

**В.И. Крутов   Е.А. Сорочан   В.А. Ковалев**

# **ФУНДАМЕНТЫ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**



**Крутов В.И.  
Сорочан Е.А.  
Ковалев В.А.**

# **ФУНДАМЕНТЫ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА**



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва 2008

### **Рецензенты**

Д.т.н. проф. З.Г. Тер-Мартirosян (МГСУ),  
д.т.н., проф. П.А. Коновалов (НИИОСП)

УДК 624.15  
К 84  
ББК 38.58

**ISBN 978-5-93093-604-9**

**Крутов В.И. Сорочан Е.А. Ковалев В.А.** Фундаменты мелкого заложения. – 2008. – 232 с.: ил.

Рассмотрены основные направления современного фундаментостроения, фундаменты рациональных конструкций на естественном основании (буробетонные, с промежуточной подготовкой, с анкерами, рациональных форм, щелевые), фундаменты в вытрамбованных котлованах и из забивных блоков в уплотненном грунте.

По каждому виду фундаментов приводятся основные особенности и области применения, результаты экспериментальных исследований, проектирования, технология производства работ по устройству фундаментов.

Для научных, инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, студентов строительных специальностей вузов.

ISBN 978-5-93093-604-9

© Издательство АСВ, 2008  
© Коллектив авторов, 2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
ГЛАВА 1. Основные направления фундаментостроения.....	11
1.1. Общие положения .....	11
1.2. Фундаменты в уплотненном грунте .....	15
1.3. Фундаменты рациональных конструкций на естественном основании .....	20
1.4. Свайные фундаменты из свай в уплотненном грунте .....	26
ГЛАВА 2. Фундаменты рациональных конструкций на естественном основании .....	38
2.1. Буробетонные фундаменты .....	38
2.1.1. Взаимодействие буробетонных фундаментов с грунтом основания .....	38
2.1.2. Расчет буробетонных фундаментов.....	48
2.2. Фундаменты с промежуточной подготовкой.....	52
2.2.1. Особенности фундаментов с промежуточной подготовкой .....	52
2.2.2. Исследование фундаментов с промежуточной подготовкой .....	54
2.2.3. Расчет фундаментов с промежуточной подготовкой .....	58
2.3. Фундаменты с анкерами .....	63
2.3.1. Особенности фундаментов с анкерами.....	63
2.3.2. Исследование взаимодействия с грунтом основания фундаментов с анкерами.....	65
2.3.3. Расчет фундаментов с анкерами в нескальных грунтах .....	76
ГЛАВА 3. Фундаменты рациональных форм на естественном основании.....	84
3.1. Ленточные прерывистые фундаменты.....	84
3.2. Крестообразные фундаменты .....	91
ГЛАВА 4. Щелевые фундаменты .....	99
4.1. Особенности, виды, области применения щелевых фундаментов.....	99
4.2. Осадки и несущая способность щелевых фундаментов.....	104

4.3. Взаимодействие щелевых фундаментов с грунтом	
основания .....	111
4.3.1. По результатам экспериментальных исследований .....	111
4.3.2. По результатам численного моделирования .....	115
4.4. Проектирование щелевых фундаментов .....	119
4.4.1. Общие положения по проектированию .....	119
4.4.2. Общие положения по расчету .....	120
4.4.3. Расчет несущей способности столбчатых и ленточных однощелевых фундаментов .....	122
4.4.4. Расчет несущей способности многощелевых ленточных и плитных фундаментов .....	125
4.4.5. Расчет садов щелевых фундаментов .....	128
4.5. Производство работ по устройству щелевых фундаментов .....	133
4.5.1. Оборудование для устройства щелей .....	133
4.5.2. Выполнение щелей .....	135
4.5.3. Бетонирование фундаментов .....	136
ГЛАВА 5. Фундаменты в вытрамбованных котлованах .....	138
5.1. Виды, конструкции, методы устройства и область применения фундаментов в вытрамбованных котлованах .....	138
5.2. Технологии вытрамбовывания котлованов .....	142
5.3. Осадки и несущая способность фундаментов в вытрамбованных котлованах .....	154
5.3.1. Физические процессы, происходящие при вытрамбовывании котлованов .....	154
5.3.2. Осадки и несущая способность фундаментов при вертикальных нагрузках .....	156
5.3.3. Несущая способность фундаментов на горизонтальные нагрузки .....	163
5.4. Проектирование фундаментов в вытрамбованных котлованах .....	166
5.4.1. Основные положения по проектированию .....	166
5.4.2. Общие положения по расчету .....	169
5.4.3. Расчет фундаментов неглубокого заложения без уширения .....	170
5.4.4. Расчет фундаментов неглубокого заложения с уширенным основанием .....	173
5.4.5. Расчет удлиненных фундаментов .....	176
5.4.6. Расчет осадок фундаментов .....	180

5.5. Производство работ по устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах .....	181
5.5.1. Оборудование для вытрамбовывания котлованов .....	181
5.5.2. Опытные работы по вытрамбовыванию котлованов и испытанию фундаментов .....	183
5.5.3. Производство работ по устройству фундаментов .....	189
ГЛАВА 6. Фундаменты из забивных блоков .....	194
6.1. Виды, конструкции и методы устройства фундаментов из забивных блоков .....	194
6.1.1. Виды фундаментов из забивных блоков .....	194
6.1.2. Фундаменты из забивных сплошных блоков .....	198
6.1.3. Фундаменты из забивных пустотелых блоков .....	202
6.1.4. Забивные блоки в свайных фундаментах .....	204
6.2. Особенности совместной работы фундаментов из забивных блоков с грунтом основания .....	206
6.2.1. Формирование уплотненных зон и уширений вокруг фундаментов из забивных блоков .....	206
6.2.2. Осадки фундаментов из забивных блоков при действии на них вертикальных нагрузок .....	209
6.2.3. Работа фундаментов из забивных блоков на горизонтальные нагрузки .....	213
6.3. Проектирование фундаментов из забивных блоков .....	215
6.4. Производство работ по устройству фундаментов из забивных блоков .....	218
6.4.1. Изготовление сборных железобетонных блоков .....	218
6.4.2. Оборудование для забивки блоков .....	220
6.4.3. Производство работ по устройству фундаментов из забивных блоков .....	222
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	228
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	231

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Фундаменты мелкого заложения являются наиболее массовой конструкцией, применяемой в гражданском, промышленном и сельскохозяйственном строительстве.

В последние десятилетия в НИИ оснований и подземных сооружений проведены комплексные экспериментальные и теоретические работы по разработке новых высокоэффективных и совершенствованию существующих конструкций фундаментов мелкого заложения. При этом большое внимание уделялось исследованию совместной работы этих фундаментов с грунтом основания, развитию имеющихся и разработке новых методов их расчетов с широким внедрением полученных результатов в практику проектирования. Результаты исследований и разработок, изложенные в данной книге, включены в действующие нормативные документы (СНиП 2.02.0183\*, СНиП 2.02.03-85, СП 50-101-2004, СП 50-102-2003), а также в соответствующие Руководства, Рекомендации, Пособия и другие нормативные и методические документы, подготовленные НИИОСПом. Все это способствовало широкому применению этих фундаментов в практике строительства, что позволило снизить стоимость, сроки выполнения работ по возведению нулевых циклов зданий и сооружений при одновременном повышении их качества и надежности.

Приведенным в книге исследованиям и разработкам особую важность придает интенсивное увеличение объемов строительства жилых и общественных малоэтажных зданий до 5–6 этажей, для которых основным типом применяемых фундаментов являются фундаменты мелкого заложения. Внедрение усовершенствованных и индустриальных конструкций фундаментов мелкого заложения будет являться основой для развития малоэтажного строительства.

В настоящей работе обобщены результаты исследований и разработок рациональных и эффективных конструкций фундаментов мелкого заложения в лабораториях «Естественных оснований и конструкций фундаментов» и «Фундаментов на просадочных грунтах». В проведении этих работ принимали участие сотрудники НИИОСП: канд. техн. наук Р.Р. Авазов, Ю.А. Багдасаров, А.Г. Божко, Ю.В. Власов, А.В. Вронский, Р.И. Груодис, К.М. Джумаев, В.И. Ильиных, И.Г. Рабинович, В.Л. Рафальзук, Б.А. Сальников, А.С. Снарский, В.В. Стародворский, В.Н. Табунщик, Л.Н. Теренецкий, В.Б. Тропп, В.М. Шаевич, Р.П. Эйдук и другие, которым авторы приносят благодарность.

Авторы также выражают свою признательность работникам научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, принимавших участие в разработке новых конструкций фундаментов, проведении экспериментальных исследований и внедрении полученных результатов (канд. техн.наук А.С. Ковалев, инженеры М.А. Арнансыд, Б.Е. Бухаров, А.Г. Вильфанд, Д.И. Константиновский, В.А. Наумов, А.Г. Рудгайзер, В.Н. Сваровский, Е.В. Третьяков, О.А. Шахов и другие).

Предисловие, введение, глава 1 написаны совместно докторами техн.наук, проф. В.И. Крутовым и Е.А. Сорочаном; главы 2 и 3 Е.А. Сорочаном; глава 4 канд.техн.наук В.А. Ковалевым; главы 5 и 6 В.И. Крутовым; заключение совместно всеми авторами. Разделы 1.5, 5.2 и 5.5 написаны при участии канд. техн. наук А.С. Ковалева.

Авторы благодарны рецензенту докт. техн. наук, проф. З.Г. Тер-Мартirosяну и докт. техн. наук, проф. П.А. Коновалову за ценные замечания, сделанные им при рецензировании рукописи, а также канд. техн. наук А.С. Ковалеву за помощь в подготовке рукописи к изданию.



## ВВЕДЕНИЕ

Фундаменты являются одной из основных частей зданий и сооружений, обеспечивающих их прочность, надежность, длительную нормальную эксплуатацию и в значительной мере определяющих эффективность и качество строительства.

Еще в 1570 г. А. Паладио отмечал: «Фундаментом в общем смысле называется основание постройки, т.е. та часть, которая находится в земле и несет на себе тяжесть всего здания, видимого над землей. Поэтому из всех ошибок, происходящих на постройке, наиболее пагубны те, которые касаются фундамента, так как они влекут за собой гибель всего здания и исправляются только с величайшим трудом, потому архитектор и должен посвятить этому предмету все свое внимание, ибо в иных местах фундаменты даются самой природой, а в других приходится прибегать к искусству» [1].

Позднее по указу Петра I в «Уложении по строительству» отмечалось: «...на устройство подошвы и поддела ни трудов, ни иждивения жалеть не должно» и далее «...все прожекты зело исправны быть должны, дабы казну зряшно не разорять и отечеству ущерба не иметь. Кто прожекты станет абы как ляпать, того чину лишу и кнутом драть велю».

Большая часть аварийных ситуаций, недопустимых повреждений и деформаций в зданиях и сооружениях возникает вследствие различных ошибок, допускаемых при проектировании и устройстве оснований фундаментов и подземных сооружений, в частности, в особых грунтовых условиях. Например, широко известны деформации и разрушения многочисленных жилых, промышленных, гражданских зданий на просадочных грунтах в гг. Волгодонске, Запорожье, Никополе, Херсоне, Одессе и многих других. Из-за недостаточно детального исследования просадочности грунтов при проведении инженерно-геологических изысканий, не полного учета влияния просадок грунтов на конструкции, в том числе на сваи при проектировании, нарушения требований проектов и нормативных документов при производстве работ, не соблюдения правил эксплуатации неравномерные просадки грунтов в основаниях приводили вначале к появлению трещин в зданиях и сооружениях, затем к разрушению отдельных элементов, после чего нередко наступало предаварийное состояние с временным прекращением их эксплуатации. При этом суммарные затраты на восстановление нормальной эксплуатации деформировавшихся зданий и сооружений обычно составляют 20–60% от стоимости строительно-монтажных работ [2].

Удельные затраты на устройство фундаментов и подземных частей зданий и сооружений даже в благоприятных инженерно-геологических и прочих условиях весьма значительные и от общих затрат на их возведение в среднем составляют по стоимости до 7–15%, трудозатратам – 10–20%, расходу бетона – 20–25%, металла – 10–15%, а по затратам времени до 20–40%. В особых грунтовых условиях, к которым относятся лессовые просадочные, набухающие, засоленные, биогенные, вечномерзлые (многолетнемерзлые), слабые водонасыщенные, насыпные и другие грунты, а также на особых территориях (сейсмических, подрабатываемых, закарстованных) эти затраты возрастают до 1,5–2, а в некоторых случаях даже до 3 раз.

Качество, эффективность устройства оснований, фундаментов и подземных частей зданий и сооружений обычно достигаются на основе комплексного взаимно увязываемого рассмотрения следующих основных частей инвестиционного процесса строительства:

- рационального выбора площадки строительства, участков расположения отдельных зданий и сооружений, способов подготовки площадок к застройке, обеспечивающих применение наиболее простых, экономических и надежных видов оснований и типов фундаментов;

- детального изучения и объективной оценки инженерно-геологических условий площадки строительства;

- обоснованного выбора наиболее рационального проектного решения, при котором обеспечивается с одной стороны надежность, прочность и нормальная эксплуатация проектируемых зданий и сооружений, а с другой – наиболее полно используются прочностные и деформационные характеристики грунтов оснований, а также материала фундаментов;

- качественного выполнения работ по подготовке основания, возведению фундаментов, подземных частей зданий и сооружений в соответствии с действующими нормативными документами и принятой к производству работ рабочей документацией;

- эксплуатации возведенных зданий и сооружений в полном соответствии с принятыми при проектировании мероприятиями по обеспечению их прочности, устойчивости, эксплуатационной пригодности.

Только при таком комплексном подходе достигается высокое качество и эффективность устройства оснований, фундаментов и подземных сооружений как с точки зрения минимальных затрат на их выполнение, так и обеспечения прочности, устойчивости, длительной, нормальной эксплуатации.

Конструкции, технологии устройства фундаментов, их технико-экономические показатели в весьма значительной степени зависят от действующих на фундаменты нагрузок от зданий и сооружений, конструктивных решений узлов сопряжения с располагающимся выше верхним строением и, главным образом, от местных грунтовых условий. В зависимости от этих и некоторых других факторов (как, например, климатических условий, производственных возможностей строительных организаций и т.п.) все применяемые до настоящего времени конструкции и технологии устройства фундаментов и подземных сооружений имеют строго определенные и ограниченные области рационального применения. Поэтому при проектировании оснований, фундаментов, подземных сооружений следует разрабатывать несколько возможных по заданной надежности вариантов и принимать из них наиболее экономичные по всем или основным технико-экономическим показателям.

Необходимость вариантного проектирования оснований, фундаментов, подземных сооружений определяется тем, что разница в стоимости, трудоемкости устройства, расходе материалов на отдельные варианты часто изменяется в 1,5–3 и более раз.

Однако из-за весьма ограниченных средств, сроков на проектирование, отсутствия детальных инженерно-геологических изысканий, необходимых для разработки различных вариантов, вариантное проектирование оснований, фундаментов, подземных сооружений, как правило, не выполняются и закладываются обычно применяемые с 40–60-х годов прошлого века так называемые «традиционные», далеко не самые эффективные, прогрессивные и экономически оправданные решения. При этом ссылаются на отсутствие опыта проектирования и строительства, неподготовленность строительных организаций, часто полностью игнорируются включенные в СНиПы, СП и другие нормативные документы новые высокоэффективные и прогрессивные виды оснований, конструкций и технологий устройства фундаментов и подземных сооружений. В связи с этим при установившейся практике разработки проектной документации весьма важным становится проведение экспертизы с целью совершенствования технических решений за счет применения новых высокоэффективных конструкций и технологий устройства фундаментов, рассматриваемых ниже.

# 1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИЯ

## 1.1. Общие положения

Возведение фундаментов, как известно, включает несколько этапов, основными из которых являются: отрывка котлованов, подготовка основания, устройство фундаментов и обратная засыпка пазух котлованов с уплотнением грунта. Причем все эти работы иногда приходится выполнять с водопонижением, предохранением грунтов от промерзания, переувлажнения.

Выполнение каждого из этих этапов работ в значительной степени зависит с одной стороны от местных климатических, инженерно-геологических условий, физико-механических свойств и вида грунтов и с другой от конструктивных особенностей зданий и сооружений, нагрузок на фундаменты, минимально допустимой глубины их заложения и многих других факторов. Поэтому устройство фундаментов и в целом подземных частей зданий сопряжено с необходимостью выполнения большого числа самых различных операций, применения большого количества машин и приспособлений различного назначения, коэффициент использования которых, обычно, оказывается низким при значительной доле ручного труда. При этом физико-механические характеристики и, в особенности, прочностные и деформационные за счет частичного разуплотнения, переувлажнения, промерзания грунтов оснований часто ухудшаются, что в последующем является одной из основных причин появления в зданиях и сооружениях недопустимых деформаций и аварийных ситуаций.

С учетом отмеченного выше, в последнее время, как и в прошлые десятилетия и столетия фундаментостроение осуществляется и развивается по двум основным, конкурирующим и одновременно взаимно обогащающим направлениям: а) фундаменты мелкого заложения; б) фундаменты глубокого заложения.

**Фундаменты мелкого заложения** выполняются с минимально допустимой по конструктивным соображениям глубиной их заложения от природного рельефа, уровня планировки, пола подвала или технического подполья. Глубина заложения фундаментов назначается исходя из:

- расчетной глубины промерзания;
- глубины расположения инженерных коммуникаций, фундамен-

тов технологического оборудования, каналов, приямков и т.п. с учетом того, чтобы они располагались не ниже подошвы фундаментов;

Фундаменты мелкого заложения выполняют, как правило, при залегании сверху на достаточно большую глубину мало- и среднесжимаемых грунтов с расчетным сопротивлением  $R_o$  150–250 кПа и модулем деформации  $E$  10–15 МПа с использованием этих грунтов в качестве естественного основания.

Часто фундаменты мелкого заложения устраивают на искусственном (упрочненном) основании, получаемым путем поверхностного (тяжелыми трамбовками, укаткой катками и т.п.) или глубинного уплотнения (грунтовыми, песчаными сваями, гидровибрацией и другими методами) просадочных, насыпных и других грунтов либо заменой слабого грунта грунтовой подушкой. Грунтовые подушки выполняют из местных песчаных, крупнообломочных, маловлажных глинистых грунтов, а также из минеральных экологически чистых отходов промышленных производств, таких как шлаки, золо-шлаки, горелая земля, вскрышные породы и т.п. В последнем случае одновременно решается и другая весьма важная проблема – утилизация промышленных отходов, освобождения от них, пригодных для сельского хозяйства и других нужд, земли.

Фундаменты мелкого заложения выполняют столбчатыми, ленточными или в виде сплошных плит под все здание или сооружение.

**Фундаменты глубокого заложения** передают нагрузку на глубоко залегающие и, как правило, более плотные и менее деформируемые слои грунта. Обычно их устраивают в случае когда:

- сверху залегают недостаточно плотные и прочные грунты с низкой несущей способностью или обладающие специфическими свойствами, приводящими к дополнительным деформациям (просадочные, засоленные, набухающие, вечномёрзлые, пучинистые, биогенные и другие грунты);

- в непосредственной близости от фундаментов располагаются с большой глубиной заложения тоннели, приямки, инженерные коммуникации, фундаменты под оборудование и другие конструкции;

- требуется практически полностью исключить или снизить возможные величины осадок и их неравномерности;

- расчетная глубина промерзания превышает 2,5–3,5 м;

- имеются глубокие подвалы или специальные подземные сооружения.

Фундаменты глубокого заложения выполняют иногда путем увеличения глубины заложения обычных столбчатых, ленточных,

плитных фундаментов или чаще всего свайными из забивных, буронабивных, набивных свай.

Наиболее простыми, экономичными и широко применяемыми из фундаментов глубокого заложения являются свайные фундаменты. Как известно, для устройства свайных фундаментов требуется специальное оборудование для погружения забивных свай или для бурения, пробивки скважин под буронабивные и набивные сваи. Сметная стоимость 1 м<sup>3</sup> бетона в обычных столбчатых, ленточных фундаментах мелкого заложения в прошлом столетии в ценах 1985 г. составляла около 30 руб., свайных фундаментов из забивных свай 90–100 руб., а буронабивных свай 85–90 руб. С учетом того, что на 1 м<sup>3</sup> бетона в столбчатых и ленточных фундаментах чаще всего приходится 80–150 кН нагрузки, а свайных фундаментах с учетом ростверков 150–400 кН фундаменты мелкого заложения, как правило, в средне- и малосжимаемых грунтах являются более экономичными по всем основным технико-экономическим показателям. Поэтому объем применения фундаментов мелкого заложения в конце прошлого столетия в целом по СССР был существенно больше, чем свайных и составлял 70–75%, а свайных фундаментов 25–30%.

Необходимо отметить, что начатое в конце 50-х годов прошлого столетия, как одно из основных мероприятий по дальнейшей механизации и сокращению трудоемкости работ, широкое применение свайных фундаментов из коротких забивных свай длиной 5–7 м, а в 70-х годах из набивных свай вместо столбчатых, ленточных фундаментов мелкого заложения в подавляющем большинстве случаев себя не оправдало. По стоимости, суммарной трудоемкости, расходу арматуры свайные фундаменты в мало- и среднесжимаемых грунтах оказались не экономичными и лишь по трудозатратам на строительных площадках, расходу бетона в отдельных случаях были более рациональными по сравнению с фундаментами мелкого заложения.

В целях повышения эффективности капитальных вложений, экономичного использования материально-технических средств, повышения качества строительства в последние годы фундаментостроение развивается в направлении разработки и широкого применения новых высокоэффективных конструкций фундаментов мелкого заложения и технологий их устройства, обеспечивающих:

— в процессе устройства фундаментов не только сохранение, но и повышение прочностных и деформационных характеристик грунтов оснований и, тем самым, увеличение нагрузок, передаваемых на фундаменты;

- полное использование деформационно-прочностных характеристик грунтов оснований и несущей способности материала фундаментов при любых сочетаниях нагрузок и наиболее неблагоприятных воздействиях на них;

- простую конструкцию сопряжения надфундаментных конструкций (колонн, панелей, балок, стен) с фундаментами без дополнительных элементов (ростверков, плит и т.п.);

- возведение новых конструкций фундаментов с одинаково высокой степенью эффективности в разнообразных грунтовых условиях, а также для различных видов и конструкций жилых, гражданских, промышленных, сельскохозяйственных зданий и сооружений;

- устройство фундаментов с помощью широко распространенных в строительных организациях средств механизации, оборудованных различными рабочими органами и простыми, быстро и легко изготавливаемыми дополнительными приспособлениями;

- сокращение ручного труда и, в частности, при земляных, опалубочных, арматурных работах;

- снижение стоимости, трудоемкости работ, расхода бетона, арматуры, древесины и топлива на устройство фундаментов;

- сокращение времени как на устройство фундаментов, так и в целом на строительство зданий и сооружений.

Полностью или частично, приведенным выше требованиям, соответствуют появившиеся в последние десятилетия и успешно развивающиеся следующие основные направления в фундаментостроении:

- фундаменты мелкого заложения в уплотненном грунте;

- фундаменты мелкого заложения рациональных конструкций на естественном основании;

- свайные фундаменты из свай в уплотненном грунте.

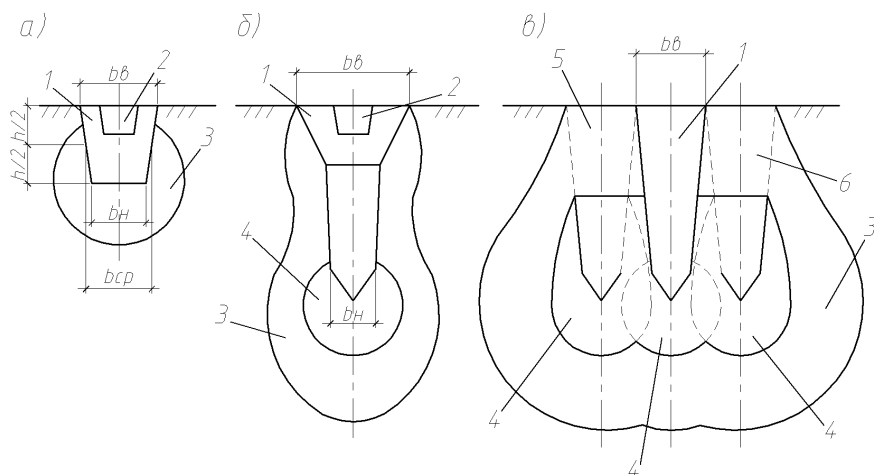
В наибольшей степени приведенным требованиям к созданию и применению новых высокоэффективных конструкций и технологий устройства фундаментов соответствуют фундаменты мелкого заложения в уплотненном грунте, а также рациональные конструкции фундаментов на естественном основании, детальному рассмотрению которых и посвящена данная работа.

По свайным фундаментам рациональных конструкций и технологий их устройства приводится лишь краткий обзор.

## 1.2. Фундаменты в уплотненном грунте

В последние десятилетия сформировалось и весьма успешно развивалось и применялось в практике строительства новое направление в фундаментостроении – устройство фундаментов в уплотненном грунте [3...7]. Особенность его состоит в том, что в процессе возведения фундаментов под подошвой и вокруг их боковых граней создается уплотненный грунт с повышенной плотностью, прочностью и меньшей деформируемостью. Нагрузка от таких фундаментов передается по подошве и боковым стенкам вначале на уплотненный грунт с повышенными прочностными и деформационными (модулем деформации) характеристиками, а затем на грунты природного или техногенного сложения. Таким образом, передача нагрузки происходит последовательно с более прочного на менее прочный материал с постоянным повышением площади и объема грунта, воспринимающего внешнюю нагрузку. Благодаря этому достигается более высокая несущая способность фундаментов по грунту основания.

Наиболее характерными и перспективными фундаментами в уплотненном грунте являются фундаменты в вытрамбованных котлованах:



**Рис. 1.1.** Основные виды фундаментов в вытрамбованных котлованах:

- а* – без уширенного основания; *б* – с уширенным основанием;
- в* – с несущим слоем; 1 – фундамент; 2 – стакан для установки колонны;
- 3 – уплотненная зона; 4 – втрамбованный жесткий грунтовый материал;
- 5, 6 – котлованы для создания уширенного основания



нах (рис. 1.1), а также из забивных блоков, подробно рассматриваемых в данной работе. К этой группе относятся также глубокие фундаменты из забивных пирамидальных свай, набивных свай в пробитых скважинах, виброштампованных и других свай.

Характерной особенностью конструкций и технологий устройства фундаментов в уплотненном грунте является то, что основным процессом при их возведении является уплотнение грунта. Котлованы под отдельные фундаменты или скважины, под набивные сваи не отрываются или бурятся, а вытрамбовываются трамбовкой или пробивным снарядом принятой формы и размерами на заданную глубину. В необходимых случаях для повышения несущей способности фундаментов в нижнюю часть котлована отсыпают жесткий грунтовый материал отдельными порциями и той же трамбовкой (пробивным снарядом) втрамбовывают его внутрь грунтового массива для создания уширения. В качестве жесткого грунтового материала применяют щебень, отходы от щебня, щебенистый, гравелистый грунт, песчано-гравийную смесь, гранулированный шлак и т.п. Повторяя операции по отсыпке и втрамбовыванию до 3–6 раз, получают уширение размером в плане до 2, на глубину до 2–3 диаметров трамбовки в нижней ее части.

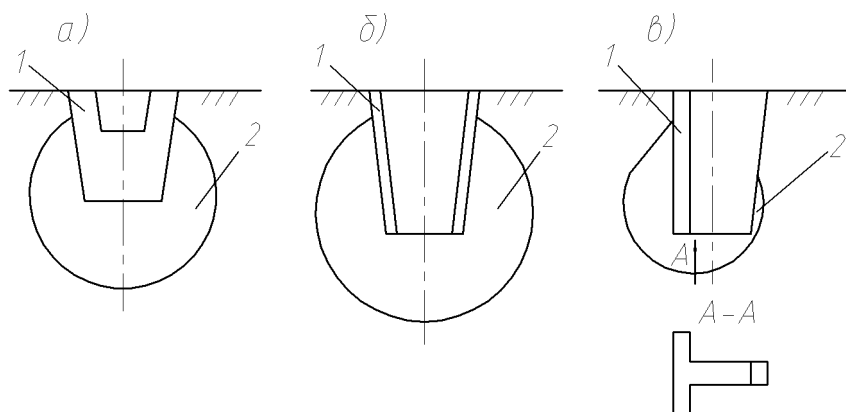
Вытрамбовывание котлованов (скважин) осуществляют, как правило, путем свободного сбрасывания трамбовки (пробивного снаряда) массой 1,5–7 тс, а иногда до 12–15 тс с высоты 3–8 м.

После вытрамбовывания котлована, втрамбовывания в него жесткого грунтового материала в полученный котлован устанавливают арматурный каркас, при необходимости опалубку верхней опорной части и производят бетонирование фундамента в распор со стенками котлована (скважины).

Разработаны и весьма успешно применялись в строительной практике следующие основные типы фундаментов в уплотненном грунте:

- фундаменты в вытрамбованных котлованах (рис. 1.1);
- фундаменты из забивных блоков (рис. 1.2);
- фундаменты из набивных свай, выполняемые в скважинах, полученных не бурением, а уплотнением грунта, а также из некоторых видов буронабивных и забивных свай, рассматриваемых в разделе 1.3.

Впервые уплотнение для устройства фундаментов было применено в 1897 г. киевским инженером Страусом при устройстве набивных свай в пробуренных скважинах и уплотнением жесткого бетона в скважинах. В 20-х годах прошлого века уплотнение широко использова-



**Рис. 1.2.** Основные виды фундаментов из забивных блоков:  
*а* – сплошных со стаканом; *б* – пустотелых; *в* – тавровых в плане;  
 1 – забивной блок; 2 – уплотненная зона

лось в сваях «Компрессоль» как для образования скважин, так и для уплотнения жесткого бетона, укладываемого в скважину. В конце 40-х начале 50-х годов прошлого века в Москве иногда применялись частотрамбованные сваи, при устройстве которых основным процессом являлось также уплотнение.

Наиболее широко уплотнение грунтов трамбованием применяется в фундаментостроении с 50-х годов прошлого века вначале для поверхностного уплотнения тяжелыми трамбовками просадочных лессовых, насыпных грунтов, а затем и для вытрамбовывания котлованов.

Впервые вытрамбовывание было применено в 50-е годы для образования уплотнением грунта непрерывных каналов-оросителей в гидромелиоративном строительстве. Однако при свободном сбрасывании трамбовки без специальной направляющей этот принцип себя не оправдал и не получил дальнейшего развития.

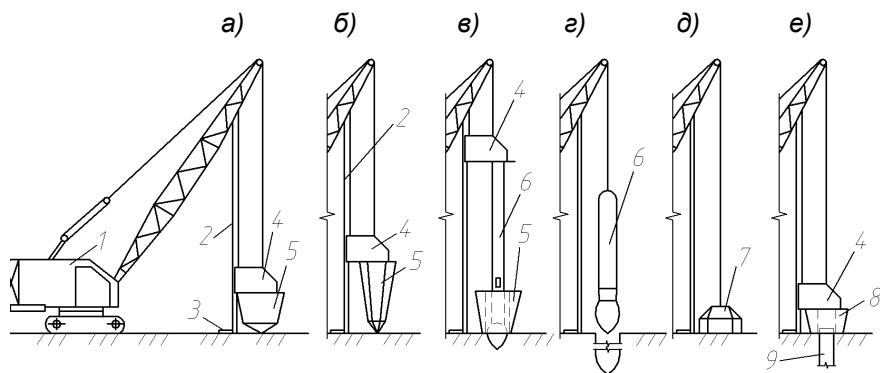
В дальнейшем в 1964 г. вытрамбовывание было применено в г. Новосибирске для получения приямков вокруг свай при устройстве забивных свай длиной 5–8 м с оголовками в вытрамбованных приямках. Статические испытания таких комплексных конструкций показали, что на оголовки в вытрамбованном котловане приходится до 50–70% нагрузки. Поэтому от забивных свай в дальнейшем отказались и с 1966 г. начались интенсивные исследования, разработка и внедрение в строительство методов устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах, а в 70-х годах фундаментов из забивных блоков, а также из набивных свай в уплотненном грунте.

Необходимо отметить, что рассматриваемое направление по устройству фундаментов в уплотненном грунте является комплексным, так как первые два их типа – фундаменты в вытрамбованных котлованах и из забивных блоков относятся к фундаментам мелкого заложения, а третий – к глубоким фундаментам.

Весьма важной особенностью фундаментов в уплотненном грунте является то, что все их типы и виды могут выполняться с помощью одного комплексного многоцелевого навесного оборудования (рис. 1.3), на грузоподъемный механизм чаще всего тросовый кран-экскаватор (1) с фрикционной лебедкой. Основой такого комплексного навесного оборудования (рис. 1.3) служит направляющая стойка (2), которая вверху крепится к стреле крана-экскаватора, а внизу в процессе работы через опорную плиту (3) с зубьями опирается на грунт. По направляющей стойке перемещается на катках или трении сбросная каретка (4), к которой крепится на болтах сменные рабочие органы (5...8). Комплект сменных рабочих органов обычно включает:

- 2–4 вида различных по форме и размерам трамбовок (5) для вытрамбовывания котлованов под отдельно стоящие, ленточные прерывистые, щелевые фундаменты, а также погружения забивных блоков;

- 2–3 вида пробивных снарядов (6) для пробивки скважин под набивные сваи, столбы из жесткого грунтового материала и послойного уплотнения засыпаемого в них грунта, в том числе жесткого бетона;



**Рис. 1.3.** Схема многоцелевого навесного оборудования для устройства фундаментов в уплотненном грунте:

а, б – в вытрамбованных котлованах; в, г – набивных свай;  
 д – обычных столбчатых, ленточных на уплотненном грунте;  
 е – набивных свай с оголовками

— 2–3 вида трамбовок (7..8) для поверхностного уплотнения грунта или подготовки оснований под обычные столбчатые, ленточные фундаменты, а также для уплотнения и втрамбовывания жесткого грунтового материала вокруг забитых свай (9), блоков;

— клин-долото (на рис. 1.3 не показано) для разрушения мерзлых, скальных и других прочных грунтов, строительных конструкций и т.п.

Фундаменты в уплотненном грунте выполняются, как правило, одноэлементными и обычно сочетают в себе все преимущества фундаментов мелкого и глубокого заложения.

За счет отмеченных особенностей устройства и взаимодействия с грунтом основания при применении фундаментов в уплотненном грунте обеспечивается практически полное исключение опалубочных, земляных работ как по отрывке отдельных котлованов под каждый фундамент, так и по обратной засыпке после их устройства, снижается расход бетона в 1,2–2 раза, арматурной стали до 3–5 раз. При этом стоимость, трудоемкость, время на возведение фундаментов снижаются в 1,5–3 раза по сравнению с обычно применяемыми традиционными столбчатыми, ленточными, свайными фундаментами и, кроме того, обеспечиваются, как правило, более высокое гарантированное качество и надежность.

Однако эффективность устройства фундаментов в уплотненных особенно глинистых грунтах весьма существенно зависит от их влажности. Из теории уплотнения грунтов известно, что максимальные значения плотности, прочностных и деформационных характеристик грунтов достигаются только при уплотнении их при оптимальной влажности [3, 7, 14]. В связи с этим вытрамбовывание котлованов, забивку фундаментных блоков, формирование скважин под набивные сваи следует выполнять, как правило, при оптимальной ( $\omega_o$ ) или близкой к ней влажности [3, 7]. Значение ее для глинистых грунтов при трамбовании обычно оказывается на 0,01–0,03 (в долях единицы) меньше влажности на границе раскатывания ( $\omega_p$ ), а для песчаных равной 0,1–0,15 и полном водонасыщении ( $S_r \geq 0,9$ ) в случаях уплотнения их вибрацией.

В связи с отмеченным выше при влажности особенно глинистых грунтов ниже оптимальной до начала устройства рассматриваемых конструкций и технологий выполнения фундаментов необходимо повысить влажность подобных грунтов до оптимального значения путем доувлажнения расчетным количеством воды. В случаях повышенной более чем на 0,03–0,05 более оптимального значения влажности в процессе вытрамбовывания котлованов, пробивки скважин, создания