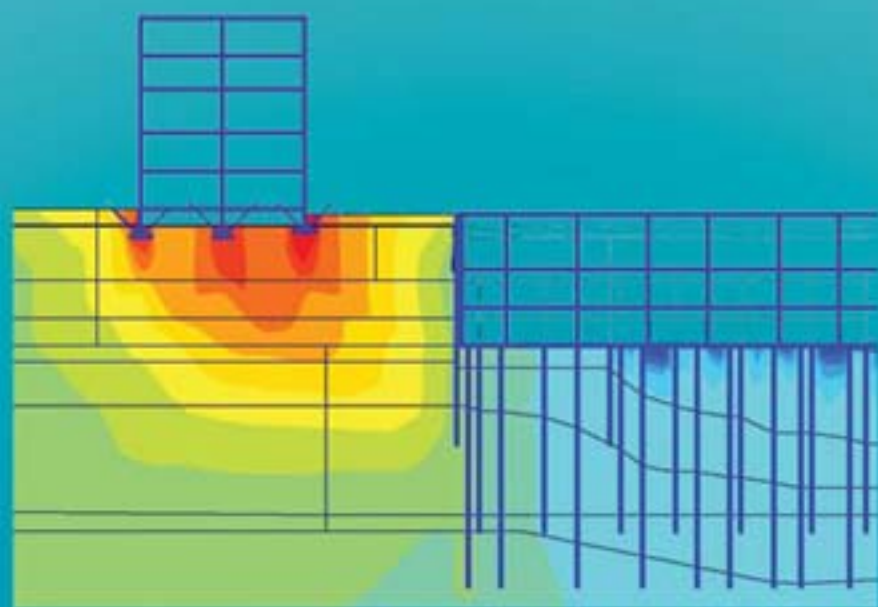


Р.А. Мангушев В.Д. Карлов
И.И. Сахаров А.И. Осокин

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ



Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов,
И. И. Сахаров, А. И. Осокин

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

*Рекомендовано научно-методической комиссией
по специальности 270102 «Промышленное и гражданское
строительство» в качестве учебника для подготовки бакалавров
по направлению подготовки 550100 «Строительство»*



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2014

Рецензенты:

кафедра подземных сооружений, оснований и фундаментов
Санкт-Петербургского государственного технического университета
(зав. кафедрой, чл.-корр. Петровской академии наук и искусств,
доктор технических наук, профессор *А.К. Бугров*);

кафедра промышленного, гражданского строительства,
геотехники и фундаментостроения Южно-Российского
государственного технического университета (зав. кафедрой
доктор технических наук, профессор *Г.М. Скибин*);

доктор технических наук, профессор *В.М. Кириллов*
(Санкт-Петербургский государственный университет
водного транспорта).

Мангушев Р. А. и др.

Основания и фундаменты: Учебник для бакалавров строительства
/ Р.А. Мангушев (ответственный за издание), **В.Д. Карлов**,
И.И. Сахаров, А.И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ,
2014. – 392 с.

ISBN 978–5–93093–855–5

Учебник соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины «Основания и фундаменты» по направлению 270800 «Строительство» по квалификации «бакалавр строительства».

Приведены основные виды конструкций, методы расчета и технологии устройства фундаментов на естественном, свайном и искусственно улучшенных основаниях. Рассмотрены особенности устройства фундаментов глубокого заложения, основные положения расчета и строительства фундаментов на структурно-неустойчивых грунтах. Приведены основные положения проектирования и устройства фундаментов в условиях плотной застройки и при их реконструкции и переустройстве. Даны общие положения по расчетам оснований и подземных конструкций с использованием численных методов. Рассмотрены основные требования и методы ведения мониторинга при устройстве подземных частей сооружений.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Строительство» по квалификации «бакалавр строительства».

ISBN 978–5–93093–855–5

© Мангушев Р.А., Карлов В.Д.,
© Сахаров И.И., Осокин А.И., 2014
© Издательство АСВ, 2014

Оглавление

Предисловие	6
Введение	9
Глава 1. Принципы проектирования оснований и фундаментов	13
1.1. Общие положения	13
1.2. Основные типы оснований, фундаментов и область их применения	14
1.3. Взаимодействие сооружений и оснований.....	17
1.4. Предельные состояния оснований сооружений.....	33
1.5. Комплексная взаимосвязь факторов, подлежащих учету при проектировании фундаментов.....	34
Глава 2. Фундаменты мелкого заложения на естественном основании	39
2.1. Конструкции фундаментов.....	39
2.2. Определение размеров жестких фундаментов.....	48
2.3. Основные положения проектирования гибких фундаментов.....	59
2.4. Расчет оснований и фундаментов по несущей способности и устойчивости.....	62
Глава 3. Свайные фундаменты	80
3.1. Общие сведения.....	80
3.2. Классификации свай	81
3.3. Конструкции предварительно изготовленных свай и методы их погружения	83
3.4. Типы, конструкции и технологии устройства свай, выполняемых в грунте	87
3.5. Определение несущей способности свай	103
3.6. Проектирование свайных фундаментов	117
Глава 4. Искусственно улучшенные основания	126
4.1. Виды искусственно улучшенных оснований.....	126
4.2. Конструктивные методы улучшения работы грунтов в основании	127
4.3. Уплотнение грунтов.....	131
4.4. Закрепление грунтов	140
Глава 5. Фундаменты глубокого заложения и подземные сооружения	150
5.1. Общие положения	150
5.2. Конструкции опускного типа (оболочки и колодцы).....	151
5.3. Фундаменты, выполненные с помощью траншейных разработок.....	156
5.4. Конструкции, возводимые с помощью струйного размыва	157
5.5. Конструкции, возводимые с помощью перемешивания.....	162
5.6. Устройство подземных сооружений.....	163
5.7. Заключение по главе 5	177

Глава 6. Крепление стен, подготовка дна и осушение котлованов.....	179
6.1. Крепление стен котлованов.....	179
6.2. Анкеры	188
6.3. Осушение строительных котлованов	192
6.4. Сохранение структуры грунта основания дна котлована	195
Глава 7. Фундаменты в особых условиях.....	197
7.1. Общие положения	197
7.2. Фундаменты на слабых сильносжимаемых грунтах	198
7.3. Фундаменты на лессовых просадочных грунтах.....	206
7.4. Фундаменты на набухающих грунтах	214
7.5. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах.....	218
Глава 8. Основания и фундаменты в районах распространения вечномерзлых грунтов	224
8.1. Общие положения	224
8.2. Конструкции и методы устройства фундаментов в районах распространения вечномерзлых грунтов.....	226
8.3. Принципы использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований	230
8.4. Основные положения расчета оснований фундаментов по принципу I.....	234
8.5. Основные положения расчета оснований фундаментов по принципу II	237
8.6. Расчет фундаментов на воздействие касательных сил морозного пучения грунта.....	240
Глава 9. Фундаменты при динамических воздействиях	242
9.1. Деформации и устойчивость грунтов при динамических воздействиях	242
9.2. Фундаменты под машины.....	246
9.3. Фундаменты в условиях сейсмических воздействий	260
Глава 10. Фундаменты в условиях переустройства и реконструкции зданий и сооружений.....	274
10.1. Причины, приводящие к необходимости усиления оснований и фундаментов	274
10.2. Основные принципы проектирования усиления фундаментов и оснований при реконструкции зданий.....	280
10.3. Методы усиления оснований и фундаментов	288
10.4. Особенности проектирования фундаментов вблизи существующих зданий и сооружений	300
Глава 11. Компьютерные расчеты оснований и фундаментов.....	312
11.1. Общие положения	312
11.2. Учет грунтового основания с помощью специальных имитационных элементов	314
11.3. Моделирование грунта как трехмерного массива	316

11.4. Примеры расчетов.....	319
11.5. Заключение по главе 11	333
Глава 12. Проведение геотехнического мониторинга при новом строительстве и реконструкции	335
12.1. Цели и задачи геотехнического мониторинга.....	335
12.2. Основные инструментальные методы проведения геомониторинга	336
12.3. Критерии оценки результатов мониторинга осадок сооружений.....	338
12.4. Примеры проведения геомониторинга.....	339
12.5. Научно-техническое сопровождение строительства.....	347
Заключение	349
Литература	351
Терминологический словарь	355

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник «Основания и фундаменты» является первым учебником по данной дисциплине для студентов, обучающихся по четырехлетней программе специальности 270800 «бакалавр строительства».

В соответствии со стандартом специальности, учебными планами и типовыми программами данная дисциплина изучается в VII семестре и предваряется теоретической подготовкой по другим инженерным дисциплинам, в частности инженерной геологии и механики грунтов.

В рамках указанных курсов студентами ранее изучались: классификации пород грунтов, методы построения геологических разрезов и геологических карт, методы лабораторных определений основных показателей свойств грунтов, теория определения напряжений в массивах грунтов, методы расчета устойчивости и деформаций грунтов, теория развития процесса консолидации грунтов, расчет подпорных стен, устойчивости склонов и откосов.

Следовательно, к VII семестру студенты имеют достаточную подготовку для изучения курса оснований и фундаментов, который является важным элементом в подготовке бакалавров строительства.

Данный учебник содержит материалы, необходимые студентам для выполнения курсовой и квалификационной работ.

Изданные примерно 10 лет назад учебники по основаниям и фундаментам были предназначены для студентов, обучавшихся по специальности «инженер-строитель». Наиболее известными из них являются: «Основания и фундаменты» (коллектив авторов СПбГАСУ, изд-во АСВ, 2002 г.); «Механика грунтов основания и фундаменты» (Б.И. Далматов, изд-во «Высшая школа», 1988 г.); «Механика грунтов, основания и фундаменты» (подготовлен группой преподавателей МГСУ под общ. ред. профессора С.Б. Ухова, изд-во АСВ, 1994, 2009 гг.). Эти учебники соответствовали учебной программе специальности 270102 (ПГС – инженер-строитель), рассчитанной на пятилетнее обучение.

Программа обучения по специальности 270800 «бакалавр строительства» имеет ряд различий по сравнению с ранее существовавшей программой подготовки специалистов – инженеров-строителей, что и обусловило актуальность и необходимость разработки нового учебника «Основания и фундаменты».

За последние 10 лет техника и технология фундаментостроения в России и за рубежом активно и успешно развивалась. В настоящее время геотехника – наука, комплексно включающая в себя знания по инженерной геологии, механике грунтов, основаниям и фундаментам, способна решать задачи, недоступные для строительства еще в сравнительно недавнее время.

Наиболее значительными являются достижения в области свайного фундаментостроения, инъекционного закрепления грунтов, устройства подземных пространств больших объемов. Получили дальнейшее развитие технологии грунтовых анкеров, высоконапорных инъекций (джет-граут), способы подготовки заболоченных территорий под застройку посредством уплотнения и мелиорации грунтов методами вертикального дренирования, применение новых видов геосинтетических материалов и конструкций и многое другое.

Значительно изменилась структура строительства в больших городах – новые здания строят не только на новых территориях окраин городов, но и на участках в центре города путем уплотнения имеющейся застройки. Новые дома встраиваются между существующими, многие из которых являются памятниками архитектуры.

Под такими зданиями или возле них часто возводят подземные сооружения больших объемов, используемые под гаражи, склады, служебные и технологические помещения. Их возведение нередко вызывает проблемы, поскольку обеспечить полную сохранность конструкций существующих соседних домов часто бывает затруднительно.

Наибольшее развитие геотехническое строительство получило в столицах, где построены многочисленные многоярусные подземные автостоянки, торговые комплексы, транспортные развязки, решены сложные вопросы подземного строительства при реконструкции и новом строительстве таких всемирно известных театров, как Большой в Москве, Вторая сцена Мариинского театра в Санкт-Петербурге, и ряда других крупных и сложных сооружений.

По существу, за последние десятилетия начала складываться новая область строительной деятельности – подземная урбанистика, в составе которой геотехника играет ведущую роль.

К настоящему времени принципиально изменилась и методология проектирования фундаментов, подземных сооружений, других объектов геотехнического строительства. Расчеты оснований выполняются на современных компьютерах, разработаны комплексные геотехнические программы, которые включают численные и аналитические методы расчета подземных конструкций и оснований.

Некоторые из них позволяют реализовать совместный расчет системы «основание – фундамент – здание», чертежи фундаментов и подземных сооружений выполняют на графопостроителях.

Многие учебники, изданные ранее, ряд перечисленных вопросов освещали недостаточно. До некоторой степени указанные пробелы компенсированы рядом изданий для вузов, выпущенных в последние годы. К ним следует отнести, к примеру, учебное пособие «Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений», подготовленное

преподавателями кафедры геотехники СПбГАСУ и выдержавшее уже три переиздания, последнее из которых было в 2006 г.

Представленный учебник является вторым учебным изданием, разработанным сотрудниками кафедры геотехники для студентов, обучающихся по специальности «бакалавр строительства». В 2009 г. в издательстве АСВ (г. Москва) опубликован учебник «Механика грунтов» (авторы: Р.А. Мангушев, В.Д. Карлов, И.И. Сахаров).

В настоящем учебнике использованы оригинальные разработки авторов, которые являются специалистами в ряде областей геотехнического строительства, включая строительство зданий на слабых и мерзлых грунтах, подземных сооружений в городах, реконструкцию и усиление фундаментов зданий, применение численных методов расчета оснований и фундаментов и т.д. Авторы хорошо знакомы с современными достижениями геотехники, поскольку принимали активное участие в реализации ряда сложных объектов геотехнического строительства, неоднократно докладывали результаты своих исследований на многих международных и общероссийских научных конференциях.

Авторский коллектив учебника представлен сотрудниками кафедры геотехники СПбГАСУ, которыми написаны следующие главы книги: предисловие, введение, заключение, геотехнический словарь, гл. 1, 2 (совместно с В.Д. Карловым), 10, 12, разд. 3.4 (совместно с А.И. Осокиным) – д.т.н., проф. Р.А. Мангушевым; гл. 3, 4, 5, 9 (кроме 9.3), 11 – д.т.н., проф. И.И. Сахаровым; гл. 2 (совместно с Р.А. Мангушевым), 7, 8 и разд. 9.3 – д.т.н., проф. В.Д. Карловым; гл. 6, разд. 3.4 (совместно с Р.А. Мангушевым) – к.т.н., доц. А.А. Осокиным.

Авторы с благодарностью воспримут все замечания и отзывы по книге, которые просят присылать по адресу: 198005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), кафедра геотехники. Электронная почта: geotechnica@spbgasu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Общие сведения

Фундаментом называется заглубленная в грунт конструкция, передающая нагрузки и воздействия от здания (сооружения) на основание.

Основание – напластование грунтов непосредственно воспринимающее давление от сооружения. Слой, находящейся под подошвой фундамента, называется несущим, а нижележащие – подстилающими.

Область науки, в сферу которой входят различные технические дисциплины, связанные с использованием грунтов в качестве основания сооружений, среды, вмещающей сооружения, материала, из которого возводятся подземные сооружения разного типа, технологии их производства, объединяется термином «геотехника».

Геотехника напрямую связана с такими научными дисциплинами, как инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты. Последняя названная дисциплина, изучающая конструкции подземных частей здания, их взаимодействие с основанием, методы и технологии их устройства и реконструкции в различных инженерно-геологических условиях, является одним из важных разделов геотехники, имеющим большое значение в промышленном и гражданском строительстве. Именно от надежности подземной конструкции и ее работы в грунтовом основании в течение длительного времени зависит успешная эксплуатация всего сооружения. В случае устройства ненадежных фундаментов и их оснований восстановить работоспособность сооружения зачастую бывает очень сложно, а иногда и невозможно.

Устройство фундаментов в зависимости от инженерно-геологических условий строительной площадки, размеров и массы сооружения в среднем составляет 5–10% от общих затрат на строительство, в неблагоприятных условиях доля затрат может возрасти до 20% и более. Работы, связанные с реконструкцией, усилением и ремонтом фундаментов зданий, получивших серьезные деформации основания, могут достигать до 30–40% общей стоимости сооружений.

Вместе с этим, как показывает статистика аварий и катастроф, именно фундаменты и основания (а не надземные части зданий и сооружений) чаще дают «отказ», т.е. перестают нормально работать.

Это приводит к развитию недопустимых деформаций или потере устойчивости сооружений. При этом ошибки изысканий и проекта фундаментов, некачественное выполнение строительных работ часто являются основной причиной большинства аварий.

В связи с этим фундаментостроение и связанные с ним технические дисциплины (инженерная геология, грунтоведение, механика грунтов,

технология строительного производства и др.) являются важнейшей и достаточно сложной областью строительства.

Рациональный выбор типа основания и фундамента, технологических методов их устройства во многом определяет будущую успешную эксплуатацию сооружения. Такой выбор подземной конструкции, ее обоснование и расчет может сделать только инженер, вооруженный знаниями в области геотехники.

Содержание курса и его связь со смежными техническими дисциплинами

В данном учебнике рассмотрены следующие основные группы вопросов:

- принципы проектирования оснований и фундаментов;
- методология выбора проектного решения;
- типы фундаментов и искусственных оснований, методы их расчета (включая численные) и проектирования;
- фундаменты в особых грунтовых условиях (на просадочных, мерзлых, засоленных грунтах, торфах и др.);
- технология устройства строительных котлованов и возведения фундаментов разных типов;
- реконструкция и усиление фундаментов существующих зданий;
- строительство фундаментов около существующих зданий;
- подземные сооружения в открытых котлованах;
- способы ведения работ в котлованах;
- геотехнический мониторинг, его значение для практики геотехнического строительства.

Курс «Основания и фундаменты» близко связан с курсами механики грунтов и инженерной геологии, а также со многими другими строительными дисциплинами: градостроительством, архитектурой, строительными материалами, железобетонными и каменными конструкциями, металлическими конструкциями, конструкциями из дерева и пластических масс. При этом от студента требуется знание общенаучных дисциплин – математики, физики, химии, строительной механики и специальных дисциплин – инженерной геологии, гидрогеологии, геодезии и др.

Краткий обзор развития фундаментостроения

От древних времен до наших дней сохранилось немало сооружений, возраст которых исчисляется несколькими тысячами лет. Обычно это массивные земляные или каменные сооружения, такие как Великая Китайская стена, египетские и южно-американские пирамиды, культовые здания (храмы) Древней Греции и Рима.

Многие из этих построек возведены на сплошных фундаментах, переходящих, как единый массив, в надземную часть сооружения. Для таких сооружений выбирались благоприятные в природном отношении участки: выходы скальных пород, «сухие места», пологие склоны. В тот период строители при возведении фундаментов опирались на традиции и опыт предшественников.

В Средние века в городах Европы, Азии были построены достаточно массивные и сложные сооружения: крепости, замки, культовые здания.

При их сооружении, кроме скального основания, использовались участки, сложенные песками, глинами на побережьях рек и морей. В эту эпоху появились здания, под стены которых забивали сваи. Так, к примеру, были построены каменные здания, расположенные на искусственных островах Венецианской лагуны.

Научную базу фундаментостроения стало приобретать после разработок французского физика и инженера Шарля Огюста Кулона (1736–1806). Будучи не только известным физиком, но и инженером-фортификатором, он открыл «закон сухого трения», разработал метод расчета гравитационных подпорных стен. Это позволило обоснованно задавать основные сечения шлюзов, которые строились в XVIII в. на реках и каналах Франции. С учетом законов Кулона фундаментостроение стало приобретать расчетную базу и из эмпирического строительного искусства стало превращаться в техническую область деятельности, базирующуюся на расчетах.

На основе теории Кулона были разработаны методы расчета фундаментов по устойчивости. Так, в XIX в. русский инженер Паукер на основе теории Кулона вывел формулу, которая позволяла оценивать устойчивость основания фундамента с учетом ширины подошвы и глубины его заложения.

Первые в России учебники, посвященные фундаментостроению и смежным дисциплинам, были подготовлены профессором Училища гражданских инженеров (ныне СПбГАСУ) М.С. Волковым: «О разведке грунтов земли» (1835) и «Об основаниях каменных зданий» (1840). В них были показаны значение неравномерных осадок оснований зданий и влияние осадок на устойчивость зданий.

Позднее были подготовлены первые в России курсы по основаниям и фундаментам – профессором В.М. Карловичем в 1869 г. и профессором В.И. Курдюмовым в 1894 г. В них было дано систематическое описание фундаментов разных типов, подробно изложены методы строительства фундаментов, применявшиеся в конце XIX в.

В XX в. геотехника получила бурное развитие во всех развитых странах мира, в том числе и в России.

Во многом развитие геотехники в нашей стране связано со строительством крупных сооружений вдоль Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей, гидроэлектростанций на крупнейших реках европейской и азиатской частей страны, освоением природных богатств Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока. При этом приходилось решать сложнейшие инженерные задачи, обусловленные разнообразными инженерно-геологическими условиями: вечной мерзлотой, оттаивающими, слабыми, просадочными, засоленными грунтами, сейсмикой, карстом и др.

Современное фундаментостроение и теоретические основы механики грунтов начали формироваться в конце 20-х – начале 30-х гг. на основе фундаментальных трудов и учебников профессоров К. Терцаги, А. Скемптона, Л. Казагранде, Д. Бьеррума, С. Хансбо, российских ученых и инженеров – Н.М. Герсеванова, Н.А. Цытовича, Н.П. Пызыревского, Н.Н. Маслова, В.А. Флорина, В.Г. Березанцева, Б.И. Далматова.

Начиная с 1934 г. и по 1983 г. неоднократно переиздавались учебники по механике грунтов Н.А. Цытовича, из которых особо необходимо отметить классический учебник, изданный в 1963 г.

Широкой популярностью пользовались учебники по курсу «Основания и фундаменты» Б.Д. Васильева (1937, 1955), Н.А. Цытовича с соавторами (1970).

В 1981 г. опубликован и получил общероссийское признание первый совместный учебник «Механика грунтов, основания и фундаменты» профессора Б.И. Далматова (СПбГАСУ), который был переиздан в 1988 г. и издан на английском языке в 1990 г.

В 1991 г. увидел свет и до сих пор используется студентами гидротехнических специальностей учебник профессора П.Л. Иванова «Грунты и основания гидротехнических сооружений».

Заслуженное признание получил учебник «Механика грунтов, основания и фундаменты», подготовленный и изданный в 1994 г. коллективом авторов МИСИ (МГСУ) под редакцией профессора С.Б. Ухова. Он был переиздан в 2009 г.

Отдельный учебник «Основания и фундаменты» издан в 2002 г. коллективом авторов СПбГАСУ и до сих пор совместно с учебным пособием «Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений» (1999, 2003, 2006 гг., изд-во АСВ) используется студентами строительных специальностей.

В настоящее время курс «Основания и фундаменты» является динамично развивающейся дисциплиной с богатой теоретической и экспериментальной базой и с большим набором проектных, технических и технологических решений.

Глава 1

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

1.1. Общие положения

Основная задача фундаментов – обеспечить передачу нагрузки от сооружения на грунты основания, которые в большинстве случаев являются слабым природным материалом по сравнению с материалом конструкций здания. Под воздействием нагрузок от сооружения грунт в основном работает на сжатие и на сдвиг, что приводит к деформациям основания и осадкам зданий.

Фундаменты, являясь обязательной частью любого здания и большинства сооружений, значительно отличаются по своей работе от остальных строительных конструкций.

Задача проектирования оснований и фундаментов во многом состоит в «приспособлении» сооружения к геологическим условиям площадки строительства и в комплексном рассмотрении системы «основание – фундамент – сооружение». Особенностью проектирования этой системы зачастую является недостаток исходной информации, характеризующей основание в целом и каждого слоя в отдельности.

В связи с этим проектирование фундаментов всегда сопряжено с риском, оценить который не всегда представляется возможным. Вместе с тем, ошибки при проектировании могут привести к потере устойчивости или развитию недопустимых деформаций основания сооружения.

В основу проектирования оснований и фундаментов заложены следующие принципы:

1) проектирование оснований сооружений по предельным состояниям;

2) учет совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение»;

3) комплексный учет факторов при выборе типа фундаментов, несущего и подстилающих слоев основания в результате совместного рассмотрения, в том числе:

- инженерно-геологических условий площадки строительства;
- особенностей сооружения и чувствительности его несущих конструкций к неравномерным осадкам;

- методов выполнения работ по подготовке оснований и устройству фундаментов.

Комплексный взаимный учет всех этих факторов делает задачу проектирования и устройства фундаментов сложной и ответственной. Ошибки, допущенные при проектировании и возведении фундаментов, могут привести к проведению дополнительных мероприятий, значительно превышающих стоимость фундаментов.

Основные требования к проектированию оснований и фундаментов

При разработке проектов фундаментов необходимо обеспечить:

- прочность и эксплуатационную надежность зданий и сооружений (деформации конструкций не должны превышать предельно допустимых величин);
- максимальное использование прочностных и деформационных свойств грунтов основания, а также прочности материала фундамента;
- минимальную стоимость, материалоемкость и трудоемкость устройства фундаментов;
- максимальное сокращение сроков строительства.

При этом фундаменты должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- быть прочными и долговечными, устойчивыми к грунтовым водам и морозному выветриванию;
- быть устойчивыми на опрокидывание и сдвиг в плоскости подошвы;
- не превышать нормативных величин абсолютных и неравномерных осадок;
- отвечать технико-экономическим требованиям и современным способам производства работ.

1.2. Основные типы оснований, фундаментов и область их применения

Основанием называется напластование грунтов, непосредственно воспринимающее давление от сооружения. Слой, находящийся под подошвой фундамента, называется *несущим*, а нижележащие – *подстилающими*.

Фундаментом называется заглубленная в грунт конструкция, передающая нагрузки и воздействия от здания (сооружения) на основание.

В строительстве применяют фундаменты нескольких типов:

1. **Фундаменты мелко заложения** (обычно не глубже 3–4 м, возводимые в отрытых котлованах), они передают нагрузку от надземной части сооружений через подошву (нижнюю опорную часть фундамента). К ним относятся *ленточные* фундаменты – под несущие стены и ряды колонн, *столбчатые* фундаменты – под пилоны и колонны; сплошные плиты – под всей площадью сооружения или его частью (рис. 1.1). Более подробно фундаменты мелко заложения рассмотрены в гл. 2.

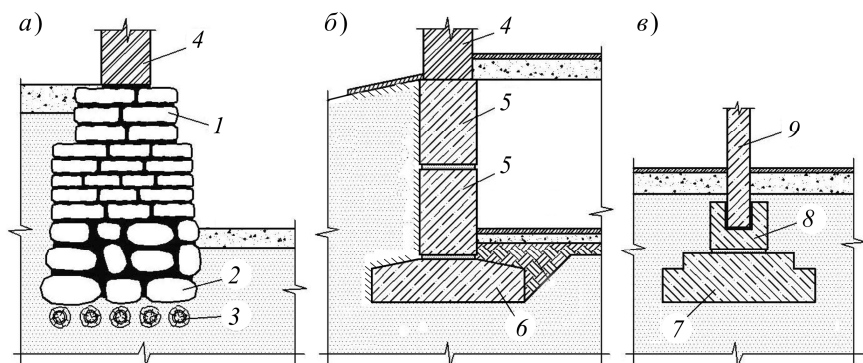


Рис. 1.1. Поперечные разрезы типичных фундаментов мелко заложения:

а – ленточный фундамент несущей стены дома, построенный из природного камня; *б* – сборный железобетонный ленточный фундамент крупнопанельного дома; *в* – сборно-монолитный отдельный фундамент под колонну каркаса промышленного здания; 1 – кладка из природного камня на известковом растворе; 2 – валуны; 3 – лежни; 4 – стена; 5 – стеновые блоки; 6 – блок-подушка; 7 – монолитный фундамент; 8 – сборный подколонник; 9 – колонна

2. **Свайные фундаменты**, посредством которых нагрузка от сооружений передается на слои относительно глубоко залегающих грунтов, зачастую обладающие лучшими свойствами, чем покровные отложения. *Свая* – вертикальный или наклонный стержень различного сечения по размеру и форме, различной длины, выполняемый из дерева, бетона, железобетона, металла. Если свая опирается в малодеформируемый грунт, например в скалу, то ее называют «*свай-стойкой*». Если свая может иметь вертикальные перемещения под действием нагрузки от сооружения, то она носит название «*вишечей*». Обычно сваи объединяет в группы посредством особой балочной системы, которая называется *ростверком* (рис. 1.2). Свайные фундаменты и их расчет рассмотрены в гл. 3.

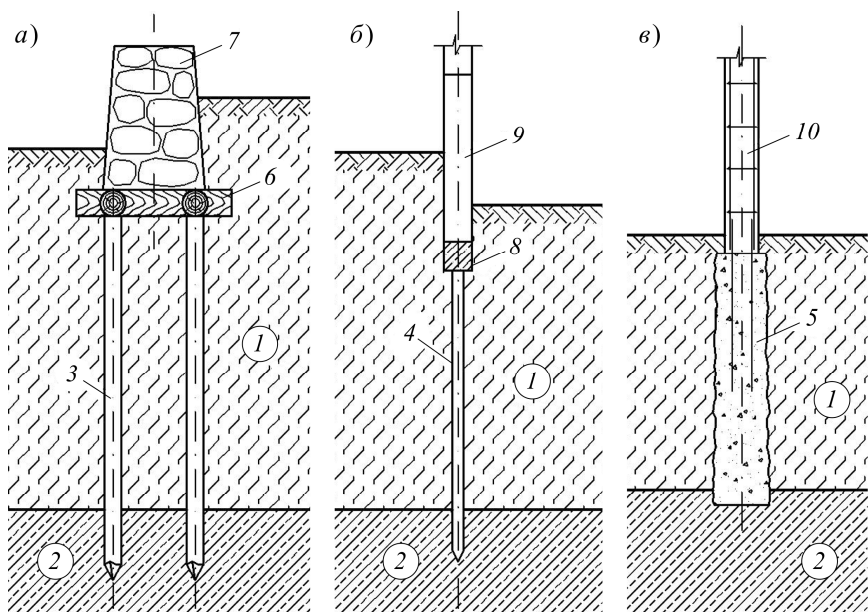


Рис. 1.2. Случаи использования свайных фундаментов:

a – фундамент дома постройки XVIII–XIX в.; *б* – свайный фундамент несущей стены крупнопанельного здания; *в* – свая-колонна современного промышленного здания; 1 – слабый грунт; 2 – плотный грунт; 3 – деревянная свая; 4 – железобетонная забивная свая; 5 – буровая свая; 6 – бревна ростверка; 7 – бутовый фундамент; 8 – балка; 9 – стеновая панель; 10 – колонна каркаса

3. **Фундаменты глубокого заложения** (столбы, плиты, опускаемые колодцы), позволяют передавать нагрузки на плотные слои грунтов, скалу на глубине десятков метров; в последнем случае роль фундаментов могут играть конструкции подземного сооружения (плиты, стены, колонны) (см. гл. 4).

Такие фундаменты имеют небоскребы Нью-Йорка, высотные дома Москвы, Московская телебашня, а также массивные промышленные сооружения – атомные реакторы, доменные печи, зерновые элеваторы и т.п.

Основания подразделяют на *естественные* и *искусственные* (улучшенные).

Естественное основание – обычный природный грунт, используемый как опора фундаментов без предварительной подготовки.

Искусственные основания выполняются заменой естественного грунта или посредством улучшения его свойств. Используют немало

способов создания искусственные основания. Простейший из них – искусственная *подушка* (песчаная, грунтовая, щебеночная и т.п.). Ею заменяют верхние ненадежные слои грунта (насыпные грунты, торфы, илы и т.п.). Кроме этого существует большое количество других методов искусственного улучшения грунтов (см. гл. 5).

1.3. Взаимодействие сооружений и оснований

1.3.1. Основные типы сооружений по жесткости и характер их деформаций

А. Жесткость сооружений. В зависимости от чувствительности к деформациям основания все здания и сооружения можно условно разделить на три основных типа: абсолютно гибкие, абсолютно жесткие и конечной жесткости.

Абсолютно гибкие сооружения беспрепятственно следуют за перемещениями поверхности грунтов основания во всех точках контакта так, что дополнительных усилий при развитии неравномерных осадок в их конструкциях практически не возникает. Примером таких конструкций являются насыпи (полотно автодорог, земляные дамбы и др.). Даже значительная неравномерная осадка для них не является опасной. Для обеспечения проектных отметок насыпь делают выше на величину ожидаемой осадки, т.е. придают насыпи строительный подъем (рис. 1.3, а). К этому же типу сооружений относятся днища металлических вертикальных цилиндрических резервуаров, которые работают как абсолютно гибкая мембрана и могут без ущерба для прочности конструкции получать большой прогиб (рис. 1.3, б).

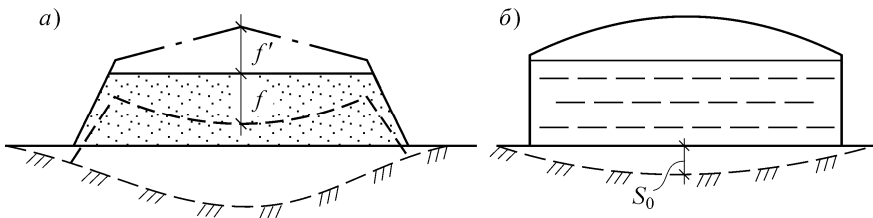


Рис. 1.3. Деформации основания под абсолютно гибкими сооружениями: а – насыпь из сыпучего грунта; б – днище стального цилиндрического резервуара

Абсолютно жесткие сооружения. Подошва таких сооружений сохраняет свою плоскую форму при любом виде деформации

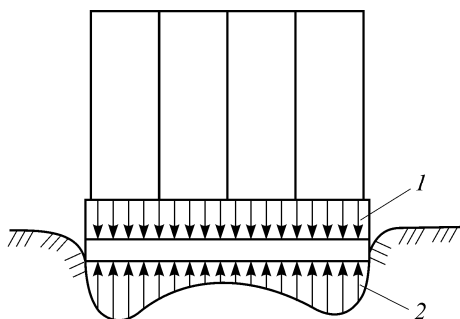


Рис. 1.4. Распределение напряжений под фундаментами абсолютно жестких сооружений:

1 – распределенное равномерное давление по обрезу фундамента; 2 – эпюра контактных напряжений под подошвой фундамента

основания, а их неравномерная осадка оценивается величиной крена. Выравнивание осадок происходит за счет развития в конструкциях сооружения дополнительных усилий. Давление от жесткого сооружения на грунт распределяется равномерно, а реактивные давления в грунте распределяются по криволинейной эпюре (рис. 1.4).

К сооружениям такого типа относятся дымовые трубы, домны, элеваторы, атомные реакторы, массивные мостовые опоры и т.п.

Большинство зданий и сооружений обладают *конечной жесткостью*. Они также перераспределяют давление по подошве фундамента, однако, частично следуют за искривлением поверхности основания. Дополнительные усилия вызывают деформации и образование трещин в элементах конструкций. Это происходит тогда, когда усилия в конструкциях превышают прочность материала, из которого они выполнены. При возникновении трещин жесткость сооружения снижается, а давление по подошве вновь перераспределяется.

Для исключения возможности развития недопустимых трещин необходимо рассматривать совместную работу сооружения и основания.

Б. Виды деформаций оснований и сооружений. В зависимости от причин возникновения деформации оснований проявляются в виде вертикальных, горизонтальных и угловых перемещений. Возможные виды и формы неравномерных деформаций сооружений и оснований подразделяются на следующие виды.

Абсолютная осадка жесткого сооружения либо отдельно стоящего фундамента s , определяемая как среднее вертикальное перемещение подошвы фундамента (рис. 1.5, а).

Прогиб и выгиб связаны с искривлением сооружений (рис. 1.5, б, в). Такого вида деформации распространены для многих зданий и сооружений, не обладающих очень большой жесткостью. Протяженные здания на одних участках могут получать прогиб, а на дру-

гих – выгиб. При прогибах наиболее опасная зона растяжения находится в нижней части сооружения, а при выгибе – в верхней. Чем большей жесткостью обладает сооружение, тем большие усилия возникают. В этом случае величина прогиба будет меньше. Относительная неравномерность при прогибе или выгибе сооружения определяется по формуле

$$i = 2f/l, \quad (1.1)$$

где $f = (s_2 - s_1)$ – стрела прогиба или выгиба, l – длина участка прогиба или выгиба.

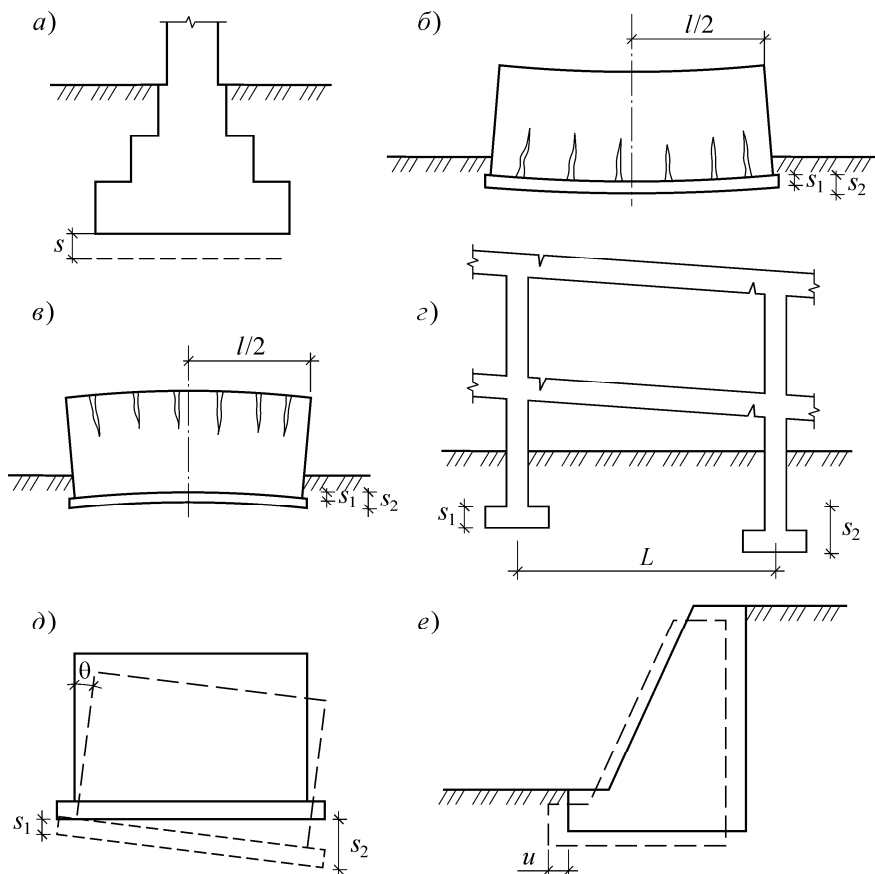


Рис. 1.5. Характерные формы совместных деформаций основания и сооружений:

a – абсолютная осадка; *б* – прогиб; *в* – выгиб; *г* – перекос; *д* – крен; *е* – сдвиг

Переко́с возникает в конструкциях в случаях, когда резкая неравномерность осадок проявляется на участке небольшой протяженности при сохранении относительно вертикального положения конструкции (см. рис. 1.5, *з*). Такой вид деформаций характерен для каркасных зданий. Относительная неравномерность при переко́се сооружения или его части определяется по формуле:

$$i = \frac{s_2 - s_1}{l}, \quad (1.2)$$

где s_1 и s_2 – осадка соседних фундаментов на участке длиной l .

Крен – поворот сооружения по отношению к вертикальной оси, проходящей через центр тяжести площади подошвы фундамента (см. рис. 1.5, *д*). Такой тип деформаций наиболее опасен для высоких сооружений (дымовые трубы, здания повышенной этажности, мачты, вышки и т.п.), загруженных с эксцентриситетом или в основании имеющих несимметричное напластование грунтов. В этом случае крен приводит к развитию дополнительных моментов, которые, в свою очередь, способствуют увеличению крена, что может привести к потере устойчивости сооружения и его опрокидыванию.

Крен могут получать колонны и стены, жестко не связанные с остальными конструкциями.

Относительная неравномерность при крене сооружения определяется по формуле

$$i = \operatorname{tg} \theta. \quad (1.3)$$

Закручивание возникает при неодинаковом крене сооружения по его длине и при развитии крена в двух сечениях сооружения в разные стороны. При этом виде деформации дополнительные усилия развиваются не только в стенах, но и в конструкциях перекрытий, которые могут изгибаться или перемещаться в горизонтальном направлении.

Горизонтальные перемещения фундаментов возникают, если опирающиеся на них конструкции передают значительные горизонтальные усилия (распорные конструкции, подпорные стенки, мостовые опоры и т.п.) (см. рис. 1.5, *е*).

1.3.2. Причины развития неравномерных осадок фундаментов мелкого заложения

Основные слагаемые осадок фундаментов

По мнению Б.И. Далматова, осадка каждого фундамента в общем случае может быть представлена как сумма пяти слагаемых:

$$S = S_{\text{упл}} + S_{\text{разупл}} + S_{\text{вып}} + S_{\text{расстр}} + S_{\text{экспл}}, \quad (1.4)$$

где $S_{\text{упл}}$ – осадка в результате уплотнения грунтов ненарушенной структуры при увеличении напряжений от нагрузки фундаментов; $S_{\text{разупл}}$ – осадка, связанная с разуплотнением верхних слоев грунта, залегающих ниже дна котлована, из-за уменьшения в них напряжений при разработке грунта; $S_{\text{вып}}$ – осадка в результате выдавливания грунта из-под фундамента при развитии пластических деформаций; $S_{\text{расстр}}$ – осадка расструктурирования, развивающаяся вследствие увеличения сжимаемости грунтов при нарушении их природной структуры во время производства работ; $S_{\text{экспл}}$ – осадка, обусловленная изменениями напряженного состояния или деформативности грунта основания в период эксплуатации здания или сооружения.

Как правило, каждое из этих слагаемых вызывает неравномерное развитие осадок фундаментов и в основном зависит от двух основных причин: *неоднородного напряженного состояния грунтов в основании рассматриваемого сооружения и неравномерной сжимаемости грунтов в основании под площадью загрузки.*

Рассмотрим подробнее каждую из составляющих неравномерной осадки сооружений.

А. Неравномерные осадки уплотнения $S_{\text{упл}}$. Под воздействием напряжений, превышающих природное давление, грунт деформируется. Деформации развиваются преимущественно вследствие уменьшения объема пор грунта (уплотнения) и искажения формы отдельных частиц или агрегатов грунта (упругие деформации). Упругие деформации обычно во много раз меньше остаточных. В связи с этим осадки, развивающиеся под воздействием внешней нагрузки, называют осадками уплотнения, хотя в них входят и упругие деформации. Осадки уплотнения под отдельными частями сооружения обычно неодинаковы из-за неоднородности основания и неоднородности напряженного состояния грунтов в основании.

Неоднородность основания обусловлена:

- выклиниванием слоев (рис. 1.6, а);
- линзообразным залеганием различных грунтов (рис. 1.6, б);
- неодинаковой толщиной слоев (рис. 1.6, в);
- неоднородностью грунтов (рис. 1.6, г);
- использованием слоев разных грунтов под отдельными частями сооружения (передача давления от тяжелой части здания на более плотный подстилающий грунт) (рис. 1.6, д);
- неодновременной консолидацией грунтов в основании под различными частями сооружения (рис. 1.6, е).

Неоднородность напряженного состояния грунтов в основании обуславливается:

- неодинаковой загрузкой фундаментов, в связи с чем более нагруженный фундамент приходится делать большей ширины. Однако принятие одинакового давления под подошвой не исключает различия напряженного состояния грунтов в основании (рис. 1.6, ж);
- взаимным влиянием соседних фундаментов, в результате которого наибольшее силовое воздействие испытывает основание фундаментов, расположенных в средней части здания, меньшее воздействие – основание фундаментов, расположенных по краям и в углах (рис. 1.6, з);
- одновременной загрузкой фундаментов (рис. 1.6, и);
- неполной загрузкой некоторых фундаментов (рис. 1.6, к).

Неодновременная нагрузка фундаментов часто происходит при возведении разнотипных несущих конструкций, например, при сооружении зданий с несущими наружными стенами и внутренними железобетонными колоннами. В таком случае фундаменты наружных стен получают почти полную нагрузку в процессе возведения стен; фундаменты колонн в этот период загружаются в меньшей степени, поскольку получают большую часть нагрузки от устройства полов, перегородок и установки оборудования. Это создает неоднородность нагрузки фундаментов, что приводит к развитию трещин в несущих конструкциях. Иногда, после полной нагрузки перекрытий, эти трещины закрываются.

Расчетом можно найти размеры фундаментов сооружения, при которых они будут иметь почти одинаковую осадку уплотнения. Однако трудно гарантировать, что эти фундаменты получат одинаковые осадки во время постройки и в процессе консолидации грунтов.

Разнообразие рассмотренных причин развития неравномерных осадок уплотнения свидетельствует, что прогноз осадок сооружения, опирающегося на большое число различных фундаментов, обычно является задачей весьма сложной. Однако в случаях, когда в основании залегают плотные грунты и ожидаемые осадки невелики, будет мала и их неравномерность.

При наличии в основании сильносжимаемых грунтов решение задачи усложняется. Если возникает сомнение в точности прогноза неравномерностей осадок, приходится принимать меры по уменьшению чувствительности несущих конструкций к неравномерным осадкам либо использовать в качестве основания малосжимаемые слои грунта, залегающие обычно на большей глубине.

Учебное издание

Рашид Абдуллович Мангушев

Владислав Дмитриевич Карлов

Игорь Игоревич Сахаров

Анатолий Иванович Осокин

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Редактор: *В. Ш. Мерзлякова*
Компьютерная верстка: *В. Ю. Алексеев*
Компьют. дизайн обложки: *Н. С. Романова*

Диапозитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 11.03.2014. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура «Гаймс». Печать офсетная.
Усл. 24,5 печ. л. Тираж 500 экз. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 511
тел., факс: (499) 183-56-83
<http://www.iasv.ru>, e-mail: iasv@mgsu.ru