

Оглавление

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ПОСТРОЕННЫЕ ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ	7
2. КОНСТРУКЦИИ, ТИПЫ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	9
3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	11
4. ДОПУСТИМЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ.....	14
5. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	15
6. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	18
7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ И ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ (КУРСОВОГО ПРОЕКТА)	21
8. ПРИМЕР РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	21
8.1. Пример аналитических расчетов	21
8.2. Пример численного расчета	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	37

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Баретта — опора глубокого заложения, выполняемая методом «стены в грунте», может иметь L-, T- или крестообразную форму.

Высотное здание — здание, высота которого превышает 75 м.

Высотный комплекс — несколько зданий, одно или некоторое количество из которых обязательно является высотным, связано переходами, подземной или стилобатной частью.

Комбинированный свайно-плитный фундамент — фундамент, передающий нагрузку на основание как через плиту, так и через сваи.

Свайное поле — фундамент, состоящий из большого количества свай, имеющий общий ростверк и передающий нагрузку на основание только через сваи.

Сплошной монолитный фундамент (плитный) — фундамент в виде плиты из монолитного железобетона, возводимый под всей площадью здания или сооружения.

Стена в грунте — искусственно выполненная противофильтрационная или несущая конструкция из бетона или железобетона в грунте.

ВЗиС — высотные здания и сооружения.

ФВЗиС — фундаменты высотных зданий и сооружений.

КСПФ — комбинированный свайно-плитный фундамент.

ППР — проект производства работ.

РСР — разрядно-селепульсная обработка.

ВВЕДЕНИЕ

Высотными зданиями и сооружениями считаются объекты высотой более 75 м.

Согласно СП 267.1325800.2016 [1] срок службы высотного здания (комплекса) должен быть не менее 100 лет. В Москве только в районе Москва-Сити возведено 20 небоскребов.

Во многих крупных российских городах возведены высотные здания: в Москве — деловой центр «Москва-Сити», ЖК The MID на Ленинском проспекте и др., в Санкт-Петербурге — общественно-деловой комплекс «Лахта Центр», в Чеченской республике — многофункциональный высотный комплекс «Ахмат Тауэр» и многие другие.

В учебно-методическом пособии приведены примеры возведенных высотных зданий и сооружений, рассмотрены требования к инженерно-геологическим изысканиям, вопросы проектирования конструкций нулевого цикла в высотном строительстве и технологии их устройства, даны указания по выполнению курсовой работы по проектированию фундаментов высотных зданий.

1. ПОСТРОЕННЫЕ ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

За рубежом и в нашей стране возведено большое количество высотных зданий. Особое место занимают небоскребы (skyscraper) — здания высотой 150 м и более. К 2020 г. в мире сооружено 26 зданий высотой более 300 м, 126 зданий высотой более 200 м. На рис. 1 [2] показаны высотные здания России и Европы.

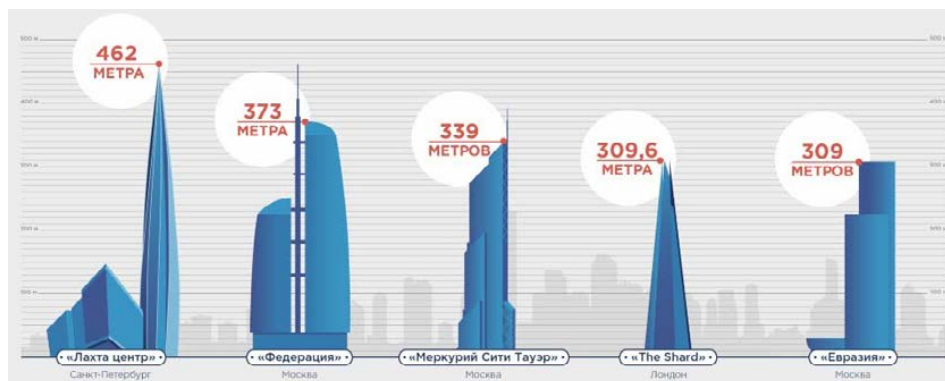


Рис. 1. Высотные здания России и Европы

Строительство высотных зданий в России

Колокольня Ивана Великого

Колокольня Ивана Великого в Московском Кремле высотой 81 м (рис. 2), возводимая с 1505 по 1600 год, была первой высоткой Москвы.



Рис. 2. Колокольня Ивана Великого в Московском Кремле

Ее фундамент из глыб белого камня, заглубленный на 4,3 м от уровня поверхности, имеет вид расширяющейся в глубину пирамиды диаметром 25 м, опирающийся на дубовые сваи длиной 1,5 м.

Храм Христа Спасителя

На месте разрушенного в 1931 г. Храма Христа Спасителя в 1990-х гг. был воссоздан одноименный храм, имеющий высоту 103,5 м (рис. 3).



Рис. 3. Храм Христа Спасителя (до разрушения)

Сталинские высотки в Москве

В период с 1947 по 1957 год в Москве были построены семь высотных зданий — «Семь сестер», или сталинские высотки (рис. 4).



Рис. 4. Сталинские высотки в Москве: *а* — гостиница «Ленинградская»;
б — жилой дом на Кудринской площади; *в* — главный корпус МГУ;
г — административно-жилой дом у Красных Ворот; *д* — здание Министерства иностранных дел;
е — жилой дом на Котельнической набережной; *ж* — гостиница «Украина»

При откопке котлована для *гостиницы «Ленинградская»* (в настоящее время — отель Hilton Moscow Leningradskaya), имеющей высоту 136 м и 21 этаж (рис. 4, *а*), встретились подземные воды, для исключения влияния которых по периметру сооружения было сделано ограждение из свай. 24-этажный *жилой дом на Кудринской площади* (рис. 4, *б*), построенный в 1954 г., имеет высоту 156 м (24 этажа). *Главный корпус МГУ* (рис. 4, *в*) высотой 236 м (36 этажей) имеет фундамент в виде коробчатой конструкции высокой жесткости. Над его проектом работал создатель Останкинской телебашни Н.В. Никитин. При строительстве *дома у Красных Ворот* высотой 138 м (24 этажа) (рис. 4, *г*) производилось замораживание грунта только под одним крылом, где находился вестибюль метро. Размораживание могло привести к крену здания, поэтому здание строилось с уклоном. Административное *здание Министерства иностранных дел* 1953 г. постройки (рис. 4, *д*) имеет 27 этажей и высоту 172 м. Высота 26-этажного *дома на Котельнической набережной* (рис. 4, *е*) равняется 176 м. *Гостиница «Украина»* (рис. 4, *ж*) (в настоящее время — отель Radisson Collection) имела котлован на 8 м ниже уровня подземных вод под защитой двухконтурной системы иглофильтров. Здание высотой 206 м имеет 34 этажа.

Останкинская телебашня



Рис. 5. Останкинская телебашня

Телебашня (рис. 5) запроектирована инженерами Н.В. Никитиным и В.И. Травушем, имеет высоту с флагштоком 540,1 м, глубину фундамента — 4,6 м, толщину — 3,0 м, с площадью опирания 2037 м². В коническом основании сооружения диаметром 60 м расположены 10 опор высотой 62 м; 149 канатов обжимают кольцевые сечения ствола башни. При максимальных скоростях ветра отклонение вершины башни может достигнуть 12 м. Инженерно-геологический разрез площадки представлен сверху вниз следующими видами грунтов: насыпной грунт — 2–3 м; морена с гравием и галькой — 5–6 м ($E = 90$ МПа); пески и супеси — до глубины 40 м ($E = 30$ –40 МПа); ниже — известняки (скальные грунты).

2. КОНСТРУКЦИИ, ТИПЫ ФУНДАМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

На проектирование фундаментов высотных зданий влияет следующее: неравномерно увеличивающийся с ростом высоты здания его вес; действующие ветровые нагрузки, которые вызывают появление горизонтальной силы и изгибающего момента в фундаментах, что приводит к возрастанию усилий в краевых сваях и давлению по подошве фундамента; конструктивная схема здания; расположение наиболее нагруженных элементов жесткости здания, например ядер жесткости, лифтовых и лестничных клеток, несущих стен; наличие стилобатной части и окружающей застройки; удаленность здания от ограждающей конструкции котлована.

Выбор конструктивной схемы здания определяется его этажностью (табл. 1) [3; 4].

Таблица 1

Рекомендуемая конструктивная схема высотного здания

Количество этажей n	Конструктивная схема
$n \leq 20$	Железобетонный каркас: рамно-шарнирный и рамно-жесткий — наиболее гибкий
$20 \leq n \leq 30$	Металлический каркас: рамно-жесткий
$30 \leq n \leq 35$	Шарнирный металлический каркас с железобетонным ядром
$35 \leq n \leq 40$	Рамный жесткий каркас с диафрагмами жесткости
$40 \leq n \leq 60$	Стальной каркас с железобетонным ядром
$60 \leq n \leq 70$	Железобетонный каркас с железобетонным ядром
$70 \leq n \leq 150$	Аутригерные этажи с железобетонным ядром

При аутригерной системе, применяемой в зданиях выше 100 этажей, жесткие аутригерные этажи уменьшают изгибающий момент в ядре за счет частичной передачи нагрузки на колонны. Примером служит самое возвышающееся строение ансамбля «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге высотой 462 м, имеющее 87 надземных и три подземных этажа. Здание башни небоскреба имеет закрученную конусообразную форму. Подземные этажи в виде равностороннего пятиугольника в плане имеют длину каждой стороны 57,5 м.

В Германии в период с 1960 по 1980 год на плитных фундаментах толщиной до 4,0 м был возведен ряд зданий, высота которых приближалась к 180 м. Проект предусматривал отделение осадочными швами высотной части. Глубина котлована для устройства подземной части достигала 25 м. Предусматривались специальные мероприятия для предотвращения эксцентриситета, приводящего к крену, например устройство временных анкеров, применение гидравлических домкратов и др. Однако, несмотря на все усилия по сохранению симметрии сооружения, осадки основания достигли 30 см и крены имели место.

Рекомендуется придерживаться приведенных ниже принципов конструирования и проектирования фундаментов высотных зданий и сооружений (ФВЗиС): соблюдать равенство между весом сооружения и весом извлеченного грунта; создавать жесткий фундамент с увеличением площади опирания на грунт; предпочтение отдавать пирамидальной форме здания; жесткостные элементы размещать симметрично относительно центра здания, а само здание — в центре котлована; с увеличением высоты здания выбирать пониженные величины предельных деформаций основания.

Классификация по типам ФВЗиС приведена на рис. 6 [3].

Фундаментами на естественном основании могут быть сплошная фундаментная плита, а также столбчатые или ленточные фундаменты.

Выбор типа фундамента определяется напластованиями грунтов на площадке строительства и этажностью здания. Рекомендуется применять: *плитный фундамент* — на песках средней плотности и переуплотненных глинах при высоте здания 75–150 м, на песках плотных и гравелистых, переуплотненных глинах при высоте здания 75–300 м, на крупнообломочных грунтах

при высоте здания более 300 м; *сваи* — на песках средней плотности и переуплотненных глинах при высоте здания 150–300 м и более, на песках плотных, гравелистых грунтах, твердых глинах для зданий высотой более 300 м; *фундаменты в виде столбов и лент* — если высота здания находится в диапазоне 75–300 м и в основании залегают скальные и крупнообломочные грунты, как это имело место при возведении небоскребов в США (Нью-Йорк) [3].

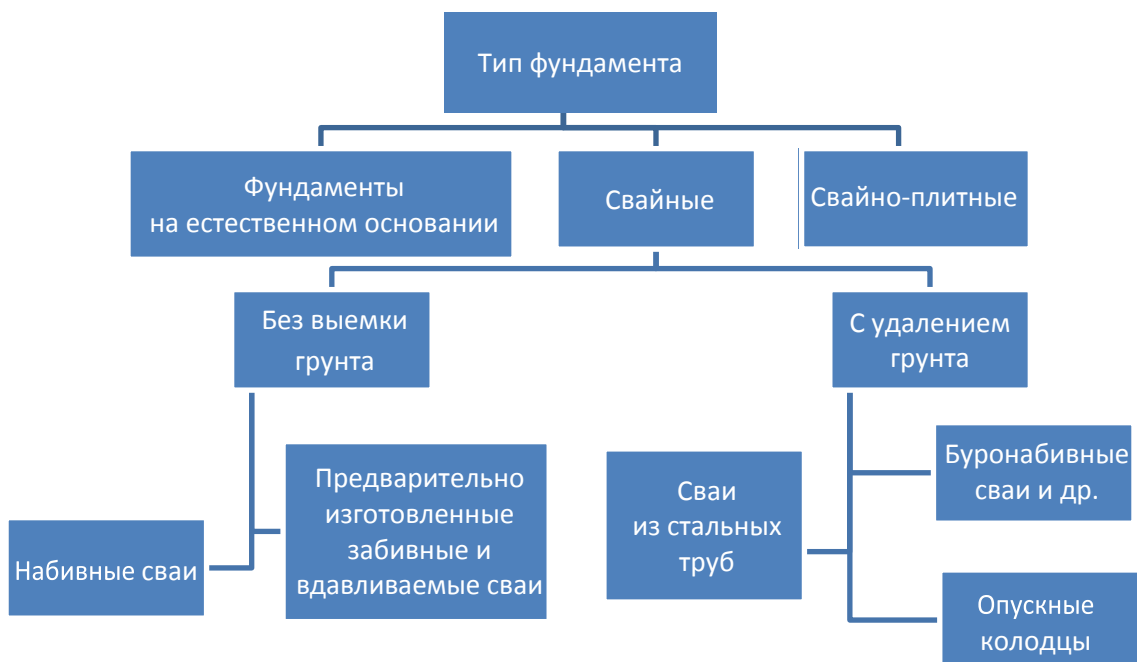


Рис. 6. Классификация фундаментов высотных зданий и сооружений

Центральному ядру здания «Башни Банка Америки» [5] высотой 366 м, возведенного на сланцевых породах, способных воспринимать давление до 4 МПа, служат фундаменты в виде ленты, а колоннам — в виде столбов.

Толщина фундаментных плит высотных зданий находится в интервале от 1,0 до 2,5 м и более. Для ее уменьшения там, где возникают наибольшие по величине поперечные силы и изгибающие моменты, устраиваются коробчатый фундамент (рис. 7), объединенный с надземными конструкциями, а также ребра жесткости; под колоннами выполняются локальные уширения фундамента; устраиваются консольные фундаменты для увеличения площади опирания.



Рис. 7. Устройство коробчатой фундаментной плиты здания МГУ

3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

Особенности исследования грунтов на площадках высотных зданий и сооружений

Согласно СП 267.1325800.2016 [1] перед началом проектирования ФВЗиС выполняется анализ архивных данных инженерно-геологических изысканий и разрабатываются концептуальные решения, затем проводятся инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания, в состав которых входят: испытание грунтов сваями (рис. 8); выбор модели и параметров грунта, расчетной программы; геотехнические расчеты, составляющие вместе геотехническое обоснование выбора ФВЗиС.



а



б

Рис. 8. Испытание грунтов сваями при строительстве ЖК The MID на Ленинском пр., 97 в Москве:
а — статической нагрузкой; *б* — динамической нагрузкой

Предусмотрены два этапа проведения буровых работ и исследования грунтов при проектировании ФВЗиС. Первый этап — предпроектный, включающий бурение не менее двух скважин на противоположных сторонах площадки строительства, на расстоянии между ними не более 50 м, — предназначен для выбора концепции нулевого цикла, формирования программ изысканий и технических заданий. Второй этап — проектный, предусматривающий бурение не менее пяти скважин: одной в центре и четырех по углам площадки, при расстоянии между ними не более 20 м, — для получения проектной документации. При этом, кроме лабораторных испытаний грунтов, должны быть проведены полевые испытания грунта, например штамповые, прессиометрические, сваями, сдвиг целика и др.

Особенности проектирования фундаментов высотных зданий и сооружений

Для исключения возможности наступления предельного состояния при проектировании ФВЗиС в расчеты вводится требуемый коэффициент надежности γ_g (табл. 2).

Таблица 2

Требуемый коэффициент надежности γ_g к модулю деформации грунта E	
Высота здания, м	γ_g
75–100	1,1
≥ 500	1,2

Примечание. При высоте здания более 100, но менее 500 м величина γ_g определяется по интерполяции.

Поскольку крайние и угловые сваи более нагружены, чем центральные, при проектировании применяются следующие приемы: центральные сваи проектируются длиннее периферийных либо большего диаметра или сопротивления по боковой поверхности за счет дополнительной цементации.

Для подземных конструкций высотных зданий и сооружений (ВЗиС) используются тяжелые бетоны с водонепроницаемостью W8 класса прочности на сжатие B40 и B35 для плит и свай соответственно.

Особенности расчета фундаментов высотных зданий и сооружений

В соответствии с [6; 7] расчеты ФВЗиС производятся по I и II предельным состояниям на постоянные, длительные и кратковременные нагрузки.

В предварительных расчетах устойчивости и деформаций основания надземные конструкции можно моделировать одним этажом, задав ему приведенную жесткость.

В комбинированном свайно-плитном фундаменте (КСПФ) реализуется совместная работа сваи и плиты [8], которая наступает только после осадки плиты в несколько сантиметров. При такой величине осадки свая получает максимальное сопротивление по ее боковой поверхности.

Расчетные нагрузки на сваю вычисляются по формулам:

$$N_{\min} = \gamma_0 F_d / (\gamma_n \gamma_k); \quad (1)$$

$$N_{\max} = \gamma_0 F_d \gamma_n \gamma_k, \quad (2)$$

где γ_0 — коэффициент условий работы;

F_d — несущая способность сваи, определенная по результатам испытания;

γ_n — коэффициент надежности по назначению;

γ_k — коэффициент надежности по грунту.

Расчет КСПФ предусматривает вычисление минимального и максимального значений F_d .

В КСПФ коэффициент α_{CPRF} демонстрирует соотношение нагрузок, приходящихся на сваи и фундаментную плиту, и определяется по формуле

$$\alpha_{\text{CPRF}} = R_{\text{св}} / R_{\text{общ}}. \quad (3)$$

На значение α_{CPRF} оказывают влияние такие факторы, как шаг и длина свай, нагрузка на фундамент, инженерно-геологические условия площадки строительства. Предварительную осадку КСПФ можно определить по графику, приведенному на рис. 9.



Рис. 9. Зависимости осадки комбинированного свайно-плитного фундамента ($S_{\text{КСПФ}}/S_{\text{ПФ}}$), отнесенной к осадке плитного фундамента, от коэффициента α_{CPRF}

Зная осадку плитного фундамента $S_{\text{ПФ}}$ и коэффициент α_{CPRF} , можно определить осадку КСПФ $S_{\text{КСПФ}}$ [8].

Необходимое для предварительных расчетов количество свай устанавливается из отношения значения предельной к значению расчетной осадки для варианта фундамента в виде плиты и в виде свай [9–12].

Затем уточняются величины осадки КСПФ по результатам численного моделирования в пространственной постановке, которое учитывает взаимодействие плиты, грунтового основания и свай, а также взаимодействие между сваями.

Для проектирования КСПФ необходимо, чтобы значение α_{CPRF} не превышало 0,9, а соотношение модуля деформации грунта под плитой $E_{s,\text{top}}$ и модуля деформации грунта на уровне низа свай $E_{s,\text{bottom}}$ — 0,1. Кроме того, должны отсутствовать прослойки грунта, у которых модуль деформации меньше аналогичной характеристики грунта под плитой.

Если в пределах длины свай встречены более слабые грунты, чем под плитным ростверком, то необходимо провести закрепление грунтов путем инъектирования в основание цементного раствора, а также уплотнить грунт под фундаментной плитой [13].

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru