  $\gamma_k = 1,4$  (см. раздел 4 СНиП 2.02.03).

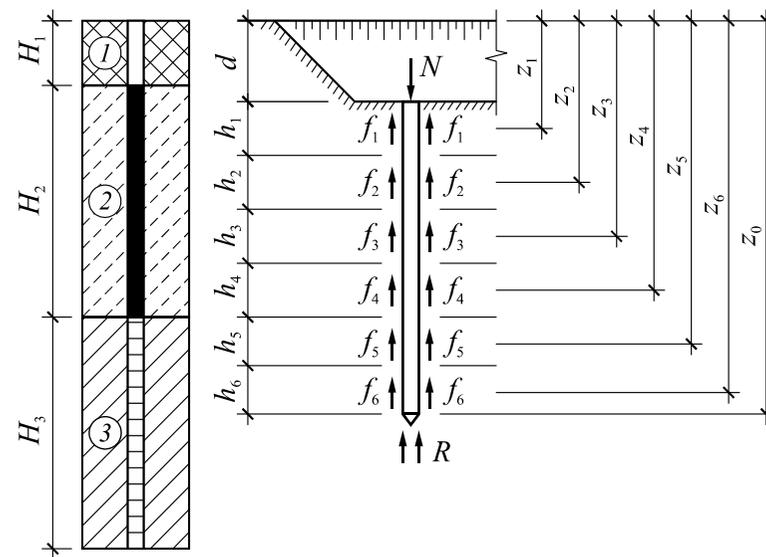


Рис. 11. Схема к расчету несущей способности основания сваи: 1 – техногенный грунт; 2 – супесь текучая; 3 – суглинок полутвердый

4. Рассчитывают условное сопротивление свайного основания:

$$R_p = \frac{N_a}{r^2},$$

где  $r$  – расстояние между сваями, м, выбираемое согласно указаниям п. 7.9 СНиП 2.02.03.

5. Вычисляют ориентировочную площадь подошвы ростверка, м<sup>2</sup>:

$$A = \frac{N_{01}}{R_p - \gamma_m \gamma_f d},$$

где  $N_{01}$  – расчетное значение вертикальной силы, передаваемой сооружением на обрез ростверка, кН;  $\gamma_m$  – среднее значение удельного веса материала ростверка и грунта на его ступенях, принимаемое для фундаментов сооружений без подвала равным 20 кН/м<sup>3</sup>, а для сооружений с подвалом – 17 кН/м<sup>3</sup>;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке для веса ростверка и грунта на нем, принимаемый равным 1,15.

6. Вычисляют ориентировочное значение нагрузки от веса ростверка  $N_{r1}$  и грунта  $N_{g1}$  на его ступенях (для расчета по первому предельному состоянию):

$$N_{r1} + N_{g1} = \gamma_m \gamma_f A d.$$

7. Определяют ориентировочное количество свай:

$$n = \frac{N_{01} + N_{r1} + N_{g1}}{N_a}.$$

Для учета изгибающего момента полученное количество свай увеличивают на 20 %.

8. Конструируют свайный фундамент, руководствуясь указаниями раздела 7 СНиП 2.02.03. Размещают сваи в кусте, определяют размеры ростверка в плане, назначают его высоту (не менее 450 мм).

Типовые конструкции ростверков свайных фундаментов выбирают, например, по серии 1.411.1-7 или по справочнику [28].

Вычисляют фактические значения нагрузок от веса ростверка  $N_{r1}$  и грунта на его ступенях  $N_{g1}$  для расчета по первому предельному состоянию, учитывая значения коэффициентов надежности по нагрузке  $\gamma_p$  указанные в СНиП 2.01.07.

9. Собирают нагрузки, передаваемые ростверком на свайное основание, аналогично тому, как это делают при сборе нагрузок на

основание фундамента мелкого заложения. При этом используют значения нагрузок и характеристик грунтов для расчета по первому предельному состоянию ( $\gamma_p, \varphi_p, c_p, N_{01}, N_{r1}, N_{g1}, Q_{01}, M_{01}$  и т. д.).

10. Вычисляют фактические нагрузки на сваи в ростверке (п. 3.11 СНиП 2.02.03):

$$N = \frac{N_{01} + N_{r1} + N_{g1}}{n} \pm \frac{M_1 y}{\sum y_i^2},$$

где  $n$  – количество свай в фундаменте;  $M_1$  – расчетное значение изгибающего момента (относительно главной центральной оси  $x$  плана свай), передаваемого ростверком на сваи, кН · м (см. прил. 4);  $y_i$  – расстояние от главной оси  $x$  плана свай до продольной оси каждой сваи, м;  $y$  – расстояние от главной оси  $x$  плана свай до продольной оси сваи, для которой вычисляют расчетную нагрузку, м.

Так, для схемы, приведенной на рис. 12, а

$$\sum y_i^2 = 2y_1^2 + 4y_2^2,$$

а для схемы на рис. 12, б

$$\sum y_i^2 = 4y_1^2 + 2y_2^2 + 4y_3^2.$$

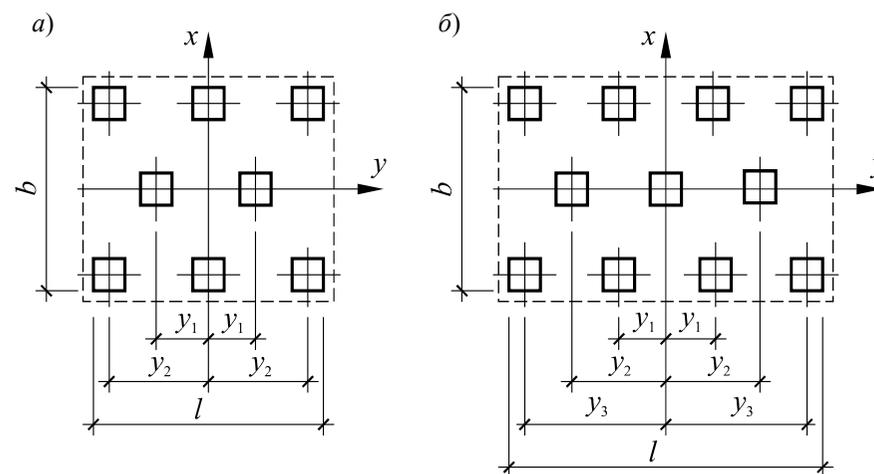


Рис. 12. Схемы к расчету нагрузок на сваи

Для наиболее нагруженной сваи проверяют выполнимость условия (п. 3.10 СНиП 2.02.03):

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k}$$

Если условие не выполняется, вносят изменения в конструкцию фундамента: выбирают сваи большей длины или поперечного сечения (если это позволяют грунтовые условия и технические характеристики оборудования для свайных работ), увеличивают количество свай или корректируют расположение свай в плане, размещая их с большим шагом в направлении действия изгибающего момента.

11. Проверяют прочность железобетонного ростверка на продавливание колонной и угловой свай, используя СНиП 52-01, а также пособие [29] или справочник [28].

12. Рассчитывают осадку свайного фундамента в соответствии с указаниями раздела 6 СНиП 2.02.03. В этом случае фундамент из свай рассматривают как условный фундамент на естественном основании, включающий в себя сваи, объединенные ростверком, и защемленный в межсвайном пространстве грунт.

Для расчета осадки определяют габариты условного фундамента (рис. 13), которые ограничены:

- снизу – плоскостью АБ, проходящей через нижние концы свай;
- с боков – вертикальными плоскостями АВ и БГ, отстоящими от наружных граней крайних рядов вертикальных свай на расстоянии  $a$ , но не более  $2d$  (здесь  $d$  – диаметр или сторона поперечного сечения сваи) в случаях, когда под нижними концами свай залегают глинистые грунты с показателем текучести  $I_L > 0,6$ ;
- сверху – поверхностью планировки грунта ВГ.

Расстояние от наружных граней крайних рядов вертикальных свай до вертикальных граней условного фундамента вычисляют по формуле

$$a = L \operatorname{tg} \alpha,$$

причем

$$\alpha = \frac{\varphi_{\Pi, m}}{4}; \quad \varphi_{\Pi, m} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{\Pi, i} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}; \quad \sum_{i=1}^n l_i = L,$$

где  $L$  – длина сваи, м;  $\varphi_{\Pi, m}$  – средневзвешенное расчетное значение угла внутреннего трения грунтов в пределах длины сваи  $L$ ;  $\varphi_{\Pi, i}$  – расчетное значение угла внутреннего трения  $i$ -го слоя грунта, прорезаемого свайей;  $l_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, прорезаемого свайей;  $n$  – количество слоев грунтов, прорезаемых свайей.

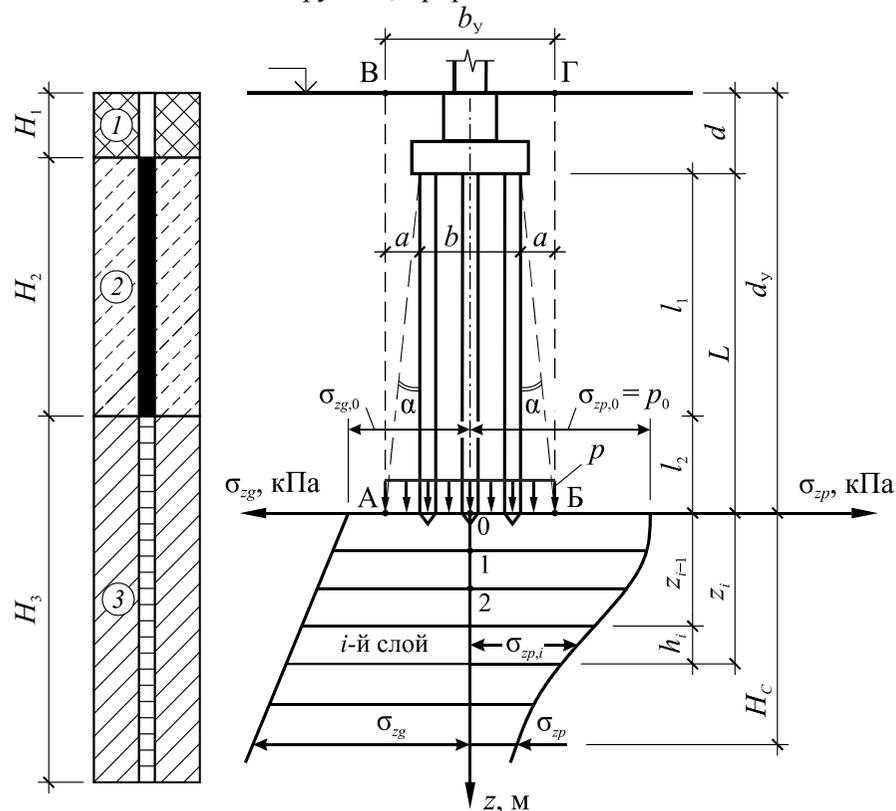


Рис. 13. Схема к расчету осадки свайного фундамента как условного фундамента на линейно деформируемом основании (полупространстве) методом послойного суммирования

Размеры подошвы условного фундамента:

$$b_y = b + 2a;$$

$$l_y = l + 2a,$$

где  $b$  и  $l$  – размеры в пределах внешних граней крайних свай, м (см. рис. 12).

Определив размеры условного фундамента, вычисляют среднее значение его давления на основание:

$$p = \frac{N_{\text{II}}}{A_y} = \frac{N_{0\text{II}} + N_{f\text{II}} + N_{\text{ggII}}}{b_y l_y},$$

где  $N_{\text{II}}$  – расчетное значение вертикальной нагрузки на основание условного фундамента, кН;  $A_y$  – площадь подошвы условного фундамента, м<sup>2</sup>;  $N_{0\text{II}}$  – расчетное значение вертикальной нагрузки на обрез свайного фундамента, кН;  $N_{f\text{II}}$  – расчетное значение веса свайного фундамента (веса ростверка и свай), кН;  $N_{\text{ggII}}$  – расчетное значение веса грунта в объеме условного фундамента, кН;  $b_y$  и  $l_y$  – ширина и длина подошвы условного фундамента, м.

Полученное значение среднего давления сопоставляют с расчетным сопротивлением грунта основания  $R$ :

$$p \leq R,$$

где  $R$  – расчетное сопротивление грунта на глубине заложения подошвы условного фундамента  $d_y$  при ширине  $b_y$ .

Осадку условного фундамента вычисляют от дополнительного давления по его подошве  $p_0$  аналогично расчету осадки фундамента на естественном основании. Результаты вычислений сводят в таблицу (см. табл. 3.1).

Расчитанное значение осадки  $s$  сравнивают с предельным  $s_u$ , регламентированным нормами. При необходимости вносят изменения в конструкцию фундамента.

13. Определяют объемы работ и затраты на строительство свайного фундамента.

### 3.3. Фундамент на песчаной подушке

К простейшим видам искусственных оснований относятся песчаные или гравийные подушки. Применение подушек способствует снижению и выравниванию осадок сооружений и более быстрому их затуханию, а также уменьшению глубины заложения и объема фундаментов. Их целесообразно использовать, когда основание с поверхности сложено грунтами, непригодными в качестве естественного основания. Используют опертые подушки для полной замены непригодного грунта или висячие – для частичной замены слабого грунта.

Последние применяют, когда мощность слабого грунта достаточно велика. В этом случае подушка позволяет уменьшить давление на слабый грунт.

Рассмотрим последовательность проектирования фундамента мелкого заложения на искусственном основании в виде песчаной подушки. Особенность проектирования связана с определением размеров искусственного основания и учетом его физико-механических свойств. В остальных расчетах аналогичны выполняемым для фундаментов на естественном основании.

1. Назначают разновидность песка и его плотность сложения в теле подушки. Обычно используют песок средней крупности, крупный или гравелистый. Удельный вес скелета песка  $\gamma_d$  в теле подушки должен быть не менее 16,5 кН/м<sup>3</sup>. Задав  $\gamma_d$ , вычисляют коэффициент пористости песка  $e$ , учитывая, что удельный вес его частиц  $\gamma_s = 26,5 \dots 26,7$  кН/м<sup>3</sup>:

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}.$$

В зависимости от разновидности песка и его коэффициента пористости по табл. 1 прил. 1 СНИП 2.02.01 принимают нормативное значение модуля деформации  $E$ , а по табл. 2 прил. 3 СНИП 2.02.01 – значение расчетного сопротивления  $R_0$ .

2. Пески средней крупности, крупные или гравелистые не обладают пучинистыми свойствами. Поэтому глубину заложения подошвы фундамента  $d$  выбирают, учитывая только конструктивные особенности сооружения.

3. Определяют предварительную площадь подошвы фундамента  $A$ , м<sup>2</sup>, исходя из принятого значения  $R_0$ :

$$A = \frac{N_{0\text{II}}}{R_0 - \gamma_m d}.$$

4. Конструируют фундамент или выбирают типовое решение.

5. Вычисляют расчетное сопротивление  $R$ , кПа, грунта искусственного основания с учетом фактической ширины подошвы  $b$ , м, и глубины ее заложения  $d$ , м:

- при  $d \leq 2$  м

$$R = R_0 \left[ 1 + k_1 \left( \frac{b - b_0}{b_0} \right) \right] \frac{d + d_0}{2d_0};$$

- при  $d > 2$  м

$$R = R_0 \left[ 1 + k_1 \left( \frac{b - b_0}{b_0} \right) \right] + k_2 \gamma'_{II} (d - d_0),$$

где  $b$  и  $d$  – соответственно ширина и глубина заложения проектируемого фундамента, м;  $b_0 = 1$  м и  $d_0 = 2$  м – соответственно ширина и глубина заложения фундамента, м, которые соответствуют значению  $R_0$ ;  $\gamma'_{II}$  – расчетное значение удельного веса грунта, расположенного выше подошвы фундамента, кН/м<sup>3</sup>;  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, значения которых зависят от разновидности грунта ( $k_1 = 0,125$ ;  $k_2 = 0,25$  – для крупнообломочных и песчаных грунтов, кроме пылеватых песков).

Для сооружений с подвалом шириной  $B \leq 20$  м и глубиной  $d_b \geq 2$  м учитываемую в расчете глубину заложения наружных и внутренних фундаментов принимают равной:  $d = d_1 + 2$  м, здесь  $d_1$  – приведенная глубина заложения фундамента со стороны подвала. При  $B > 20$  м принимают  $d = d_1$ .

6. Собирают нагрузки, передаваемые подошвой фундамента на искусственное основание (песчаную подушку), как и при проектировании фундамента на естественном основании.

7. Определяют давление по подошве фундамента  $p$  и сравнивают его с расчетным сопротивлением  $R$ .

8. Назначают толщину подушки  $h_n$ . В первом приближении принимают  $h_n = 1,0$  м. Для висячих подушек проверяют выполнение условия п. 2.48 СНиП 2.02.01:

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

где  $\sigma_{zg}$  и  $\sigma_{zp}$  – вертикальные напряжения на уровне подошвы подушки, кПа (см. рис. 14);  $R_z$  – расчетное сопротивление грунта природного сложения на уровне подошвы подушки (на глубине  $z = h_n$  от подошвы фундамента), кПа. Значение  $R_z$  вычисляют для условного фундамента с глубиной заложения  $d_z = d + h_n$  и шириной подошвы  $b_z$ .

Условный фундамент передает на кровлю подстилающего грунта давление интенсивностью  $\sigma_{zp}$  через подошву площадью  $A_z$ :

$$A_z = \frac{p_0 b l}{\sigma_{zp}}.$$

Ширина условного фундамента  $b_z$ :

$$b_z = \sqrt{A_z + \left( \frac{l - b}{2} \right)^2} - \frac{l - b}{2},$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно длина и ширина подошвы запроектированного фундамента, м.

Если сумма напряжений  $\sigma_{zg}$  и  $\sigma_{zp}$  больше расчетного сопротивления грунта  $R_z$ , то увеличивают размеры подошвы фундамента или толщину подушки и производят проверку заново.

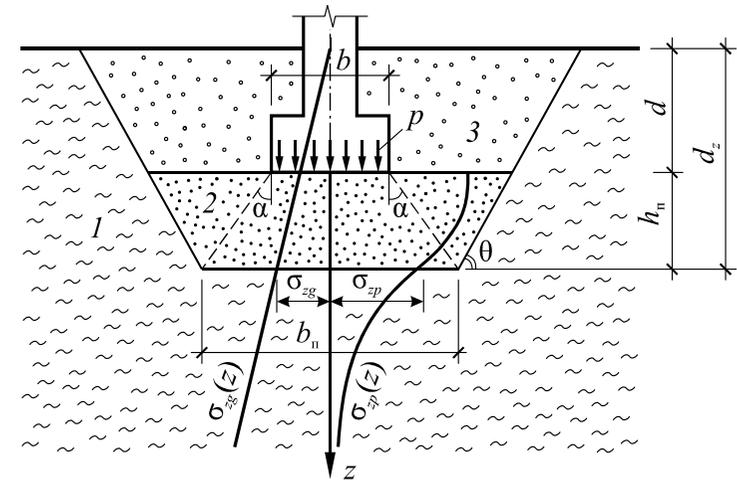


Рис. 14. Схема к проверке давления на слабый подстилающий слой:  
 $\sigma_{zg}(z)$  – эпюра вертикальных напряжений от собственного веса грунта;  
 $\sigma_{zp}(z)$  – эпюра вертикальных напряжений от дополнительного давления  $p_0$ ;  
 1 – слабый грунт; 2 – грунт подушки; 3 – грунт засыпки

Исходя из условий производства работ, подушки под фундаменты устраивают сплошными (в общем котловане) или отдельными под каждый фундамент.

Ширину песчаной подушки  $b_n$  на отметке ее подошвы вычисляют по формуле

$$b_n = b + 2h_n \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол распределения напряжений в теле подушки, который составляет 30...40°.

9. Проверяют прочность плитной части фундамента на продавливание, как и при проектировании фундамента мелкого заложения на естественном основании.

10. Осадку фундамента на песчаной подушке рассчитывают так же, как и осадку фундамента на естественном основании. Для расчетов модуль деформации песка подушки принимают по табл. 1 прил. 1 СНиП 2.02.01.

11. Оценивают объемы работ и затраты по возведению фундамента на песчаной подушке.

#### 4. Конструирование и расчет фундаментов сооружения

После выбора основного типа фундамента сооружения проектируют остальные фундаменты, обозначенные в задании (на плане сооружения) цифрами.

*Определение деформаций основания.* Помимо вычисления абсолютных значений осадок  $s$ , рассчитывают их относительные разности  $\Delta s/L$ , сравнивая с предельными значениями  $(\Delta s/L)_u$ . Здесь  $\Delta s$  – разность осадок двух фундаментов, расположенных на расстоянии  $L$  друг от друга.

Осадки близкорасположенных фундаментов с учетом их взаимного влияния вычисляют, используя метод угловых точек и указания п. 3 и 4 прил. 2 СНиП 2.02.01.

Если фундаменты запроектированы так, что  $s \leq s_u$  и  $\Delta s/L \leq (\Delta s/L)_u$ , то нормальная эксплуатация сооружения обеспечена.

*Определение несущей способности основания.* Расчет оснований по первой группе предельных состояний (по прочности и устойчивости) осуществляют, если на основание действуют значительные горизонтальные нагрузки (в том числе сейсмические), сооружение расположено на откосе или вблизи него, основание сложено скальными или медленно уплотняющимися водонасыщенными глинистыми породами (п. 2.3 СНиП 2.02.01) и в некоторых других случаях.

В курсовом проекте (в учебных целях) по первому предельному состоянию рассчитывают наиболее нагруженный фундамент на естественном основании. Если он не выбран в качестве основного типа фундамента сооружения, то этот расчет приводят в подразделе 3.1 курсового проекта. Расчет выполняют для проверки условия п. 2.58 СНиП 2.02.01:

$$N_I \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} N_u,$$

где  $N_I$  – равнодействующая вертикальных нагрузок на основание (для расчета по первому предельному состоянию), кН;  $N_u$  – вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания, кН;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы ( $\gamma_c = 1,0$  – для песков, кроме пылеватых;  $\gamma_c = 0,9$  – для песков пылеватых, а также глинистых грунтов в стабилизированном состоянии);  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10 соответственно для сооружений I, II и III уровней ответственности.

Если фундамент имеет плоскую подошву, основание сложено дисперсными грунтами в стабилизированном состоянии и грунты основания однородны в пределах глубины, равной ширине подошвы  $b$  или более (отсчитываемой от подошвы фундамента), вертикальную составляющую силы предельного сопротивления основания определяют по формуле:

$$N_u = b' l' (N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_I + N_q \xi_q d \gamma'_I + N_c \xi_c c_I),$$

причем

$$b' = b - 2e_b; \quad l' = l - 2e_l;$$

$$\xi_\gamma = 1 - \frac{0,25}{\eta}; \quad \xi_q = 1 + \frac{1,5}{\eta}; \quad \xi_c = 1 + \frac{0,3}{\eta}; \quad \eta = \frac{l'}{b'},$$

где  $b'$  и  $l'$  – соответственно приведенные ширина и длина подошвы фундамента, м (рис. 15);  $b$  и  $l$  – соответственно ширина и длина подошвы фундамента, м;  $e_b$  и  $e_l$  – соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующей нагрузок в направлении поперечной и продольной осей фундамента, м;  $N_\gamma$ ,  $N_q$  и  $N_c$  – безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по табл. 7 СНиП 2.02.01 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта  $\varphi_1$  и угла наклона к вертикали  $\delta$  равнодействующей внешней нагрузки на основание  $F$  в уровне подошвы фундамента;  $\xi_\gamma$ ,  $\xi_q$  и  $\xi_c$  – коэффициенты формы фундамента, зависящие от соотношения сторон  $\eta$ . При соотношении сторон фундамента  $\eta > 5$  фундамент следует рассматривать как ленточный и коэффициенты  $\xi_\gamma$ ,  $\xi_q$  и  $\xi_c$  принимать равными единице;  $\gamma_I$  и  $\gamma'_I$  – расчетные значения удельного веса

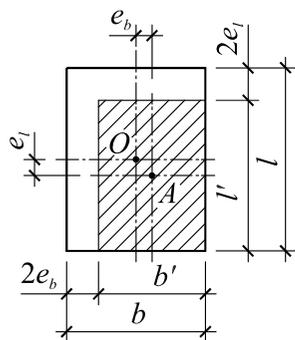


Рис. 15. Схема к определению приведенных размеров подошвы фундамента:

$O$  – центр подошвы фундамента;  
 $A$  – точка приложения вертикальной составляющей равнодействующей всех нагрузок на фундамент

грунтов,  $\text{кН/м}^3$ , находящихся в пределах возможной призмы выпирания соответственно ниже и выше подошвы фундамента (при наличии подземных вод определяют с учетом взвешивающего действия воды для грунтов, находящихся выше водоупора);  $d$  – глубина заложения фундамента, м (в случае неодинаковой вертикальной пригрузки с разных сторон принимают значение  $d$ , соответствующее наименьшей пригрузке, например со стороны подвала).

Угол наклона к вертикали равнодействующей внешней нагрузки  $F$  на основание определяют из формулы

$$\text{tg } \delta = \frac{Q_1}{N_1},$$

где  $Q_1$  и  $N_1$  – расчетные значения соответственно горизонтальной и вертикальной составляющих нагрузки  $F$  на основание в уровне подошвы фундамента.

Рассмотренный расчет выполняют, когда соблюдается условие:

$$\text{tg } \delta < \sin \varphi_1.$$

Если это условие не выполняется, производят расчет фундамента на сдвиг по подошве (см. п. 2.63 СНиП 2.02.01).

*Устойчивость подземных частей сооружения против всплытия.* При размещении лотков, каналов, борозов и других подземных частей сооружения ниже уровня подземных вод в водонасыщенных грунтах должна быть обеспечена их устойчивость против всплытия.

## 5. Рекомендации по производству работ нулевого цикла

Способ производства работ нулевого цикла наравне с техниче-ски обоснованным проектным решением определяет надежность оснований и фундаментов. Его выбирают таким образом, чтобы исключить:

- ухудшение свойств грунтов основания работающими землеройными, сваебойными, уплотняющими машинами и механизмами;
- нарушение устойчивости откосов котлованов;
- промораживание грунтов основания;
- затопление котлована атмосферными осадками и подземными водами;
- разуплотнение грунта основания восходящими потоками подземных вод при водопонижении открытым способом (фильтрационный выпор).

Рекомендации, приводимые в настоящем разделе проекта, сопровождаются ссылками на ГОСТы и нормативы по земляным и фундаментным работам (СНиП 3.02.01), организации строительства (СНиП 12-01), геодезическим работам (СНиП 3.01.03), безопасности труда и т. п.

*Вертикальная планировка площадки и вскрытие котлована.* Указывают высотные отметки вертикальной планировки площадки, дна котлована после черновой и окончательной разработки. Приводят предельные отклонения высотных отметок от проектных. Крутизну откосов выемок определяют по прил. 3 СНиП 3.02.01. В случае необходимости предусматривают конструкции крепления стенок котлована и выполняют их расчет [8].

Способ разработки котлована (его последовательность, количество и размер захваток) выбирают с учетом уровня подземных вод, разновидностей грунтов, времени года и других факторов (см. раздел 3 СНиП 3.02.01). Черновую разработку котлована выполняют с недобором грунта на 20...30 см до проектной отметки. Окончательную разработку (подчистку дна) котлована осуществляют средствами малой механизации. Таким образом исключают ухудшение свойств грунтов основания, что имеет особенно важное значение для фундаментов на естественном основании.

*Водопонижение.* Для исключения затопления котлованов и траншей подземными водами в период строительства применяют искусственное понижение уровня подземных вод путем устройства водотолива, водопонизительных скважин, иглофильтров, дренажа и некоторые другие методы.

При выборе способа водопонижения учитывают инженерно-геологические и гидрогеологические условия, размеры осушаемой площади, особенности производства общестроительных работ в защищаемом от подземных вод котловане, возможные изменения физико-механических свойств грунтов основания возводимого сооружения, влияние водопонижения на окружающую застройку и экологическую обстановку, сроки работ и другие факторы.

Предусматривают мероприятия, препятствующие ухудшению строительных свойств грунтов в основании сооружения, нарушению устойчивости откосов котлована, появлению и развитию опасных геологических и инженерно-геологических процессов и др. во время работ по водопонижению (разд. 2 СНиП 3.02.01).

*Подготовка основания и возведение фундаментов.* Указывают о необходимости освидетельствования грунтов основания и составления акта приемки котлована. Оценивают целесообразность устройства временных дорог для исключения завязания и/или опрокидывания тяжелой техники, в том числе используемой при производстве свайных работ.

Дают рекомендации по подготовке основания под фундаменты или ростверки, увязывая их с рекомендациями по производству гидроизоляционных работ.

Указывают требования к возведению бетонных и железобетонных конструкций (раздел 8 СНиП 52-01).

В проекте фундаментов мелкого заложения отмечают особенности производства работ и назначают виды контроля.

В проекте фундаментов на подушках дают рекомендации и технические требования по уплотнению грунтов (раздел 4 СНиП 3.02.01). При необходимости назначают опытные работы (прил. 4 СНиП 3.02.01). Выбирают необходимые машины и оборудование. Указывают методы контроля плотности грунта после уплотнения.

В проекте свайных фундаментов приводят требования по заглублению свай и устройству ростверков (раздел 11 СНиП 3.02.01).

Указывают предельные отклонения свай. Выбирают необходимые механизмы и оборудование для заглубления свай [9]. Требуемые технические характеристики молота или вибропогружателя определяют по прил. 5 или 6 СНиП 3.02.01. Подбор установок для заглубления набивных свай или вдавливания свай заводского изготовления выполняют по эмпирической (опытной) зависимости между несущей способностью свай и вдавливающим усилием (см. [9] или [19]).

*Засыпки и подсыпки.* Оценивают возможность использования местных грунтов для засыпки пазух котлована и подсыпки под полы. При этом указывают ориентировочное значение оптимальной влажности и проектной плотности грунта в засыпках и подсыпках, назначают способы их уплотнения [5]. Работы по обратной засыпке выполняют согласно разделу 4 СНиП 3.02.01. Для отвода атмосферных осадков от стен сооружения предусматривают отмостку шириной 0,5...1,0 м с уклоном 0,03 или более.

*Контроль качества работ по возведению фундаментов.* Перечисляют необходимые мероприятия по входному, операционному и приемочному контролю фундаментных конструкций и их материалов (см. прил. 1 СНиП 3.02.01).

При возведении монолитных железобетонных конструкций дают указания по отбору проб бетонной смеси для изготовления контрольных образцов, условиям твердения и испытаниям образцов, руководствуясь соответствующими ГОСТами (ГОСТ Р 53231 «Бетоны. Методы контроля и оценки прочности» и др.).

В проекте свайных фундаментов выбирают сваи для контрольных испытаний статической нагрузкой в соответствии с ГОСТ 5686 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями». Указывают значения нагрузок при испытаниях. При необходимости назначают выборочный контроль сплошности свай, изготовленных в грунте.

## ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Выполнив проект, его предъявляют для проверки руководителю курсового проектирования. Студенты очной формы обучения сдают сброшюрованный курсовой проект лично преподавателю, а заочной формы обучения – лаборанту кафедры, который его регистрирует и передает на проверку.

К защите допускаются студенты, выполнившие курсовой проект в полном объеме, в соответствии с исходными данными, без прямых заимствований и грубых ошибок.

На защиту студент представляет пояснительную записку и чертеж. Защита заключается в ответах студента на вопросы по существу курсового проекта.

Во время защиты оцениваются самостоятельность выполнения проекта, полнота и глубина ответов на вопросы, владение технической терминологией, знание нормативной базы, способности студента к построению логических и аргументированных выводов, созданию расчетных схем и анализу получаемых результатов. Кроме этого, на окончательную оценку влияет качество оформления проекта, правильность расчетов и уровень их выполнения, дополнительная самостоятельная работа студента.

Ниже приводится список вопросов для самоконтроля перед защитой курсового проекта.

### **Общие вопросы проектирования**

1. Какие данные необходимы для проектирования фундаментов?
2. Какие нормативные документы следует использовать при составлении технического задания на проведение инженерно-геологических изысканий для целей строительства?
3. От чего зависит глубина и количество буровых скважин и пунктов зондирования при инженерно-геологических изысканиях?
4. Перечислите основные физические, прочностные и деформационные характеристики грунтов. Какими методами их определяют? В каких расчетах их используют?
5. Каковы принципы проектирования оснований и фундаментов? Какие требования предъявляют к фундаментам?
6. Какова общая последовательность проектирования фундаментов?

### **Фундаменты мелкого заложения**

7. Какие фундаменты относят к фундаментам мелкого заложения? Перечислите их конструкции.

8. В чем отличие фундаментов мелкого заложения от малозаглубленных фундаментов?

9. Какова последовательность проектирования фундамента мелкого заложения?

10. Какие факторы влияют на выбор глубины заложения подошвы фундамента?

11. От чего зависят нормативная и расчетная глубины сезонного промерзания грунта?

12. Как определяют размеры подошвы отдельных (столбчатых) и ленточных фундаментов мелкого заложения?

13. В каких случаях выполняют расчет фундамента на продавливание? Что такое пирамида продавливания? Какое условие должно быть выполнено при расчете фундамента на продавливание?

### **Свайные фундаменты**

14. В каких случаях применяют свайные фундаменты? Каковы преимущества и недостатки свайных фундаментов?

15. Перечислите виды (типы) свай.

16. Назовите способы погружения в грунт свай заводского изготовления.

17. Какова последовательность проектирования вертикально нагруженного свайного фундамента?

18. От чего зависит глубина заложения подошвы свайного ростверка?

19. От чего зависит глубина заделки сваи в ростверк?

20. Какими соображениями руководствуются при выборе длины сваи?

21. В какие грунты и на какую глубину следует заглублять нижние концы свай?

22. Какие сваи называют «висячими», а какие – сваями-стойками?

23. Перечислите методы определения несущей способности основания сваи (несущей способности сваи «по грунту»).

24. От каких характеристик грунта зависит несущая способность основания висячей забивной сваи при использовании расчетного метода СНиП 2.02.03?

25. Как учитывается способ заглубления сваи в грунт при определении несущей способности ее основания расчетным методом СНиП 2.02.03?

26. От каких факторов зависит количество свай в ростверке?

27. Какими соображениями руководствуются при размещении свай в плане? Что такое кустовой эффект?

28. От чего зависят размеры ростверков под колонны и стены сооружений?

### **Фундаменты на грунтовых подушках**

29. В каких случаях используют грунтовые подушки? Какие требования предъявляют к материалу грунтовых подушек?

30. Перечислите недостатки фундаментов на грунтовых подушках.

31. Как определяют габариты (толщину и размеры подошвы) грунтовой подушки?

32. Какие методы используют для контроля плотности грунта подушки после уплотнения?

### **Деформации оснований**

33. Какое сочетание нагрузок учитывают при расчете деформаций оснований? Какие нагрузки включают в это сочетание?

34. В чем заключается цель расчета деформаций основания?

35. В каких случаях выполняют расчет деформаций оснований?

36. Что называют осадкой грунта? Какова физическая сущность сжимаемости грунта?

37. В каком случае основание фундамента можно рассматривать в виде линейно деформируемого полупространства?

38. Что такое расчетное сопротивление грунта?

39. В чем отличие расчетного сопротивления грунта  $R$  от предельного сопротивления  $p_u$ ?

40. От каких характеристик грунта зависит его расчетное сопротивление?

41. Какова сущность метода послойного суммирования, используемого для расчета осадок оснований?

42. Почему при расчете осадки фундамента методом послойного суммирования однородное основание необходимо расчленять на элементарные слои? С чем связано ограничение толщины элементарного слоя?

43. Как и для чего определяют мощность сжимаемой толщи основания?

44. Какие допущения заложены в метод послойного суммирования, рекомендуемый СНиП 2.02.01 для расчета осадок?

45. Чему будет равна осадка фундамента при модуле деформации грунта  $E = 20$  МПа, если при  $E = 10$  МПа осадка такого же фундамента составляет 6 см?

46. Какой из фундаментов при одинаковых грунтовых условиях и равных давлениях по подошве, но разной ширине  $b_1 > b_2$  даст большую осадку?

47. Какой метод используют для того, чтобы определить осадки близко расположенных фундаментов?

48. Какие конструктивные мероприятия используют для снижения и выравнивания деформаций сооружения?

### **Несущая способность оснований**

49. Какие сочетания нагрузок учитывают при расчете несущей способности оснований? Какие нагрузки включают в эти сочетания?

50. В каких случаях выполняют расчет несущей способности основания?

51. Какое условие должно быть выполнено для обеспечения несущей способности основания?

52. От каких характеристик грунта зависит вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания (несущая способность основания при действии вертикальной нагрузки)?

53. В каких случаях необходимо выполнять расчет фундамента на опрокидывание и сдвиг по подошве?

## Учебная литература

1. *Гидроизоляция подземных частей зданий и сооружений*: учеб. пособие / А. Б. Фадеев. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – 54 с.
2. *Деформационные швы в конструкциях наземных зданий* / Ф. Волдржих. – М.: Стройиздат, 1978. – 224 с.
3. *Конструирование гражданских зданий*: учеб. пособие / И. А. Шерешевский. – М.: Архитектура-С, 2005. – 176 с.
4. *Конструирование промышленных зданий и сооружений*: учеб. пособие / И. А. Шерешевский. – М.: Архитектура-С, 2005. – 168 с.
5. *Методы подготовки и устройства искусственных оснований*: учеб. пособие / Р. А. Мангушев, Р. А. Усманов, С. В. Ланько, В. В. Конюшков. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 280 с.
6. *Основания и фундаменты*: учебник / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров, А. И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 392 с.
7. *Основания, фундаменты и подземные сооружения*: справочник геотехника / Под общ. ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
8. *Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах*: учеб. пособие / Под ред. Р. А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 256 с.
9. *Современные свайные технологии*: учеб. пособие / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин; 2-е изд. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 240 с.
10. *Технология возведения подземной части зданий и сооружений*: учеб. пособие / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288 с.

## Нормативная литература

11. *СНиП 2.01.07–85\** Нагрузки и воздействия. – М., 2005. – 44 с.
12. *СНиП 2.02.01–83\** Основания зданий и сооружений. – М., 2010. – 62 с.
13. *СНиП 2.02.03–85* Свайные фундаменты. – М., 2006. – 46 с.
14. *СНиП 3.02.01–87* Земляные сооружения, основания и фундаменты. – М., 2009. – 124 с.
15. *СНиП 12-01–2004* Организация строительства. – М., 2010. – 23 с.
16. *СНиП 52-01–2003* Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М., 2010. – 24 с.
17. *СНиП 3.01.03–84* Геодезические работы в строительстве. – М., 2010. – 23 с.
18. *СНиП 23-01–99\** Строительная климатология. – М., 2010. – 79 с.
19. *ВСН 490–87* Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. – М., 1988. – 18 с.

20. *ГОСТ 13579–78\** Блоки бетонные для стен подвалов. – М., 2005. – 10 с.
21. *ГОСТ 13580–85* Плиты ленточных фундаментов железобетонные. – М., 1986. – 33 с.
22. *ГОСТ 19804–91* Сваи железобетонные. Технические условия. – М., 2003. – 13 с.
23. *ГОСТ 19804.3–80\** Сваи забивные железобетонные квадратного сечения с круглой полостью. Конструкции и размеры. – М., 1984. – 20 с.
24. *ГОСТ 19804.5–83* Сваи полые круглого сечения и сваи-оболочки железобетонные цельные с ненапрягаемой арматурой. Конструкция и размеры. – М., 1983. – 40 с.
25. *ГОСТ 19804.6–83\** Сваи полые круглого сечения и сваи-оболочки железобетонные составные с ненапрягаемой арматурой. Конструкции и размеры. – М., 1983. – 40 с.
26. *ГОСТ 25100–2011* Грунты. Классификация. – М., 2013. – 42 с.
27. *ГОСТ 28737–90* Балки фундаментные железобетонные для стен зданий промышленных и сельскохозяйственных предприятий. – М., 1991. – 10 с.
28. *Основания, фундаменты и подземные сооружения*: справочник проектировщика / Под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
29. *Пособие* по проектированию железобетонных ростверков свайных фундаментов под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01–84). – М., 1985. – 52 с.
30. *Пособие* по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01–84 и СНиП 2.02.01–83). – М., 1987. – 112 с.
31. *Рекомендации* по проектированию гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений. Конструктивные детали гидроизоляции / ЦНИИпромзданий. – М., 2009. – 120 с.
32. *Руководство* по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1984. – 263 с.
33. *Руководство* по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства / ЦНИИпромзданий. – М., 1984. – 117 с.
34. *Справочное пособие* к СНиП. Проектирование подпорных стен и стен подвалов / ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1990. – 103 с.
35. *Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства*: справочник проектировщика / В. М. Спиридонов, В. Т. Ильин, И. С. Приходько и др.; под общ. ред. Г. И. Бердического. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 488 с.

36. *Серия 1.010-1*. Гидроизоляция подземных частей зданий и сооружений. *Выпуск 0-1*. Окрасочная, штукатурная и литая гидроизоляция. Материалы для проектирования / ЦНИИпромзданий, Харьковский промстройНИИпроект. – 1992. – 103 с.  
*Выпуск 0-2*. Оклеечная гидроизоляция. Материалы для проектирования / ЦНИИпромзданий, Харьковский промстройНИИпроект. – 1992. – 52 с.  
*Выпуск 0-3*. Металлическая гидроизоляция и листовая гидроизоляция из полимерных материалов. Материалы для проектирования / ЦНИИпромзданий, Харьковский промстройНИИпроект. – 1992. – 36 с.
37. *Серия 1.411.1-7*. Фундаменты свайные под железобетонные и стальные колонны одноэтажных производственных зданий.  
*Выпуск 0-1*. Фундаменты под железобетонные колонны. Материалы для проектирования / ЦНИИпромзданий. – 1993. – 115 с.  
*Выпуск 0-2*. Фундаменты под стальные колонны. Материалы для проектирования / ЦНИИпромзданий. – 1993. – 42 с.
38. *Серия 1.412.1-6*. Фундаменты монолитные железобетонные на естественном основании под типовые железобетонные колонны одноэтажных и многоэтажных производственных зданий.  
*Выпуск 0*. Материалы для проектирования (в 2 кн.) / Проектный ин-т № 1 Минсевзапстроя и др. – 1988. – 110 с.  
*Выпуск 1*. Чертежи-заготовки / Проектный ин-т № 1 Минсевзапстроя и др. – 1988. – 54 с.
39. *Серия 1.412.1-11*. Фундаменты сборно-монолитные на естественном основании под железобетонные колонны одноэтажных и многоэтажных производственных зданий. Выпуск 0. Материалы для проектирования / Проектный ин-т № 1. – 1992. – 66 с.
40. *Серия 2.110-1*. Детали фундаментов жилых зданий. Выпуск 1. Ленточные фундаменты и стены подвалов кирпичных и крупноблочных зданий / ЦНИИЭП жилища. – 1970. – 40 с.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Выбор исходных данных производится студентом самостоятельно в соответствии с двумя последними цифрами номера зачетной книжки студента (шифра). При совпадении исходных данных у студентов одной группы им следует обратиться к преподавателю.

**Вариант сооружения\*** соответствует предпоследней цифре шифра и выбирается по табл. П.1.1 и рис. П.1.1–П.1.10. В табл. П.1.1 указаны значения нагрузок на обрезы фундаментов, обозначенных номерами на плане сооружения. **Вариант нагрузок и размеров:** нечетный – для студентов, у которых последняя цифра шифра нечетная, четный – если последняя цифра шифра четная или ноль.

**Вариант инженерно-геологических условий** соответствует последней цифре шифра и принимается по рис. П.1.11–П.1.15. При этом номер пласта без скобок принимается для шифра, оканчивающегося цифрами от 0 до 4, в скобках – для шифров, оканчивающихся цифрами от 5 до 9. Значения характеристик физико-механических свойств грунтов выбираются по табл. П.1.2.

Значения удельного веса  $\gamma$ , удельного сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  даны для расчета по первому ( $\gamma_I, c_I$  и  $\varphi_I$ ) и второму ( $\gamma_{II}, c_{II}$  и  $\varphi_{II}$ ) предельным состояниям. Доверительная вероятность расчетных значений  $\gamma, c$  и  $\varphi$  равна 0,95, а  $\gamma_{II}, c_{II}$  и  $\varphi_{II}$  – 0,85 (см. п. 2.14 СНиП 2.02.01).

**Пример выбора исходных данных.** Зачетная книжка № 210138. Вариант сооружения – 3 (ремонтный цех). Размеры и нагрузки – по четному варианту. Вариант геологических условий – 8. По геологическим разрезам принимаются номера грунтов в скобках, а по табл. П.1.2 – соответствующие им характеристики и наименования: песок пылеватый – 16, глина – 3 и суглинок – 4.

**Название курсового проекта** зависит от варианта сооружения. Так, для ремонтного цеха проект будет именоваться «Фундаменты ремонтного цеха», а для жилого дома – «Фундаменты жилого дома».

\* Варианты разработаны проф. Н. Н. Морарескулом.

**Варианты сооружений и значения нормативных нагрузок на обрезы фундаментов при наиболее невыгодных сочетаниях**

Вариант и наименование сооружения	Вариант нагрузок и размеров	Номер фундамента	Первое сочетание			Второе сочетание		
			$N_{0n}$ , кН	$M_{0n}$ , кН·м	$Q_{0n}$ , кН	$N_{0n}$ , кН	$M_{0n}$ , кН·м	$Q_{0n}$ , кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант 1. Химический корпус	Четный. $L = 6$ м	1	150	-24	-	200	-29	-
		2	2800	38	-	3200	-52	-
		3	3400	-45	-	3600	40	-
		4	2200	-122	-	1960	-146	-
		5	1050	-184	-	1400	-220	-
	Нечетный. $L = 9$ м. Подвал в осях А-Б	1	170	-21	-	210	-26	-
		2	3420	56	-	3280	-69	-
		3	4820	-58	-	4650	63	-
		4	2920	-84	-	2560	-120	-
		5	1220	-260	-	1380	-314	-
Вариант 2. Фабричный корпус	Четный. $L = 9$ м	1	1400	-140	-20	1780	-178	22
		2	2270	$\pm 90$	30	2530	$\pm 144$	31
		3	1820	180	35	2100	220	37
		4	620	50	-	730	56	-
	Нечетный. $L = 12$ м. Подвал в осях А-Б	1	1800	-170	-40	2060	-200	-60
		2	3200	$\pm 150$	$\pm 32$	3560	$\pm 204$	-30
		3	2400	230	60	2800	280	50
		4	650	55	-	680	60	-
Вариант 3. Ремонтный цех	Четный	1	1100	40	-	1250	-52	-
		2	750	-	-	900	-	-
		3	2140	$\pm 84$	-	2400	$\pm 100$	-
		4	2800	-220	-10	2940	-	-14
		5	1560	-200	-12	1600	-240	-17
	Нечетный. Подвал в осях А-Б	1	1000	-52	-	1200	-64	-
		2	600	-	-	820	-	-
		3	2300	$\pm 120$	-	2700	$\pm 140$	-
		4	2200	-300	-20	2500	-340	-26
		5	1300	240	-18	1360	-260	-14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант 4. Котельная	Четный. $a_1 = 4$ м $a_2 = 6$ м	1	1600	-290	-12	1500	-	-
		2	1000	300	10	900	-	-
		3	600	-	-	610	-	-
		4	2600	-	-	3100	-	-
		5	400	-180	-	580	-220	-10
		6	3000	2800	260	3000	2800	260
	Нечетный. $a_1 = 3$ м $a_2 = 5$ м	1	1320	-260	-12	1010	-300	-36
		2	900	240	-	790	290	24
		3	420	-	-	580	-	-
		4	2100	-	-	2100	-	-
5		360	-140	-	450	-158	-29	
6		3600	2400	200	3600	2400	200	
Вариант 5. Экспериментальный цех	Четный. $L = 12$ м	1	170	-	-	220	-	-
		2	1700	-50	-10	2150	-62	-12
		3	500	250	5	610	360	7
		4	1150	200	15	1280	280	18
		5	780	-	-	1020	-	-
		6	1900	-	-	1780	-	-
	Нечетный. $L = 18$ м. Подвал в осях 4-6	1	210	-	-	260	-	-
		2	1850	-	-	1900	-	-
		3	580	200	-10	440	230	-12
		4	800	240	10	900	180	12
		5	860	-	-	1000	-	-
		6	2120	-	-	2240	-	-
Вариант 6. Жилой дом	Четный. 7 этажей	1	420	-	-	530	-	-
		2	550	-	-	620	-	-
		3	460	-	-	480	-	-
		4	300	-	-	320	-	-
		5	300	-	-	340	-	-
		6	270	-	-	310	-	-
	Нечетный. 10 этажей	1	400	-	-	470	-	-
		2	620	-	-	740	-	-
		3	480	-	-	580	-	-
		4	310	-	-	350	-	-
		5	380	-	-	400	-	-
		6	340	-	-	390	-	-
Вариант 7. Механический цех	Четный. $L_1 = 24$ м $L_2 = 12$ м	1	1100	-320	-21	1380	230	17
		2	1380	370	17	1730	-260	-19
		3	460	$\pm 100$	$\pm 12$	650	$\pm 130$	$\pm 12$
		4	560	220	-	580	290	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант 7. Механи- ческий цех	Нечетный. $L_1 = 18$ м $L_2 = 9$ м. Канал у оси $A$	1	900	-260	-10	1190	180	10
		2	1260	310	10	1400	-200	-8
		3	380	-	-	600	-	-
		4	470	-180	-	470	240	-
Вариант 8. Свароч- ный цех	Четный. $L = 24$ м $a = 2,5$ м	1	1020	-240	-30	1090	320	51
		2	1140	270	8	1270	120	-26
		3	600	-	-	780	-	-
		4	140	-30	-	180	28	-
		5	526	70	7	410	-52	-6
	Нечетный. $L = 18$ м $a = 2,5$ м	1	810	-190	-20	930	260	40
		2	980	210	-	900	-100	-20
		3	520	-	-	660	-	-
		4	125	20	-	163	20	-
		5	740	-60	-6	640	40	4
Вариант 9. Силосный корпус	Четный. $L = 6$ м $a = 3$ м	1	8600	-	-	8940	±320	±150
		2	148	-	-	164	-	-
		3	415	-	-	550	-	-
		4	120	-	-	135	-	-
	Нечетный. $L = 5$ м $a = 2,5$ м	1	7200	-	-	7600	±270	±130
		2	125	-	-	140	-	-
		3	390	-	-	440	-	-
		4	100	-	-	110	-	-
Вариант 0. Монтаж- ный цех	Четный. $L = 16$ м $a = 3$ м	1	1520	-520	-30	1800	770	53
		2	800	-	-	900	-	-
		3	2100	630	25	2500	-500	-38
		4	510	-	-	580	-	-
		5	160	20	-	180	24	-
		6	910	580	20	810	-400	-62
	Нечетный. $L = 10$ м $a = 3$ м	1	1480	-400	-20	1640	480	42
		2	700	-	-	850	-	-
		3	1900	440	15	2200	-420	-30
		4	400	-	-	440	-	-
		5	180	-	-	210	-	-
		6	690	460	-	710	-300	-50

Примечания: 1. Нагрузки на ленточные фундаменты даны на 1 м их длины.  
2. Положительные значения нагрузок: для поперечной силы  $Q$  – слева направо, для изгибающего момента  $M$  – по часовой стрелке, при этом положение фундамента – по разрезу здания.

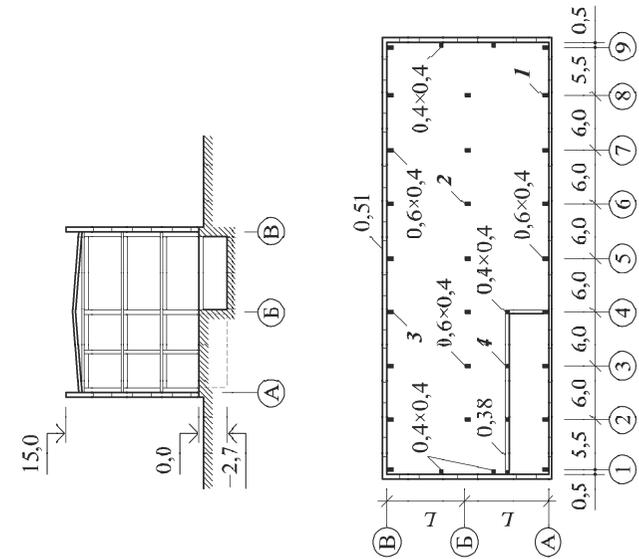


Рис. П.1.2. Фабричный корпус

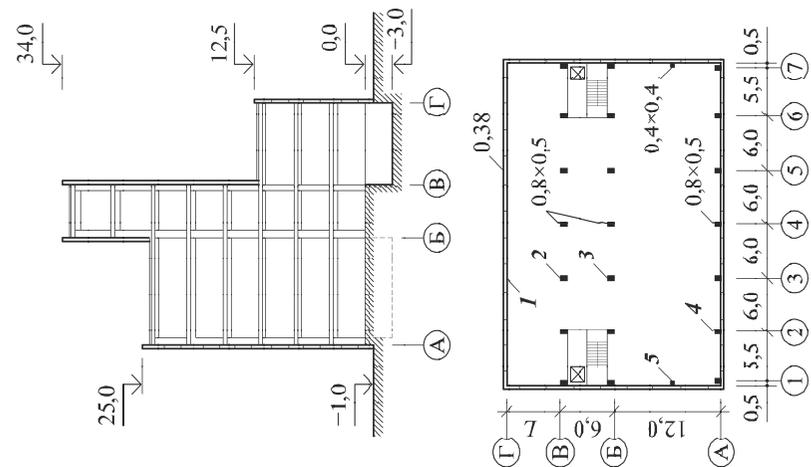


Рис. П.1.1. Химический корпус

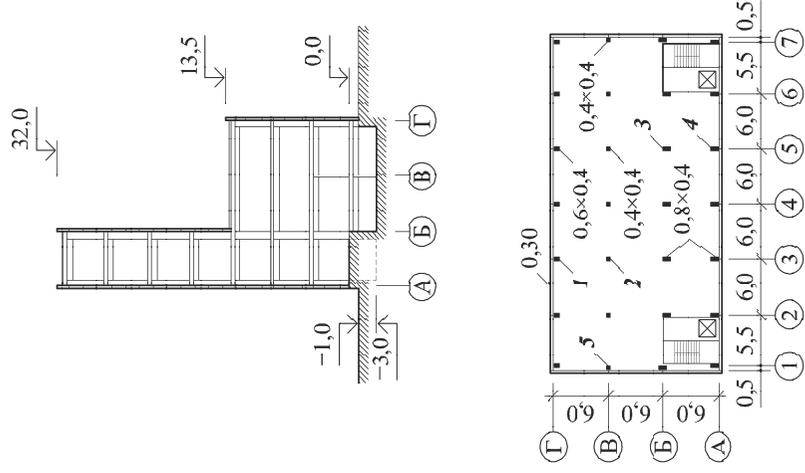


Рис. П.1.3. Ремонтный цех

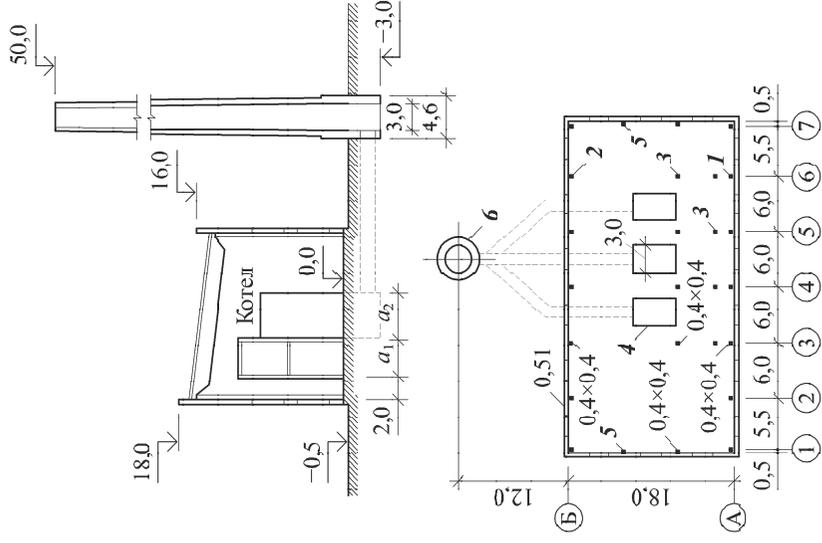


Рис. П.1.4. Котельная

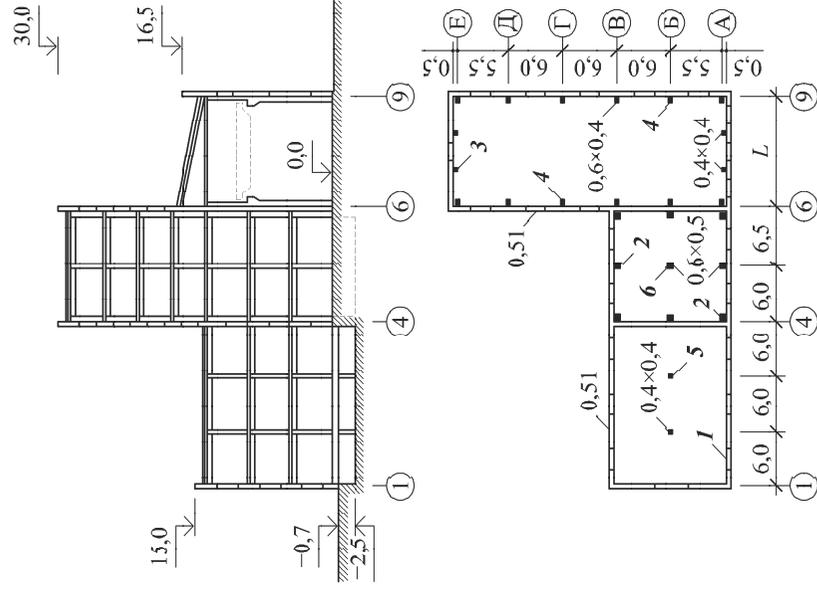


Рис. П.1.5. Экспериментальный цех

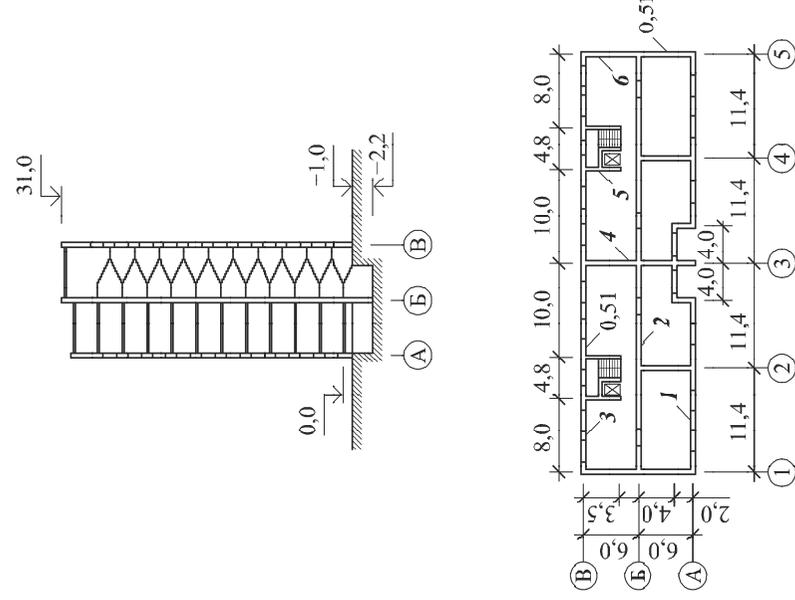


Рис. П.1.6. Жилой дом

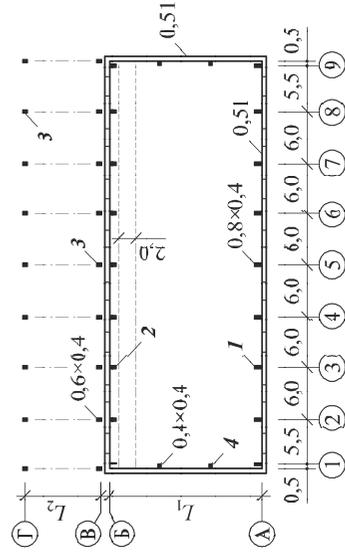
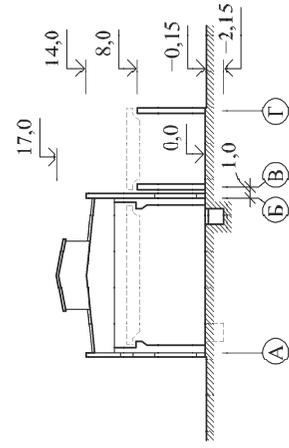


Рис. П.1.1.7. Механический цех

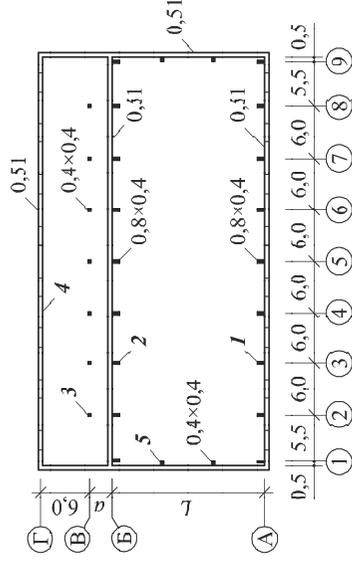
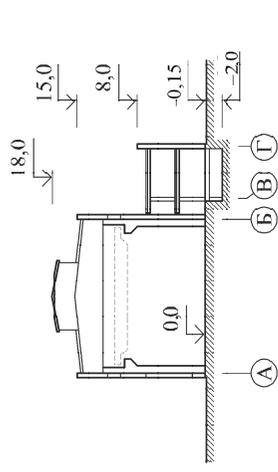


Рис. П.1.1.8. Сварочный цех

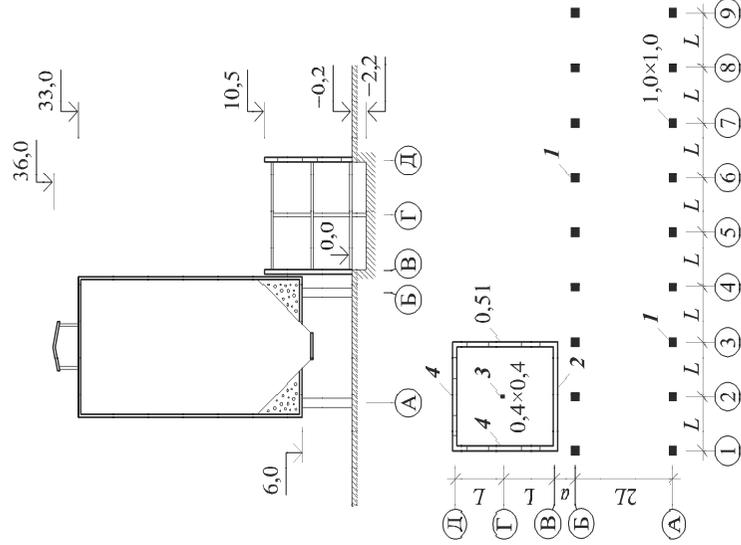


Рис. П.1.1.9. Силосный корпус

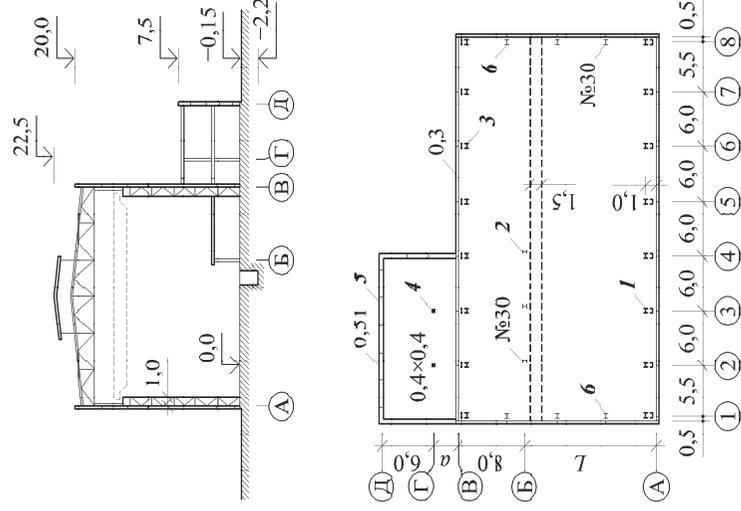
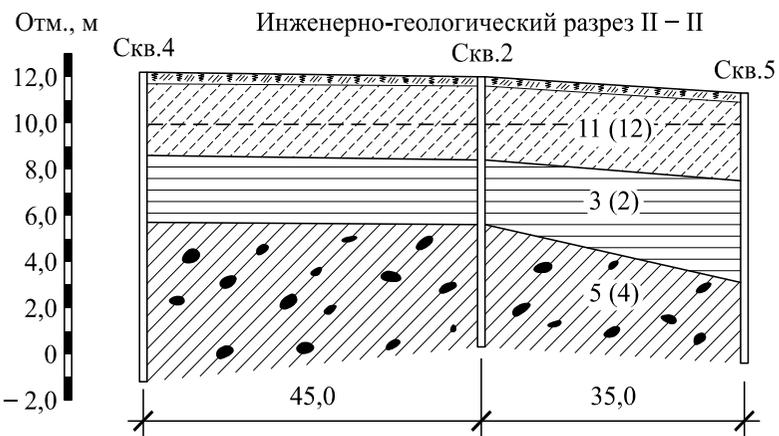
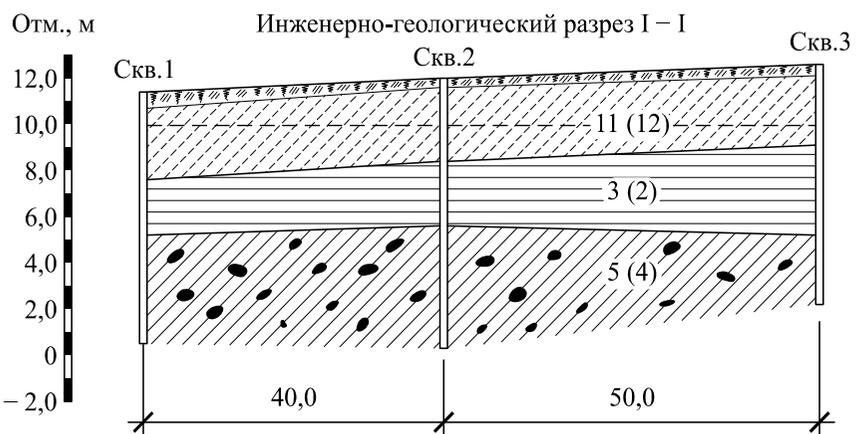
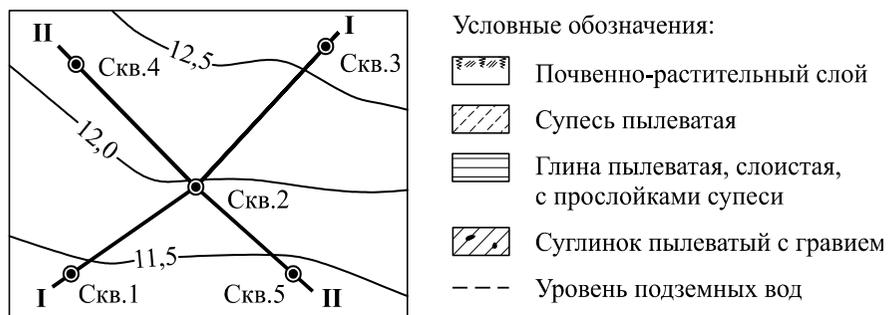
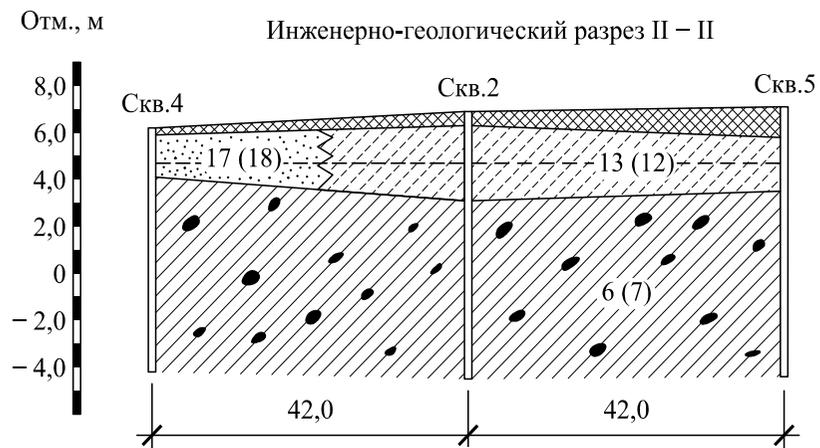
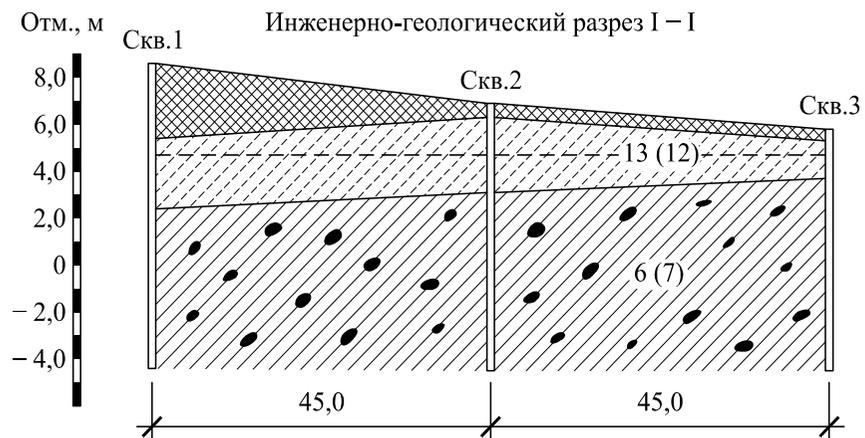
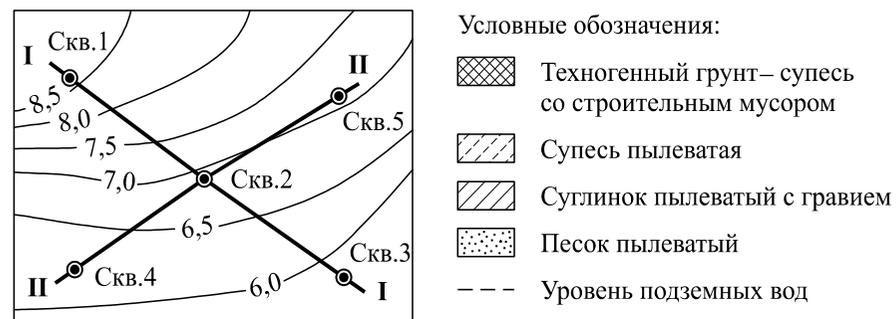


Рис. П.1.1.10. Монтажный цех



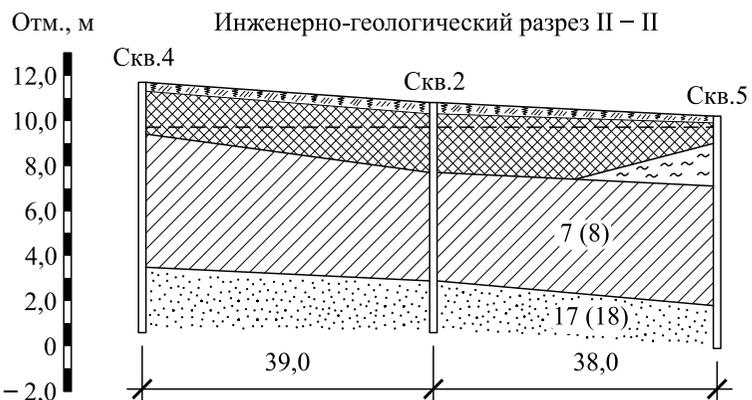
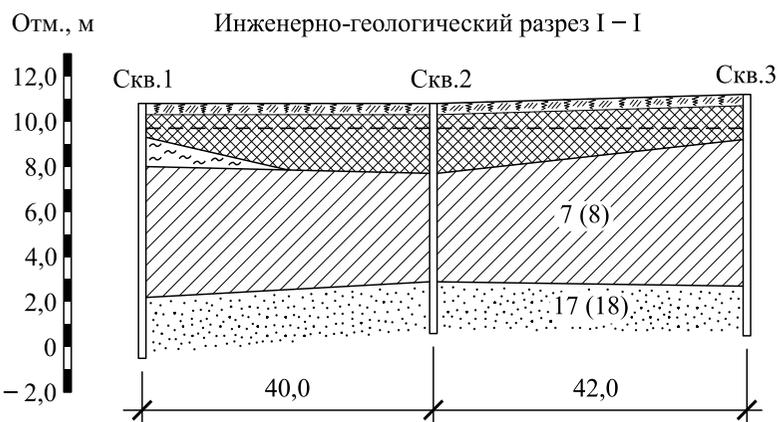
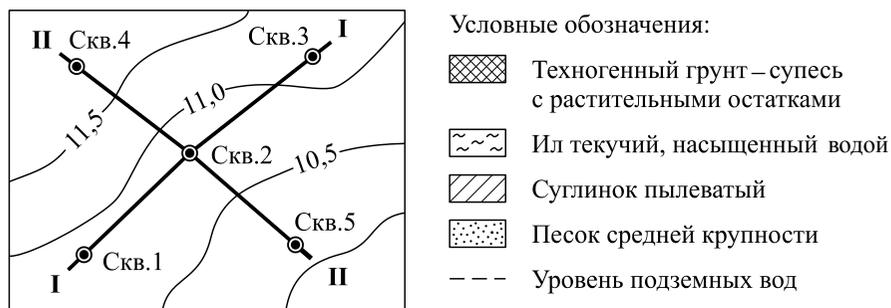
Место строительства – г. Вологда

Рис. П.1.11. Варианты 0 и (5)



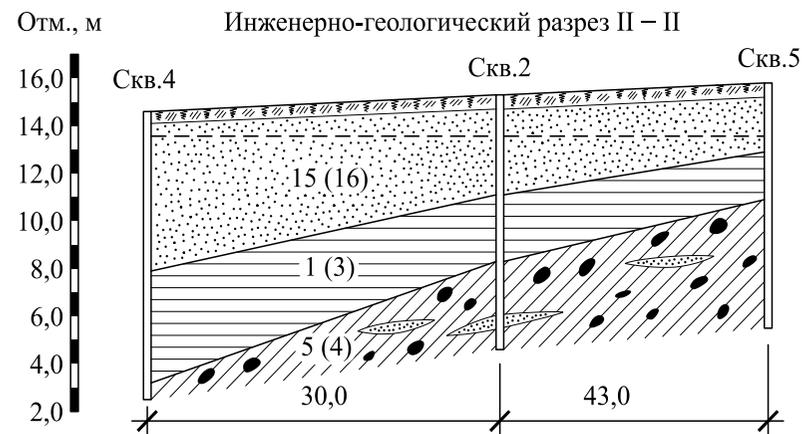
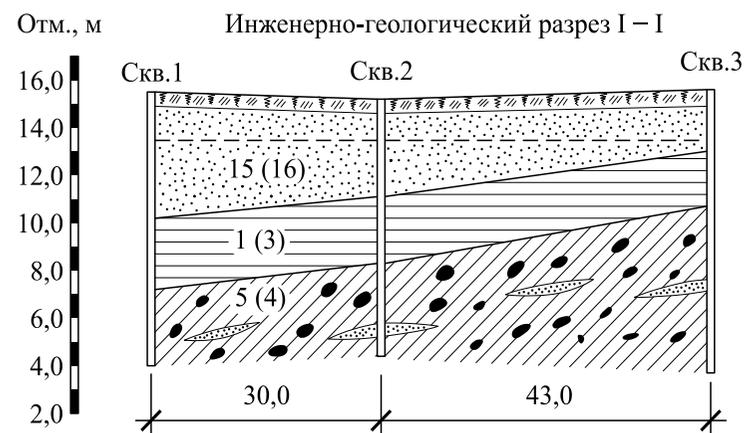
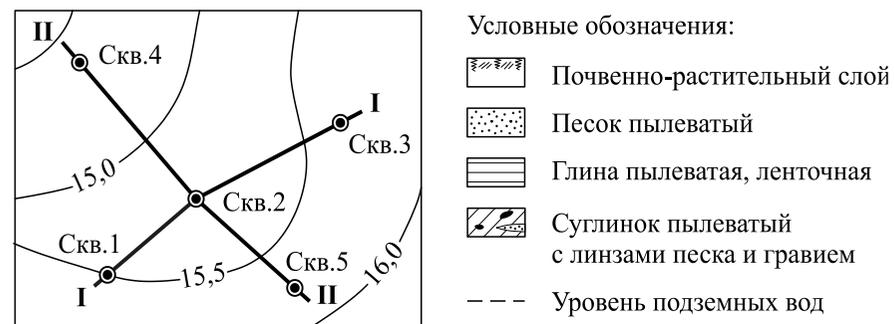
Место строительства – Санкт-Петербург

Рис. П.1.12. Варианты 1 и (6)



Место строительства – г. Псков

Рис. П.1.13. Варианты 2 и (7)



Место строительства – г. Петрозаводск

Рис. П.1.14. Варианты 3 и (8)

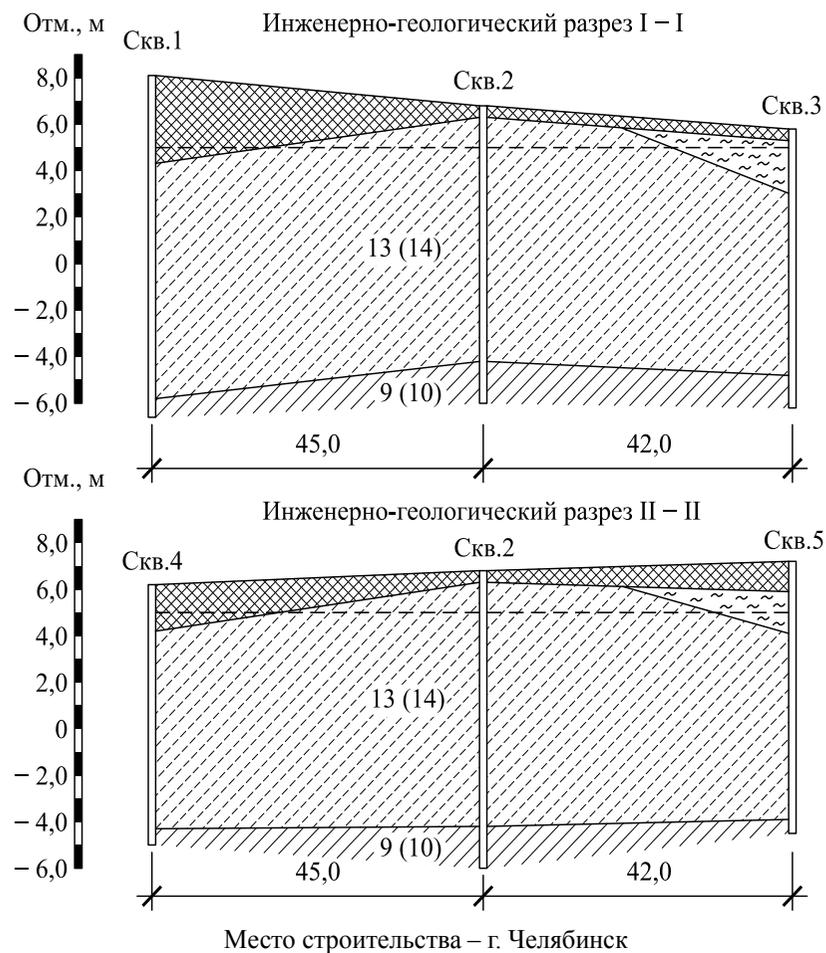
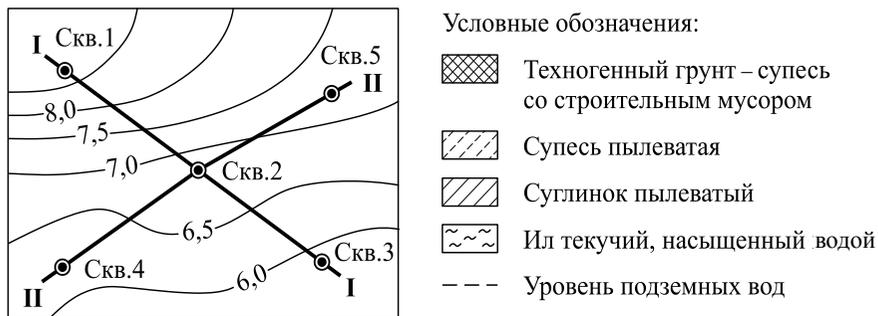


Рис. П.1.15. Варианты 4 и (9)

Таблица П.1.2

Значения характеристик физико-механических свойств грунтов

Номер слоя	Наименование грунта	Удельный вес грунта $\gamma_p$ , кН/м <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $c_p$ , кПа	Удельный вес твердых частиц грунта $\gamma_s$ , кН/м <sup>3</sup>	Влажность $w$ , д.ед.	Влажность на границе текучести $w_L$ , д.ед.	Влажность на границе пластичности $w_p$ , д.ед.	Коэффициент фильтрации $K_f$ , см/с	Модуль деформации $E$ , МПа
1	Глина	16,6	14	20	26,9	0,36	0,46	0,27	$3,1 \cdot 10^{-8}$	7
2		16,5	13	18	27,1	0,39	0,46	0,25	$2,0 \cdot 10^{-8}$	5
3		16,4	12	14	26,9	0,38	0,40	0,22	$2,2 \cdot 10^{-8}$	4
4	Суглинок	18,6	20	27	26,5	0,15	0,24	0,11	$2,3 \cdot 10^{-7}$	22
5		17,4	17	28	26,6	0,20	0,28	0,15	$4,3 \cdot 10^{-7}$	18
6		17,5	16	20	26,7	0,26	0,32	0,21	$2,7 \cdot 10^{-7}$	14
7		16,8	15	12	26,8	0,30	0,36	0,23	$2,5 \cdot 10^{-7}$	10
8		16,3	14	17	26,8	0,36	0,42	0,32	$2,6 \cdot 10^{-7}$	8
9		18,5	22	36	26,6	0,22	0,35	0,21	$4,0 \cdot 10^{-8}$	26
10		18,0	21	34	26,9	0,19	0,33	0,17	$5,0 \cdot 10^{-8}$	24

## Значения характеристик физико-механических свойств грунтов

Номер слоя	Наименование грунта	Удельный вес грунта $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_{\text{гол}}$ внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $c$ , кПа	Удельный вес грунта $\gamma_{\text{пл}}$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_{\text{гол}}$ внутреннего трения $\varphi$ , град	Удельное сцепление $c$ , кПа	Удельный вес твердых частиц грунта $\gamma_s$ , кН/м <sup>3</sup>	Влажность $w$ , д.ед.	Влажность на границе текучести $w_L$ , д.ед.	Влажность на границе пластичности $w_p$ , д.ед.	Коэффициент фильтрации $k_f$ , см/с	Модуль деформации $E$ , МПа
11		18,6	22	7	20,5	26	10	26,3	0,18	0,21	0,16	$2,7 \cdot 10^{-5}$	18
12	Супесь	17,4	20	5	19,2	24	8	26,5	0,21	0,23	0,18	$2,1 \cdot 10^{-5}$	14
13		16,6	17	3	18,3	20	5	26,4	0,28	0,30	0,24	$1,3 \cdot 10^{-5}$	8
14		17,1	19	7	18,8	22	10	26,6	0,26	0,28	0,24	$1,1 \cdot 10^{-5}$	10
15	Песок	17,9	27	2	19,7	30	4	26,3	0,24	—	—	$8,1 \cdot 10^{-4}$	17
16	пылеватый	17,5	25	1	19,2	28	2	26,1	0,26	—	—	$2,2 \cdot 10^{-4}$	11
17	Песок средней крупности	17,4	31	—	19,2	35	—	26,5	0,18	—	—	$3,5 \cdot 10^{-2}$	31
18	крупности	18,2	34	—	20,1	38	—	26,4	0,16	—	—	$2,0 \cdot 10^{-2}$	40

Примечание. Для насыпных грунтов значение удельного веса принимать равным  $17,5 \text{ кН/м}^3$  выше уровня грунтовых вод и  $10,0 \text{ кН/м}^3$  – ниже уровня грунтовых вод.

## РАСЦЕНКИ НА РАБОТЫ НУЛЕВОГО ЦИКЛА\*

Таблица П.2.1

## Единичные расценки на земляные работы (ФЕР 81-02-01–2001)

Наименование работ и единицы их измерения	Затраты на ед. измер., руб.
1. Разработка грунтов в отвал экскаваторами «обратная лопата», м <sup>3</sup> : грунты 1-й группы (растительно-почвенный слой; торфы; пески; супеси; суглинки легкие мягкопластичные, в том числе с включениями гальки, щебня, гравия или строительного мусора до 10 %; суглинки легкие тугопластичные без включений)	<u>2,33</u> 1,72
грунты 2-й группы (суглинки легкие мягкопластичные с включениями более 10 %; суглинки легкие тугопластичные с включениями до 10 %; суглинки тяжелые полутвердые и твердые, в том числе с включениями до 10 %; глины мягко- и тугопластичные, в том числе с включениями до 10 %)	<u>2,94</u> 2,10
грунты 3-й группы (суглинки тяжелые полутвердые и твердые с включениями более 10 %; глины мягко- и тугопластичные с включениями более 10 %)	<u>3,74</u> 2,61
2. Водоотлив, м <sup>3</sup> мокрого грунта: из траншей из котлованов	17,67 21,01
3. Устройство грунтовых подушек методом послойной укатки, м <sup>3</sup> грунтовой подушки	8,10
4. Уплотнение песка пневматическими трамбовками, м <sup>3</sup> уплотненного грунта	4,40
5. Уплотнение грунта прицепными катками на пневмоколесном ходу 25 т на первый проход по одному следу при толщине слоя 25 см, м <sup>3</sup> уплотненного грунта На каждый последующий проход по одному следу добавлять к расценке, м <sup>3</sup> уплотненного грунта	1,44 0,19
6. Уплотнение грунта вибрационными катками 2,2 т на первый проход по одному следу при толщине 25 см, м <sup>3</sup> уплотненного грунта На каждый последующий проход по одному следу добавлять к расценке, м <sup>3</sup> уплотненного грунта	1,09 0,08

Примечания: 1. В числителе приведены расценки на разработку грунтов ковшом вместимостью  $0,5 \dots 1,0 \text{ м}^3$ , а в знаменателе – ковшом вместимостью  $1,0 \dots 1,2 \text{ м}^3$ . 2. К мокрым грунтам следует относить как грунты, залегающие ниже уровня грунтовых вод, так и грун-

\* В базисных ценах по состоянию на 01.01.2000.

ты, расположенные выше этого уровня: на 0,3 м – для песков крупных, средней крупности и мелких; на 0,5 м – для песков пылеватых и супесей и на 1 м – для суглинков и глин.  
3. К расценкам табл. П.2.1 следует применять поправочные коэффициенты, приведенные в табл. П.2.2.

Таблица П.2.2

**Поправочные коэффициенты к расценкам на земляные работы (ФЕР 81-02-01–2001)**

Наименование работ	Коэффициент
1. Разработка грунта экскаваторами: при объеме котлована до 300 м <sup>3</sup> или при площади котлована до 100 м <sup>2</sup>	1,2
при объеме котлована до 3000 м <sup>3</sup> , если одновременно в пределах разрабатываемого котлована производятся работы по устройству фундаментов, внутренних коммуникаций и прочие строительно-монтажные работы;	1,2
при глубине котлована до 3 м независимо от объема котлована или его площади	1,2
при разработке траншей	1,2
2. Разработка грунтов одноковшовыми экскаваторами из-под воды:	
при глубине воды от 0,2 до 0,5 м	1,1
при глубине воды до 2 м	1,25
при глубине воды до 4 м	1,4
при глубине воды более 4 м	1,7

Таблица П.2.3

**Единичные расценки на работы по возведению фундаментов из сборных элементов (ФЕР 81-02-05–2001, ФЕР 81-02-07–2001)**

Наименование работ и единицы их измерения	Затраты на ед. измер., руб.
1. Укладка блоков и плит ленточных фундаментов при глубине котлована до 4 м, шт.: при массе конструкций: до 0,5 т до 1,5 т до 3,5 т более 3,5 т	37,24 56,18 84,27 157,14
2. Укладка блоков и плит ленточных фундаментов при глубине котлована более 4 м, шт.: при массе конструкций: до 0,5 т до 1,5 т до 3,5 т более 3,5 т	37,40 55,97 125,28 177,00
3. Забивка железобетонных свай гусеничным копром, м <sup>3</sup> свай: в грунты 1-й группы (пески рыхлые, супеси пластичные, суглинки и глины мягко- и тугопластичные, ил, торф, а также перечисленные грунты с содержанием в них гравия и щебня размером не более 100 мм до 10 %): сваи длиной до 6 м сваи длиной до 8 м сваи длиной до 12 м сваи длиной до 16 м в грунты 2-й группы (пески плотные, гравий, супеси твердые, суглинки и глины полутвердые и твердые, пески пылеватые насыщенные водой, а также перечисленные грунты с содержанием в них до 30 % гравия и щебня размером не более 100 мм или размером более 100 мм до 10 % и грунты 1-й группы с содержанием щебня и гравия от 10 до 30 %): сваи длиной до 6 м сваи длиной до 8 м сваи длиной до 12 м сваи длиной до 16 м	500,12 486,61 345,55 484,36  572,27 643,92 520,79 671,71

*Примечание.* Расценки не учитывают сметные цены конструкций фундаментов (см. табл. П.2.5).

Таблица П.2.4

**Единичные расценки на работы по возведению монолитных  
фундаментных конструкций (ФЕР 81-02-06–2001)**

Наименование работ и единицы их измерения	Затраты на ед. измер., руб.
1. Устройство бетонной подготовки, м <sup>3</sup> бетона	577,88
2. Устройство монолитных железобетонных фундаментов общего назначения под колонны объемом, м <sup>3</sup> бетона:	
до 3 м <sup>3</sup>	1076,53
до 5 м <sup>3</sup>	980,01
до 10 м <sup>3</sup>	956,41
до 25 м <sup>3</sup>	903,23
более 25 м <sup>3</sup>	897,07
3. Устройство монолитных железобетонных фундаментов общего назначения с подколонниками при высоте подколонника от 2 до 4 м, периметром до 5 м, м <sup>3</sup> бетона	1036,19
4. Устройство монолитных железобетонных фундаментных плит с пазами, стаканами и подколонниками высотой до 2 м при толщине плиты, м <sup>3</sup> бетона:	
до 1000 мм	1799,13
более 1000 мм	1464,27
5. Устройство монолитных железобетонных ленточных фундаментов при ширине поверху, м <sup>3</sup> бетона:	
до 1000 мм	1169,60
более 1000 мм	1153,17

*Примечание.* Расценки не учитывают сметные цены материалов для фундаментов (см. табл. П.2.6).

Таблица П.2.5

**Сметные цены на сборные конструкции фундаментов  
(ФССЦ–2001. Часть IV)**

Строительные конструкции	Сметная цена, руб./м <sup>3</sup>
1. Блоки бетонные для стен подвалов на цементном вяжущем сплошные М 100:	
объемом 0,5 м <sup>3</sup> и более	580,00
объемом 0,3 до 0,5 м <sup>3</sup>	600,00
объемом менее 0,3 м <sup>3</sup>	620,00
2. Блоки бетонные для стен подвалов на цементном вяжущем сплошные с вырезом М 100:	
объемом 0,5 м <sup>3</sup> и более	741,28
объемом 0,3 до 0,5 м <sup>3</sup>	771,79
объемом менее 0,3 м <sup>3</sup>	813,60
3. Блоки бетонные для стен подвалов на цементном вяжущем пустотные М 150:	
объемом 0,5 м <sup>3</sup> и более	719,88
объемом 0,3 до 0,5 м <sup>3</sup>	755,29
объемом менее 0,3 м <sup>3</sup>	790,48
4. Плиты пригрузочные сборные	1148,00
5. Плиты железобетонные для полов	2103,98
6. Плиты железобетонные фундаментные	837,90
7. Блоки железобетонные фундаментные	682,00
8. Сваи железобетонные:	
сплошные	1405,57
с круглой полостью	1791,93
полые круглого сечения	1935,44
пирамидальные	1581,25

Строительные материалы	Сметная цена, руб./м <sup>3</sup>
1. Бетон тяжелый:	
класс В7,5 (М100)	560,00
класс В10 (М150)	490,00
класс В12,5 (М150)	600,00
класс В15 (М200)	592,76
класс В22,5 (М300)	700,00
класс В 30 (М400)	790,00
2. Бетон мелкозернистый, класс В15 (М200)	490,00
3. Щебень из природного камня для строительных работ:	
фракция 20...40 мм	146,90
фракция 40...70 мм	108,40
4. Гравий для строительных работ, фракция 10...20 мм	116,50
5. Песок природный для строительных работ:	
средней крупности	55,26
крупный	59,99

### ВЫБОР ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ПОДОШВЫ ФУНДАМЕНТА ИЛИ РОСТВЕРКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СООРУЖЕНИЯ

Подшву фундамента мелкого заложения или ростверка свайного фундамента заглубляют с учетом конструктивных особенностей сооружения. При использовании типовых фундаментов их габариты принимают по сериям (типовым проектам).

**Отдельные фундаменты под железобетонные колонны для сооружения или его отсека без подвала** закладывают на глубину:

$$d = h_f = h_d + h_b,$$

где  $h_f$  – высота фундамента (кратно 300 мм), м;  $h_d$  – глубина стакана, м;  $h_b$  – толщина днища фундамента, м (см. рис. П.4.1).

Глубину стакана  $h_d$  принимают на 50 мм больше глубины заделки колонны в фундамент  $h_c$  с целью возможности рихтовки колонны при монтаже.

Глубину заделки в фундамент сборных железобетонных колонн прямоугольного сечения назначают при  $e_0 \leq 2l_c$  не менее высоты поперечного сечения колонны  $l_c$ , а при  $e_0 > 2l_c$  – не менее  $1,4l_c$ . Здесь  $e_0 = M_{01}/N_{01}$  – проектный эксцентриситет, м.

По конструктивным соображениям толщину днища фундамента  $h_b$  назначают не менее 200 мм и в дальнейшем (после определения размеров подошвы фундамента  $b$  и  $l$ ) проверяют ее прочность на продавливание колонной. Рекомендуется принимать  $h_b = b_c \dots l_c$ , где  $b_c$  и  $l_c$  – ширина и высота поперечного сечения колонны.

**Отдельные фундаменты под стальные колонны для сооружения или его отсека без подвала** закладывают на глубину:

$$d = \Delta d + h_f = \Delta d + l_{ан} + h',$$

где  $h_f$  – высота фундамента, м;  $\Delta d$  – глубина заложения обреза фундамента под стальную колонну от уровня планировки ( $\Delta d = 0,55$  м – при высоте траверсы менее 400 мм;  $\Delta d = 0,85$  м – при высоте траверсы 400 мм и более), м;  $l_{ан}$  – глубина заделки анкерных болтов, м;  $h'$  – расстояние от корня анкерного болта до подошвы фундамента, принимаемое равным не менее 0,10 м.

Длина анкерной  $l_{ан}$  зависит от конструкции и диаметра болта, механических характеристик материала болта и фундамента, а также от усилия, которое должен воспринять болт\*.

Диаметр анкерных болтов для внецентренно сжатых колонн определяют по расчету, при этом исходят из предположения, что растягивающая сила полностью воспринимается анкерными болтами.

\* Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования (к СНиП 2.09.03–85). М.: ЦНИИпромзданий, 1993.

Для жесткого сопряжения колонны с фундаментом предусматривают соответствующую заделку в бетоне фундамента анкерных болтов, установленных в плоскости (плоскостях), параллельных плоскости рамы.

Ориентировочно глубина заделки болтов в бетоне составляет 10...25 диаметров болта. Обычно диаметр анкерных болтов для стальных колонн постоянного сечения варьирует от 20 до 48 мм, для двухветвевых колонн – от 36 до 56 мм.

**Отдельные фундаменты под железобетонные колонны для сооружения или его отсека с подвалом** закладывают на глубину:

$$d = d_b + h_{cf} + h_p$$

где  $d_b$  – глубина подвала, т. е. расстояние по вертикали от уровня планировки  $DL$  до уровня пола подвала, м (определяется по высотным отметкам, указанным на разрезе сооружения);  $h_{cf}$  – толщина конструкции пола подвала, принимаемая в зависимости от воздействующего на нее гидростатического напора подземных вод, м. При расположении уровня подземных вод ниже подошвы конструкции пола подвала  $h_{cf}$  принимают равной 100...200 мм;  $h_f$  – высота отдельного фундамента (кратно 300 мм), м; при отсутствии подколоники  $h_f = h$  (здесь  $h$  – высота плитной части фундамента).

Толщину конструкции пола подвала определяют из расчета на устойчивость против всплытия:

$$\gamma_f p_w \leq \gamma_f p_{cf}$$

причем

$$p_w = \gamma_w H_0;$$

$$p_{cf} = \gamma_{cf} h_{cf}$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным 0,9 для  $p_{cf}$  и 1,2 для  $p_w$ ;  $p_w$  – давление воды на конструкцию пола подвала, кН/м<sup>2</sup>;  $p_{cf}$  – вес 1 м<sup>2</sup> конструкции пола подвала, кН/м<sup>2</sup>;  $\gamma_w$  – удельный вес воды, равный 9,8 кН/м<sup>3</sup>;  $H_0$  – высота напора воды, отсчитываемая от низа конструкции пола подвала до максимального уровня подземных вод, м;  $\gamma_{cf}$  – расчетное значение удельного веса конструкции пола подвала, кН/м<sup>3</sup>;  $h_{cf}$  – толщина конструкции пола подвала, м.

Если конструкция пола подвала получается слишком массивной, ее заводят под стены подвала, которые препятствуют всплытию, а толщину назначают конструктивно (от 100 до 200 мм). Чтобы исключить передачу нагрузки от сооружения на основание через конструкцию пола подвала, под ней устраивают прослойку из материала, более сжимаемого по сравнению с грунтом основания. Требуемые параметры (толщину и характеристику сжимаемости) прослойки можно определить исходя из рассчитанных осадок фундаментов.

При высоком уровне подземных вод могут быть применены сплошные монолитные железобетонные фундаменты, которые не подлежат обязательному рассмотрению в курсовом проекте. Такие фундаменты рассчитывают как

плиты на податливом основании с использованием аналитических [32] или численных методов.

**Ленточные фундаменты под стены для сооружения или его отсека с подвалом** закладывают на глубину:

$$d = d_b + h_{cf} + h_p$$

где  $d_b$  и  $h_{cf}$  – то же, что и в предыдущей формуле;  $h_f$  – высота плиты ленточного фундамента по ГОСТ 13580 ( $h_f = 0,3$  м – для плит шириной от 0,6 до 1,6 м;  $h_f = 0,5$  м – для плит шириной от 2,0 до 3,2 м).

При назначении глубины заложения сборного ленточного фундамента под стену для сооружения или его отсека с подвалом следует учитывать номенклатуру размеров (высот) фундаментных блоков (см. ГОСТ 13579) и требуемую (указанную на разрезе сооружения) высоту подвала.

**СБОР НАГРУЗОК НА ОСНОВАНИЕ**

При сборе нагрузок на естественное или искусственное основание фундамента мелкого заложения используют значения нагрузок и характеристик грунтов для расчета по второму предельному состоянию ( $\gamma_{II}$ ,  $\phi_{II}$ ,  $c_{II}$ ,  $N_{0II}$ ,  $N_{fII}$ ,  $N_{gII}$ ,  $Q_{0II}$ ,  $M_{0II}$  и т. д.).

На стадии разработки свайного фундамента при определении усилий в сваях собирают нагрузки, действующие в уровне подошвы ростверка (т. е. передаваемые на свайное основание). При этом расчет ведут по приводимым ниже формулам, в которых используют значения нагрузок и характеристик грунтов для расчета по первому предельному состоянию ( $\gamma_I$ ,  $\phi_I$ ,  $c_I$ ,  $N_{0I}$ ,  $N_{fI}$ ,  $N_{gI}$ ,  $Q_{0I}$ ,  $M_{0I}$  и т. д.).

Нагрузки, передаваемые на основание:

- отдельным фундаментом под железобетонную колонну для сооружения или его отсека без подвала (рис. П.4.1):

$$N = N_0 + N_f + N_b + N_g; \quad Q = Q_0;$$

$$M = M_0 + Q_0 h_f - N_b e_b;$$

- отдельным фундаментом под железобетонную колонну для сооружения или его отсека с подвалом (рис. П.4.5):

$$N = N_0 + N_f + N_w + N_g + N_{g1}; \quad Q = Q_0 + Q_a;$$

$$M = M_0 + Q_0 h_f - N_w e_w - N_{g1} e_1 + M_a;$$

- ленточным фундаментом под стену для сооружения или его отсека с подвалом (рис. П.4.3):

$$N = N_0 + N_f + N_{g1} + N_{g2}; \quad Q = Q_a;$$

$$M = M_0 - N_{g1} e_1 + N_{g2} e_2 + M_a.$$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения:

$N_0$ ,  $Q_0$  и  $M_0$  – нагрузки (вертикальная сила, кН, горизонтальная сила, кН, и изгибающий момент, кН · м), действующие на обреш фундамента;

$N_f$  – нагрузка от веса фундамента, кН;

$N_b$  и  $e_b$  – нагрузка от веса фундаментной балки, кН, и эксцентриситет ее приложения, м. Массы фундаментных балок по ГОСТ 28737 приведены в рабочих чертежах серий 1.415.1-2 и 1.815.1-1;

$N_g$  – нагрузка от веса грунта на ступенях фундамента, кН;

$N_{g1}$  и  $e_1$  – нагрузка от веса грунта на левой части ступени фундамента, кН, и эксцентриситет ее приложения, м;

$N_{g2}$  и  $e_2$  – нагрузка от веса грунта на правой части ступени фундамента, кН, и эксцентриситет ее приложения, м;

$N_w$  и  $e_w$  – нагрузка от веса стены подвала, кН, и эксцентриситет ее приложения, м;

$Q_a$  и  $M_a$  – горизонтальная сила, кН, и изгибающий момент, кН · м, в уровне подошвы фундамента (ростверка) от активного давления грунта на стену подвала.

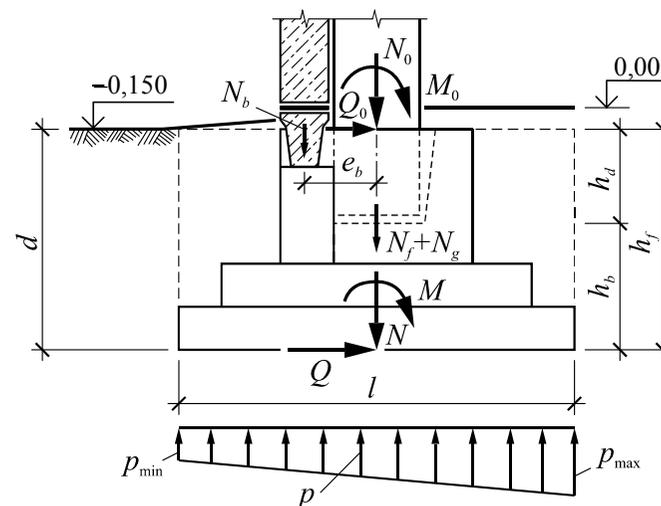


Рис. П.4.1. Расчетная схема к сбору нагрузок на основание отдельного фундамента для здания без подвала

При определении активного горизонтального давления используют  $\gamma$ ,  $\phi$  и  $c$  грунта, применяемого для засыпки пазух между стенами подвала и откосами котлована.

На данном этапе оценивают возможность использования местного (т. е. извлеченного при разработке котлована) грунта для засыпки пазух.

Для исключения воздействия сил морозного пучения на стены подвала обратную засыпку выполняют из песка средней крупности. Значение удельного веса скелета песка  $\gamma_d$  в засыпке после уплотнения должно быть не менее 16,5 кН/м<sup>3</sup>. Учитывая, что значение удельного веса частиц песка  $\gamma_s$  варьирует от 26,5 до 26,7 кН/м<sup>3</sup>, требуемое значение  $\gamma_d$  соответствует средней плотности сложения по коэффициенту пористости  $e$ .

Нормативные значения прочностных характеристик ( $\phi_n$  и  $c_n$ ) песка принимают по табл. 1 прил. 1 СНиП 2.02.01. Для перехода от нормативных значений к расчетным руководствуются п. 2.16 СНиП 2.02.01.

Если для засыпки принято использовать местный грунт, то при расчете учитывают пониженные значения его характеристик в результате нарушения природной структуры:  $\gamma'' = 0,95\gamma$ ;  $\phi'' = 0,9\phi$ ;  $c'' = 0,5c$ , при этом  $c'' \leq 7$  кПа.

Значения  $Q_a$  и  $M_a$  определяют в предположении, что поверхность грунта горизонтальна и на нее действует сплошная нагрузка интенсивностью  $q = 10$  кПа, грунт находится в состоянии предельного равновесия и оказывает активное

давление на подпорную конструкцию, при этом трение между грунтом и подпорной конструкцией отсутствует.

Активное горизонтальное давление  $\sigma_{ah}$ , кПа, на подпорную конструкцию от собственного веса грунта (с характеристиками  $\varphi$  и  $c$ ) на глубине  $z$  вычисляют по формуле

$$\sigma_{ah} = \gamma_f \sigma_{zg} \lambda_a - 2c\sqrt{\lambda_a},$$

причем

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right),$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый для грунтов обратных засыпок равным 1,0 при расчете по второму предельному состоянию и 1,15 – при расчете по первому предельному состоянию;  $\sigma_{zg}$  – вертикальное нормальное напряжение от собственного веса грунта на глубине  $z$ , кПа (см. подразд. 3.1);  $\lambda_a$  – коэффициент активного давления грунта.

При слоистой засыпке значения  $\sigma_{ah}$  определяют в уровне кровли и подошвы каждого слоя.

Активное горизонтальное давление на подпорную конструкцию от нагрузки  $q$ , равномерно распределенной по поверхности планировки, рассчитывают по формуле

$$\sigma_{qh} = \gamma_f q \lambda_a,$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый для временной нагрузки  $q$  равным 1,0 при расчете по второму предельному состоянию и 1,2 – при расчете по первому предельному состоянию.

На рис. П.4.2 показаны эпюры активного горизонтального давления на подпорные конструкции в зависимости от различных факторов.

На рис. П.4.3 и П.4.5 приведены схемы для сбора нагрузок на основание ленточного и отдельного фундамента под здание с подвалом. Засыпка выполнена однородным грунтом. Показаны эпюры активного горизонтального давления на фундамент: сплошной линией – при засыпке сыпучим грунтом; пунктиром – при засыпке связным грунтом.

Высоту вертикального откоса связного грунта, обладающего характеристиками  $\gamma$ ,  $\varphi$  и  $c$ , определяют по формуле

$$h_u = \frac{2c}{\gamma_f \gamma \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)},$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый для грунтов обратных засыпок равным 1,0 при расчете по второму предельному состоянию и 1,15 – при расчете по первому предельному состоянию.

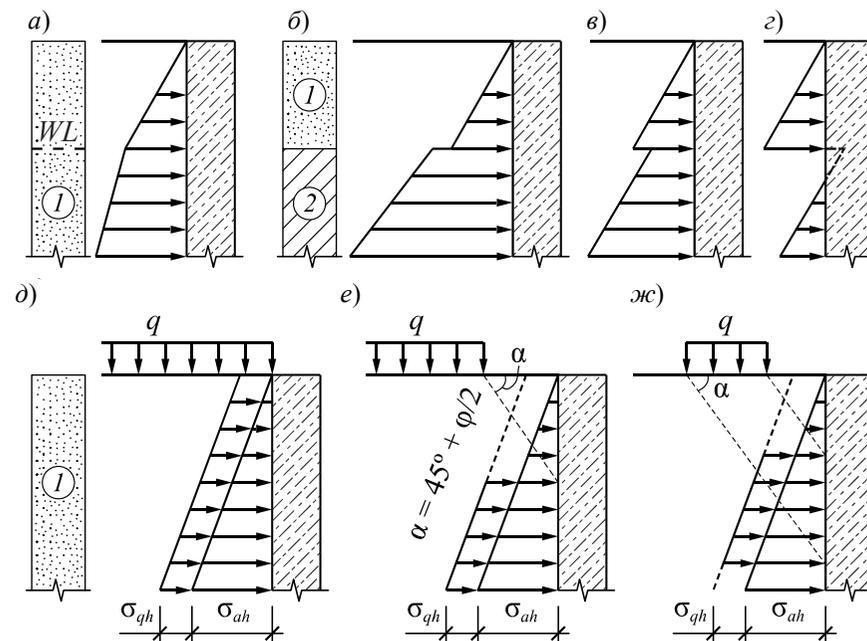


Рис. П.4.2. Эпюры активного горизонтального давления грунта на подпорную конструкцию: *a* – при наличии уровня подземных вод; *b*, *в* и *г* – при слоистой (неоднородной) засыпке; *д*, *е* и *ж* – при равномерно распределенной нагрузке на поверхности; *1* – сыпучий грунт; *2* – связный грунт

При однородной засыпке пазух между фундаментом и откосами котлована значение  $\sigma_{ah}$  рассчитывают:

- в уровне планировки

$$\sigma_{ah,1} = -2c\sqrt{\lambda_a};$$

- в уровне подошвы фундамента

$$\sigma_{ah,2} = \gamma_f \gamma h \lambda_a - 2c\sqrt{\lambda_a}.$$

Для отдельных фундаментах с подвалом значение  $\sigma_{ah,2}$  определяют в уровне низа стены подвала (см. рис. П.4.5).

Интенсивность активного давления на стену подвала от собственного веса засыпки (из однородного грунта) и нагрузки на поверхности находят так:

$$\sigma_{\min} = \sigma_{ah,1} + \sigma_{qh};$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{ah,2} + \sigma_{qh}.$$

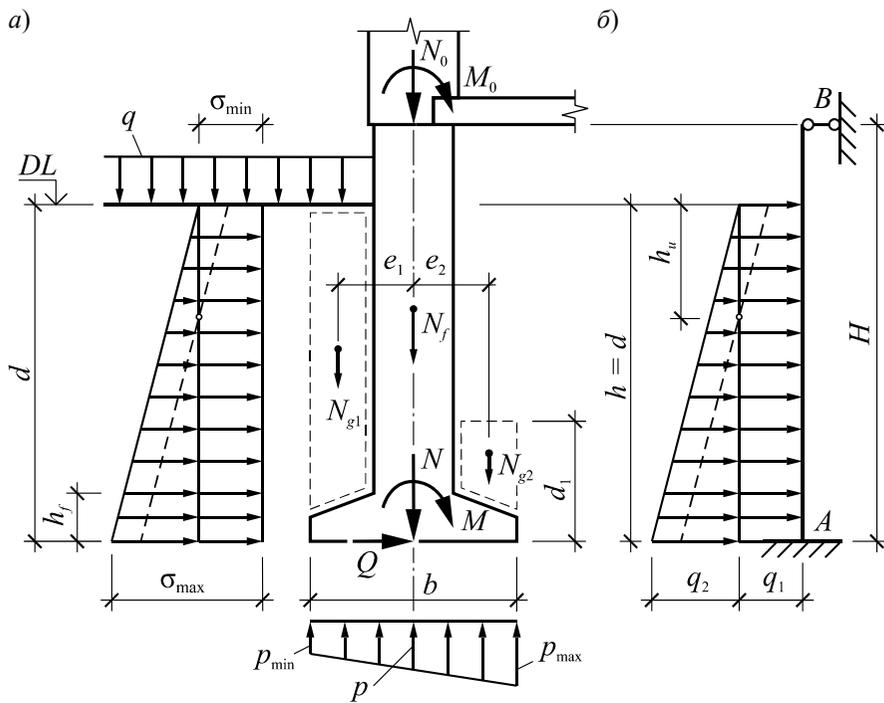


Рис. П.4.3. Расчетные схемы к сбору нагрузок на основание ленточного фундамента для здания с подвалом

Интенсивность прямоугольной  $q_1$  и треугольной  $q_2$  нагрузок вычисляют по формулам

$$q_1 = \sigma_{\min} L;$$

$$q_2 = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) L,$$

где  $L$  – длина грузовой площади, которая для ленточных фундамента равна 1 пог. м, а для отдельных фундамента – расстоянию между колоннами, удерживающими стену подвала.

В курсовом проекте допускается не учитывать податливость опор  $A$  и  $B$  на рис. П.4.3 (см. [28, 33, 34]). Поэтому для нахождения поперечной силы  $Q_a$  и изгибающего момента  $M_a$  в заделке от активного давления грунта на стену подвала можно использовать следующие формулы\*.

\* Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Книга 1 / Под ред. А. А. Уманского. М.: Стройиздат, 1972. С. 385.

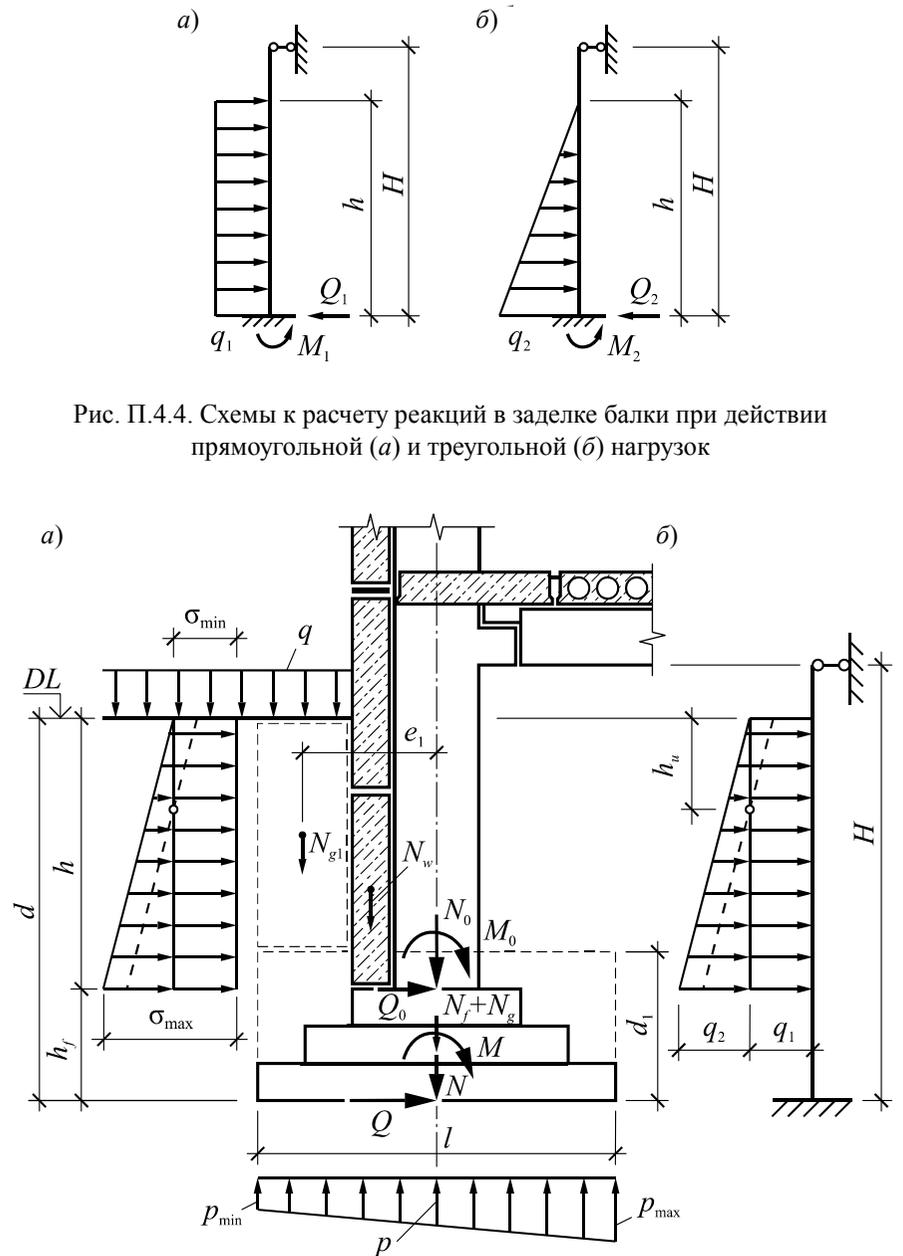


Рис. П.4.4. Схемы к расчету реакций в заделке балки при действии прямоугольной (а) и треугольной (б) нагрузок

Рис. П.4.5. Расчетные схемы к сбору нагрузок на основание отдельного фундамента для здания с подвалом

Реакции в заделке от прямоугольной нагрузки интенсивностью  $q_1$  (см. рис. П.4.4, а):

$$Q_1 = \frac{q_1 h}{8} (k^3 - 4k^2 + 8);$$

$$M_1 = \frac{q_1 H^2}{8} k^2 (2 - k)^2; \quad k = \frac{h}{H}.$$

Реакции в заделке от треугольной нагрузки интенсивностью  $q_2$  (см. рис. П.4.4, б):

$$Q_2 = \frac{q_2 H}{40} k (k^3 - 5k^2 + 20);$$

$$M_2 = \frac{q_2 H^2}{120} k^2 (3k^2 - 15k + 20); \quad k = \frac{h}{H}.$$

Суммарные реакции в уровне подошвы ленточного фундамента (ростверка) от давления однородного грунта на стену подвала:

$$Q_a = Q_1 + Q_2;$$

$$M_a = M_1 + M_2.$$

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие положения .....	3
Содержание дисциплины .....	3
Указания по изучению теоретического курса .....	7
Исходные данные для курсового проекта .....	8
Состав и оформление курсового проекта .....	10
Последовательность выполнения курсового проекта .....	13
1. Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки .....	13
1.1. Дополнительные характеристики грунтов .....	13
1.2. Нормативная глубина сезонного промерзания грунта .....	14
1.3. Расчетные сопротивления грунтов .....	15
1.4. Заключение об инженерно-геологических условиях строительной площадки .....	18
2. Оценка конструктивных особенностей сооружения .....	18
3. Выбор основного типа фундамента сооружения .....	19
3.1. Фундамент на естественном основании .....	24
3.2. Свайный фундамент .....	33
3.3. Фундамент на песчаной подушке .....	40
4. Конструирование и расчет фундаментов сооружения .....	44
5. Рекомендации по производству работ нулевого цикла .....	47
Защита курсового проекта .....	49
Литература для курсового проектирования .....	54
Приложения .....	57
Приложение 1. Исходные данные для курсового проекта .....	57
Приложение 2. Расценки на работы нулевого цикла .....	73
Приложение 3. Выбор глубины заложения подошвы фундамента или ростверка в зависимости от конструктивных особенностей сооружения .....	79
Приложение 4. Сбор нагрузок на основание .....	82

## ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Методические указания

Составители: **Мангушев** Рашид Александрович,  
**Ершов** Андрей Владимирович

Редактор О. Д. Камнева  
Корректор М. А. Молчанова  
Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 02.07.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 5,3. Тираж 400 экз. Заказ 52. «С» 33.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5.