

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая монография посвящена опыту строительства на двух основных типах грунтов оснований, залегающих в разных географических регионах — Санкт-Петербурге и его окрестностях и Центрально-Азиатском регионе, куда входят Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан, Туркменистан и Таджикистан. Дополнительной особенностью строительства в центральноазиатских государствах является то, что они расположены в сейсмически активных районах.

К структурно-неустойчивым грунтам относятся грунты со специфическими свойствами и, в первую очередь, обладающие большой сжимаемостью и малой прочностью. Название «структурно-неустойчивые» грунты достаточно условно, так как при воздействиях (различных для различного вида грунтов), когда структурные связи еще не нарушаются, грунты будут иметь вполне устойчивую структуру. Однако при некоторых *добавочных* физических или механических воздействиях резко нарушается структура таких грунтов, что обуславливает существенное ухудшение их физико-механических свойств: значительное увеличение сжимаемости и уменьшение прочности.

Структурно-неустойчивыми грунтами являются: *лессовые* макропористые, структура которых нарушается при замачивании под нагрузкой; *мерзлые* и *вечномерзлые*, структура которых разрушается при оттаивании; рыхлые пески, резко уплотняющиеся при динамических воздействиях; торфы, *илы* и *чувствительные тиксотропные суглинки* и *глины*, деформационные и прочностные свойства которых значительно ухудшаются при нарушении их естественной структуры.

Грунтовые условия Санкт-Петербурга, для которого характерны большие толщи слабых пылевато-глинистых водонасыщенных грунтов, обладающих свойством тиксотропии, характерны для многих прибрежных городов мира.

В первой части монографии представлен опыт строительства в Санкт-Петербурге (Ленинграде), в том числе ретроспективный, обзор и описание используемых конструкций фундаментов и подземных сооружений, основным применяемым в регионе технологиям. Особое внимание уделено описанию устройства подземных частей уникальных зданий и сооружений при новом строительстве и реконструкциях, выполненных в Санкт-Петербурге и его окрестностях за последние 15–20 лет.

Во второй части монографии представлен опыт изучения специфических для Центрально-Азиатского региона маловлажных лессовых просадочных грунтов и пород в условиях подтопления и при изменении их физико-механических свойств. В нем рассмотрены инженерно-геологические условия региона, причины подтопления грунтов оснований на примере Республики Таджикистан, типовые схемы залегания слабых водонасыщенных лессовых грунтов, результаты исследований по определению и оценке эффективных методов подготовки оснований и устройства фундаментов на этих грунтах с учетом высокой сейсмичности территорий строительства.

Опыт строительства на указанных специфических структурно-неустойчивых грунтах, представленный в монографии, может быть весьма полезным для использования инженерам-строителям, специалистам в области геотехники, научным работникам и аспирантам, работающим в области инженерной геологии, проектирования и устройства оснований и фундаментов.

Авторы приносят благодарность лицам и организациям, оказавшим помощь в предоставлении информации по ряду объектов, представленным в монографии и способствовавших проведению лабораторных и натурных экспериментов. В первую очередь, это бывшие и настоящие сотрудники кафедры геотехники (механики грунтов, оснований и фундаментов) Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ — ЛИСИ), кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» Таджикского технического университета (ТТУ), АООТ ТаджикГИИНТИЗ, ЗАО «Гео-строй», ЗАО «Геоизол», группе компаний «Геореконструкция», ООО «СК Подземстрой-реконструкция» и др. проектных и строительных организаций.

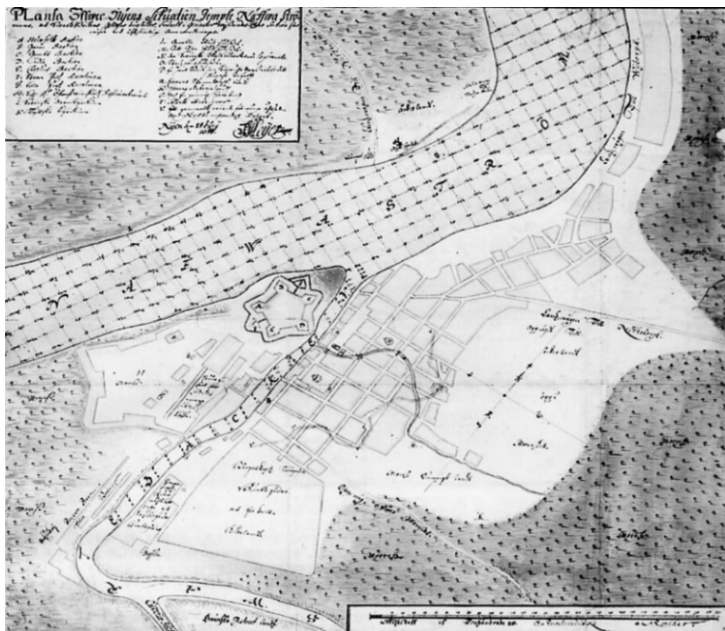
Часть I

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА
И РЕКОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Санкт-Петербург — уникальный город России, появившийся по воле императора Петра I чуть более 300 лет назад на пустынных берегах дельты р. Невы при впадении ее в Невскую губу Финского залива.

На рисунке (см. ниже) приведена шведская карта 1698 г., где прорисованы шведская цитадель Ниеншанц с пятью бастионами и небольшой городок Ниен. Обширные территории вокруг г. Ниена и за р. Невой напротив него, обозначены как заболоченные земли и болота (С. В. Семенцов, 2006).



План расположения шведского г. Ниена на месте впадения р. Ижоры в Неву

Со дня основания Санкт-Петербург замыслился как столица государства и застраивался каменными и во многом уникальными для того времени зданиями, которые сейчас по праву считаются памятниками архитектуры.

Современная дельта Невы образовалась около 3–4 тыс. лет назад прорывом вод Ладожского озера в Финский залив. Берега реки были заболочены. Обширные болота были на месте нынешних Гостиного двора, Горного института, района Коломны, района Купчино и др. До наших дней сохранились Лахтинское и Шуваловское болота.

Площадь дельты Невы — 83 км². Река вытекает из Шлиссельбургской губы Ладожского озера и впадает в Финский залив у Невских ворот. На протяжении 32 км Нева протекает по нынешней территории города.

Санкт-Петербург лежит как бы в огромной чаше, вытянутой с севера на юг. Края этой чаши — берега древнего Балтийского озера: на севере и северо-востоке — Колтушские и Парголово-ские высоты (до 60 м над уровнем моря), на юге и юго-западе — Дудергофские (до 176 м), Пушкинские и Пулковские (до

75 м). Вся территория города расположена у залива и входит в состав Приневской низменности. Материковая часть города возвышается всего на 2–3 м над уровнем моря, и лишь Выборгский и Смольнинский районы выше этой отметки на 6–24 м. Протяженность города с севера на юг — 44 км, с востока на запад — 25 км.

Кристаллические породы залегают на глубинах 175–200 м.

Значительная часть города расположена на островах. В первой четверти XIX в. их было 147, в конце XIX в. — 101, а к 1976 г. в черте города осталось всего 42. Самый крупный естественный остров города — Васильевский, его площадь — 10,9 км².

Нынешняя площадь территории города — 1,4 тыс. км². Из них территория высокоплотной, почти сплошной застройки составляет 650 км². В 18 административных районах проживают 4,6 млн чел. (по данным на начало 2010 г.).

Величественный облик Санкт-Петербурга определяют архитектурные ансамбли, строгие прямые улицы, просторные площади, сады и парки, реки и многочисленные каналы, набережные, мосты, узорчатые ограды, монументальные и декоративные скульптуры.

Архитектурные ансамбли XVIII–XX вв.: Петропавловская крепость, Александро-Невская лавра, Смольный институт, Дворцовая площадь с Зимним дворцом, Адмиралтейство, Невский проспект, стрелка Васильевского острова со зданием Биржи, Сенатская площадь с памятником Петру I, улица Зодчего Росси и площадь Островского, площадь Искусств, Исаакиевская площадь и сформированная во второй половине XX в. площадь Восстания и другие находятся под охраной ЮНЕСКО. В 1950–1980-х гг. выстроены новые жилые районы, административные и общественные здания, многие из которых продолжили достойные петербургские архитектурные традиции.

Всего к настоящему времени под охраной государства в Санкт-Петербурге находится около 8 тыс. памятников архитектуры.

Несмотря на то, что Санкт-Петербург сравнительно молод относительно других городов России и Европы, многие его здания постройки XVIII — начала XX вв. находятся в неудовлетворительном техническом состоянии — трещины в стенах и других несущих элементах, сырость в нижних этажах из-за нарушенной гидроизоляции и засорения дренажей, перекос конструкций из-за неравномерных осадок фундаментов и т. п.

В первой части книги представлены причины этих неблагоприятных явлений, связанных с инженерно-геологическими особенностями территории города, основаниями и фундаментами сооружений, приведены примеры устройства и реконструкции фундаментов ряда исторических зданий, проведен анализ некоторых аварийных ситуаций, на примерах рассмотрены методы усиления старых и устройства новых фундаментов и подземных сооружений. Отдельная глава посвящена научно-техническому сопровождению устройства и реконструкции подземных частей зданий и сооружений Санкт-Петербурга.

ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

1.1. Особенности устройства фундаментов старых зданий в историческом центре Санкт-Петербурга

Строительство и развитие города в XVIII в. начиналось в устье р. Невы на территориях нынешних Центрального, Петроградского, Василеостровского и Адмиралтейского районов. Характерной особенностью напластования грунтов в этой части города является большая мощность напластования слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов отложений балтийского ледникового озера, перекрытых аллювиальными дельтовыми наносами р. Невы, представленными преимущественно мелкозернистыми и пылеватыми песками (см. гл. 2).

С момента закладки первой городской крепости — Петропавловской город, по замыслу Петра I, развивался и застраивался как столичный европейский город с регулярной застройкой. Здания и сооружения уже в начале XVIII в. преимущественно возводились каменными. Основными строительными нормативными документами считались Строительное уложение Петра Великого (1710), Новое строительное уложение (1820) и Урочное положение Рошефора (1889).

В соответствии с первыми двумя документами при устройстве бутовых фундаментов на слабых грунтах ниже горизонта подземных вод рекомендовалось использовать горизонтально уложенные деревянные бревна (лежни) (рис. 1.1).



Рис. 1.1.

Вид бутового фундамента с лежнями под здание по Казачьему переулку и Литейному проспекту

В качестве лежней использовались стволы лиственницы или хвойных пород — елей или сосны. Продольно уложенные вдоль траншеи деревянные стволы позволяли распределять давление на слабые водонасыщенные слои грунта и сократить расход дефицитного для того времени материала — камня. Камень привозили из карьеров, расположенных на севере под г. Выборгом, или добывали известняковые плиты в южной части губернии.

Многочисленные результаты вскрытия фундаментов старых зданий показали, что при нахождении ниже уровня грунтовых вод, даже по прошествии более двух веков, дерево находится в удовлетворительном состоянии.

При низком уровне грунтовых вод бутовая кладка выполнялась прямо в открытых траншеях. До 30-х гг. XX в. основными типами фундаментов были бутовые фундаменты из известнякового камня, песчаника, иногда гранитных камней или диабаз диаметром до 80 см. Камни тщательно подбирались, подгонялись и укладывались на известковом растворе с перевязкой. С начала XX в. стал использоваться цементный раствор.

На слабых грунтах центральной исторической части Санкт-Петербурга иногда использовались деревянные сваи длиной до 10 м. Так, при строительстве Исаакиевского собора было использовано 24 тыс. деревянных свай сечением 0,26 м (рис. 1.2).

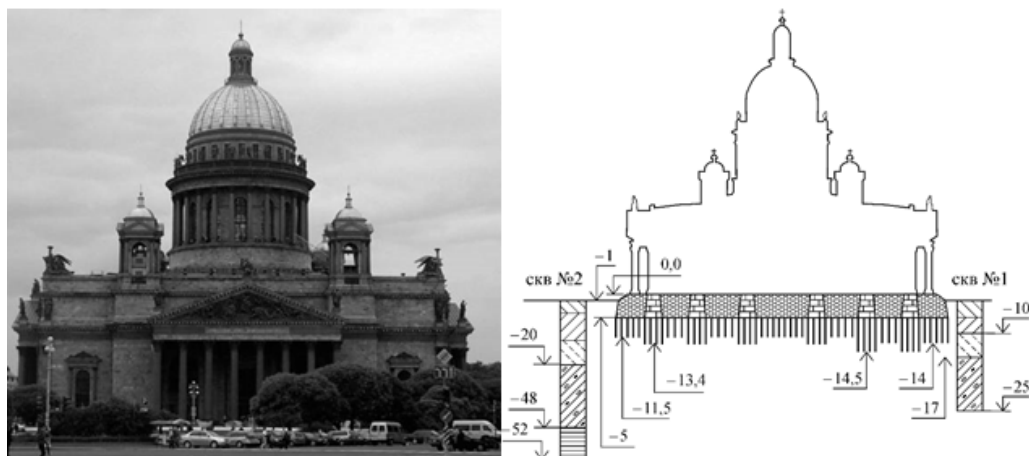


Рис. 1.2

*Общий вид Исаакиевского собора и схематический разрез его фундамента
(по С. Н. Сотникову, 1986)*

На рисунке 1.3 приведена фотография вскрытых лежней и деревянной свай под подошвой фундамента бывшего особняка графини Паниной на набережной р. Фонтанки, д. 7. Сами лежни и головы свай находились в подгнившем состоянии.

На рисунке 1.4 представлены поперечные разрезы типичных ленточных и плитных фундаментов гражданских и жилых зданий, построенных до начала XX в. в Санкт-Петербурге (Б. И. Далматов и др., 2002). Формы и виды применяемых фундаментов зданий дореволюционной постройки, а также их размеры были самыми разнообразными.



Рис. 1.3

Фото лежней и свай под фундаментами здания по набережной р. Фонтанки, д. 7

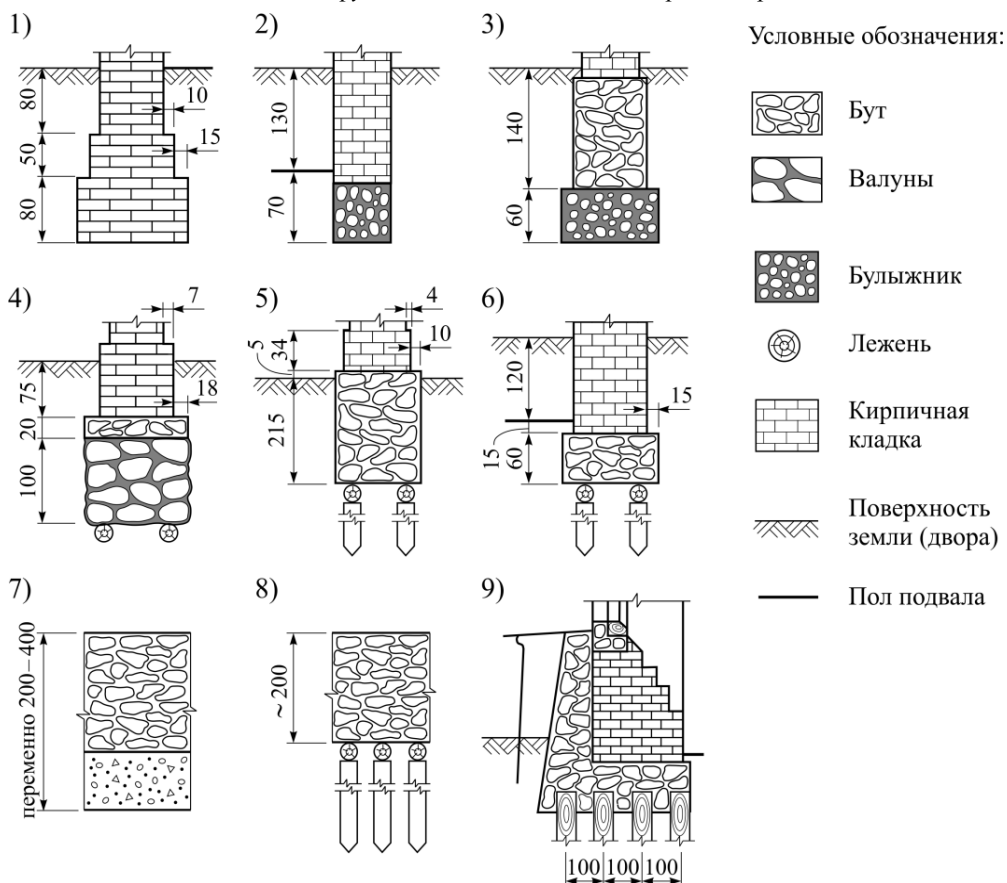


Рис. 1.4

Примеры некоторых типов фундаментов старинных зданий Санкт-Петербурга по результатам обследований (по С. Н. Сотникову)

На рисунке 1.5 представлен пример, когда фундаментными балками, соединяющими бутовые отдельно стоящие фундаменты под несущие стены одного из зданий на Васильевском острове, служили кирпичные арки (рис. 1.6).

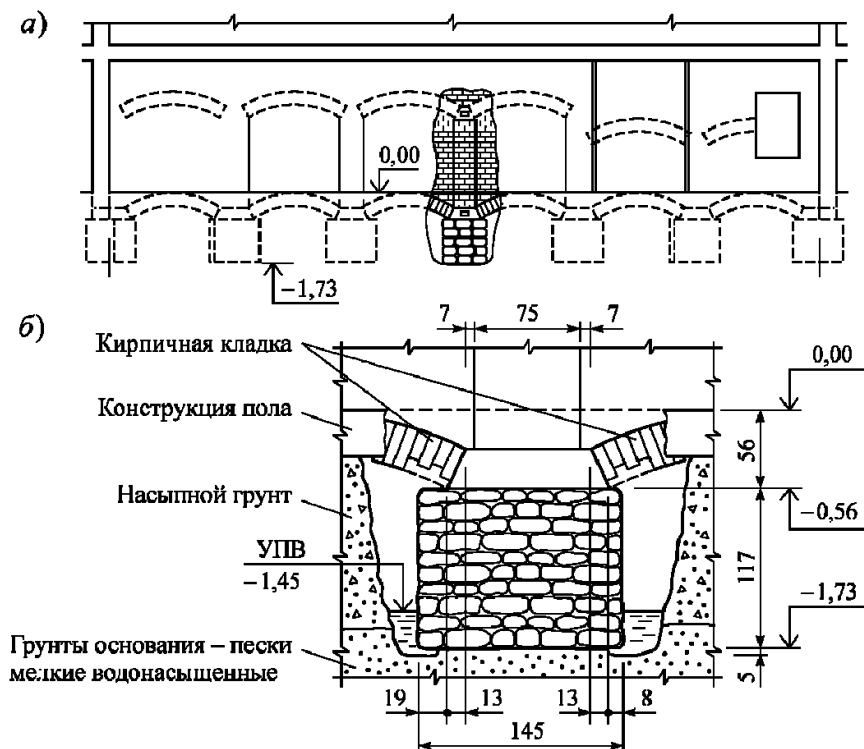


Рис. 1.5

Разрез (а) и фрагмент (б) бутовых отдельно стоящих фундаментов с несущей арочной кирпичной балкой



Рис. 1.6

Общий вид фрагмента кирпичной фундаментной арки

Глубина заложения обследованных фундаментов до дневной поверхности составляла от 1,5 до 5 м, при этом следует иметь в виду, что величина культурного слоя в отдельных районах Петербурга доходит до 3 м. Обобщение и анализ результатов обследований 64 зданий постройки XVIII — начала XX вв. позволили выявить ряд закономерностей, характерных для построек этого периода в центральной части Санкт-Петербурга. Большая часть рассмотренных каменных зданий располагается в Центральном, Петроградском, Адмиралтейском и Василеостровском районах и имеет этажность от 2 до 6 этажей. У 44% зданий из рассмотренной выборки под подошвой фундаментов в качестве несущего слоя залегает пылевато-глинистый грунт, а у 56% — пески различной крупности. Фундаменты 82% зданий выполнены кладкой из бута, гранитных или известняковых камней и лишь в 18% — из обожженного кирпича.

Под фундаментами 22 зданий (34%) обнаружены лежни, а под 9 домами — деревянные сваи (14%).

Проведенный анализ позволил оценить основные параметры обследованных фундаментов в зависимости от этажности старых зданий.

На рисунке 1.7 приведены зависимости изменения ширины подошвы фундаментов от этажности зданий, возведенных на песчаном и пылевато-глинистом основаниях. Отдельной линией выделены здания, под подошвой фундаментов которых обнаружены лежни.

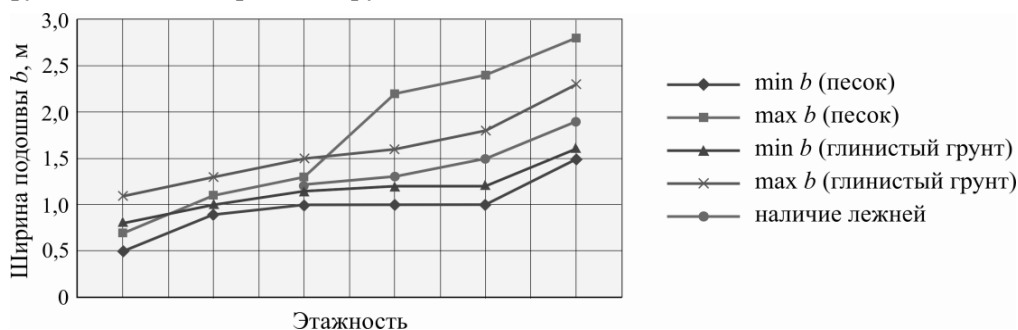


Рис. 1.7

Зависимость ширины подошвы фундаментов от этажности зданий

Для данной выборки ширина подошвы b изменяется от 0,5 м до 2,8 м для фундаментов на песчаном основании и от 0,8 до 2,3 м для пылевато-глинистых оснований.

Как видно из процентного распределения значений ширин подошвы фундаментов, наиболее распространенным размером является $b = 1\text{--}1,5$ м (36% — песчаное основание, 54% — пылевато-глинистый грунт) (рис. 1.8).

На втором месте по распространенности находятся фундаменты с шириной подошвы $b = 1,5\text{--}2,0$ м соответственно для 20 (несущий слой — песок) и 25% (несущий слой — пылевато-глинистый грунт) рассмотренных зданий. Лежни обнаружены в зданиях с высотой от 2 до 6 этажей.

Вместе с тем отмечен случай, когда при обследовании конструкций дворца князя А. Я. Лобанова-Ростовского (архитектор О. Монферран (1818), рис. 1.9)

была выявлена ширина подошвы бутобетонного фундамента почти 4 м при глубине заложения 2,85 м.

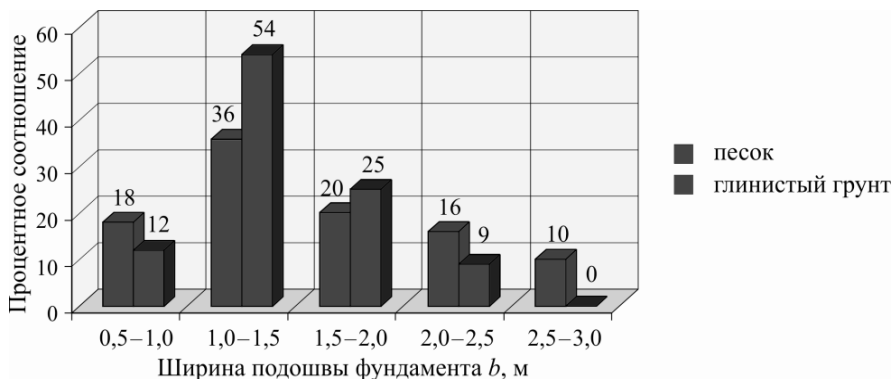


Рис. 1.8

Процентное распределение значений ширин подошвы фундаментов обследованных зданий



Рис. 1.9

Общий вид дворца Лобанова-Ростовского со стороны Адмиралтейского проспекта

Под подошвой стен дворца обнаружены деревянные сваи. Очевидно, во время реконструкции и надстройки этого здания в середине XIX в. не было проведено серьезного обследования фундаментов, что привело строителей к решению увеличить ширину фундамента прикладом из кирпичной кладки (см. рис. 1.4, п. 9).

Сваи были выявлены при комплексном обследовании здания только в конце XX в. при очередной реконструкции, причем их состояние оказалось вполне удовлетворительным, а сами сваи в работоспособном состоянии. Почти за два века эксплуатации сооружение не получило серьезных деформаций.

На рисунке 1.10 приведены графики зависимости глубин заложения d от этажности сооружений.

Глубина заложения фундаментов зданий изменяется от $d = 0,3$ м до $d = 3,0$ м для песчаных оснований и от 0,7 м до 2,5 м для пылевато-глинистых грунтов.

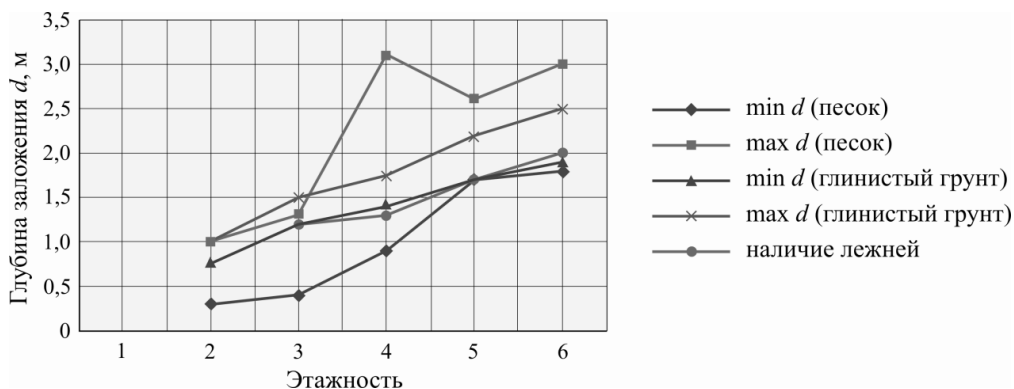


Рис. 1.10

Зависимость глубины заложения подошвы фундаментов от этажности зданий

Лежни обнаружены в основном при глубинах заложения фундаментов от 1,2 до 1,8 м.

Из графика процентного распределения значений глубин заложения фундаментов обследованных зданий (рис. 1.11) следует, что наиболее распространенной глубиной являются значения d от 1,5 до 2,0 м. Эти глубины заложения подошвы фундамента отмечены в 44% обследованных зданий для песчаных оснований (второй столбец) и в 53% для пылевато-глинистых (первый столбец).

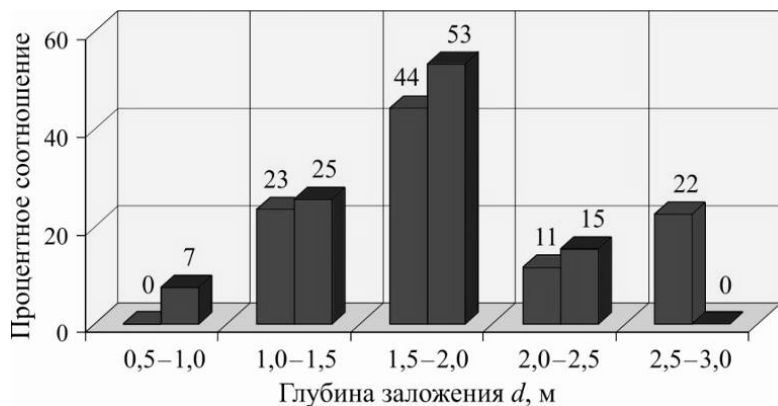


Рис. 1.11

Процентное распределение значений глубин заложения подошвы фундаментов обследованных зданий

Сопоставление реального усредненного давления p , действующего по подошве фундаментов обследованных зданий, с величинами допускаемых давлений на грунт основания, регламентируемых современными нормами, в частности значением R по СП 22.13330.2011, СНиП 2.02.01-83*, позволило выявить следующие закономерности (рис. 1.12).

Для 62% зданий, построенных в центральной части Санкт-Петербурга на песчаных основаниях (второй столбец), значение давления p превышает допускаемые современными нормами значения R . Для пылевато-глинистых оснований (первый столбец) это зафиксировано в 34% случаев.

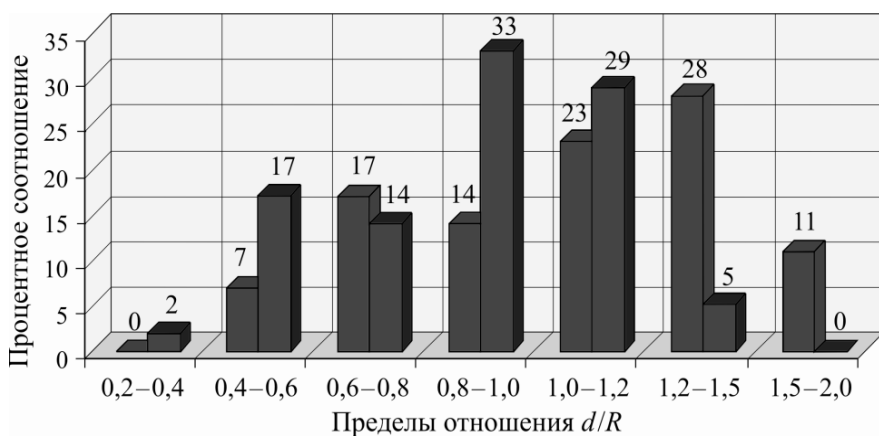


Рис. 1.12

Процентное распределение p/R для обследованных зданий

Выявленные закономерности резко контрастируют с аналогичными значениями, полученными профессором А. Коноваловым для зданий Москвы и Московской области (П. А. Коновалов, 2000). Так, по его сведениям значения $p/R > 1$ отмечены лишь в 8,3% случаев обследованных зданий, а для 85,7% случаев значения $p/R < 0,8$, что говорит о значительном недоиспользовании несущей способности грунтов основания. Для старых зданий Санкт-Петербурга значения $p/R < 0,8$ отмечены нами лишь в 24% случаев для песчаных оснований и в 33% для пылевато-глинистых.

Таким образом, результаты анализа обследований фундаментов подтверждают, что большая часть зданий постройки XVIII — начала XX вв. возведена на перегруженных, в соответствии с современными нормами, грунтах основания. Очевидно, в том числе и этим фактором объясняется наличие трещин и нарушений в надземных конструкциях во многих зданиях старой постройки города.

1.2. Примеры устройства и усиления фундаментов некоторых исторических зданий и сооружений Санкт-Петербурга

Начавшись с возведения Петропавловской крепости на Заячьем острове (ныне Петроградская сторона), строительство города в XVIII — начале XX вв. в основном проходило в дельте р. Невы, т. е. на территориях, сложенных большой толщей слабых водонасыщенных грунтов надморенных отложений (см. ч. II). Многие из возведенных в это время зданий к началу XXI в. получили серьезные повреждения и деформации, что потребовало не только реконструкции надземных конструкций, но и усиления их оснований и фундаментов. В начале 2000-х гг., к юбилею Санкт-Петербурга была проведена большая работа по обследованию и, в ряде случаев, при выявленной необходимости, усилению подземных и надземных конструкций многих памятников архитектуры. Рассмотрим некоторые из них.

Исаакиевский собор (1825–1841, архитектор О. Монферран)

При изучении истории возведения уникальных архитектурных шедевров в исторической части города представляют интерес свидетельства современников строительства Исаакиевского собора, опубликованные в «Инженерном журнале» в 1861 г.: «Работа фундамента произведена следующим образом: по отрыву фундаментной ямы, откачав из нея воду с помощью Архимедовых винтов, которые работали постоянно и впоследствии, в дно ямы всей ее поверхности были забиты частоколом сосновые сваи от 11 до 12 дюймов в диаметре и длиною 3 сажень. Расстояние между сваями равнялось диаметру их. Сваи были забиты до отказа бабою в 70 пудов весом. Копров было 10; бабы на них поднимались с помощью конных воротов, на каждом из которых работали 4 лошади. Работа эта продолжалась целый год и не прекращалась и зимою. Забивкою свай грунт был так уплотнен, что весьма трудно было отрывать его в промежутках между сваями. Срезка свай под одну горизонтальную плоскость была произведена очень просто: для этого действие водоотливных машин было приостановлено, и когда вода в фундаментной яме достигла желаемой высоты, то она тем самым отметила на каждой свае высоту, на которой ее нужно было срезать, что и было затем исполнено. Промежутки между головами свай были отрыты на 14 дюймов и заполнены сильно утрамбованным древесным углем. После этой операции место постройки фундамента представляло совершенно горизонтальную плоскость с забитыми в нее 10 762 сваями».

В результате при строительстве Исаакиевского собора (длина собора — 102 м, ширина — 92 м, высота — 101 м, общий вес — 300 тыс. т) была использована плита из гранитных блоков общей толщиной 7,5 м, заглубленная ниже дневной поверхности на 5 м и опирающаяся на поле из деревянных свай (см. рис. 1.2).

В массиве плиты ростверка, для избежания сырости в помещении будущего собора, были выполнены галереи шириной семь футов (около 2 м), расположенные вдоль стен здания и имевшие соединения в центральной части прямо под куполом. Пол их был поднят выше ординара в р. Неве, а сами галереи имели выход к дневной поверхности, что способствовало проветриванию и сохранению здания от сырости.

Как следует из архивных документов, архитектором О. Монферраном было предусмотрено свайное поле из 24 тыс. сосновых свай сечением 0,26 м. Длина свай составляла 6,3 и 8,4 м. При этом было использовано 13 тыс. свай старой церкви архитектора А. Ринальди (длина свай 10,5 и 8,4 м), на месте которой расположился новый собор (С. Н. Сотников, 1986).

По наблюдениям проф. С. Н. Сотникова разность отметок поверхности возле здания и на расстоянии 50 м от собора составила 85 см, а наклон плиты отмечен в юго-западном направлении. Наибольшая разность отметок пола плиты на расстоянии $L = 78$ м составила 30 см (рис. 1.13 и 1.14).

Таким образом, средняя осадка собора за более чем 150 лет превысила 1 м. Однако ввиду большой жесткости самого сооружения серьезных деформаций надземных конструкций не произошло, что позволило не проводить капиталь-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru