

А.Н. Добромыслов

# ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА  
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**



**А.Н. Добромыслов**

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Справочное пособие



Издательство АСВ  
Москва  
2012

## Рецензенты:

профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций Московского государственного строительного университета, к.т.н. *А.И. Бедов*; заведующий кафедрой Строительное производство, сертификация и стандартизация Московского государственного открытого университета, профессор, д.т.н. *В.В. Доркин*.

## Добромыслов А.Н.

Железобетонные конструкции. Примеры расчета инженерных сооружений. Справочное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 288 с.

ISBN 978-5-93093-849-4

Приведены примеры расчёта инженерных сооружений: опускных колодцев, дымовых труб, этажерок, градирен, подземных сооружений, эстакад под технологические трубопроводы, мостов и пандусов, транспортных и крановых эстакад. Содержатся необходимые справочные материалы и пояснения для выполнения расчётов.

Пособие предназначено для инженеров-проектировщиков и студентов строительных вузов.

ISBN 978-5-93093-849-4

© Издательство АСВ, 2012

© Добромыслов А.Н., 2012

Справочное пособие

**Андрей Николаевич Добромыслов**

# ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

## ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Компьютерная вёрстка: *О.В. Лютова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Формат 60×90/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 18 п.л. Заказ №

ООО «Издательство АСВ»

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511  
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru), <http://www.iasv.ru/>

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	5
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>Глава 1. ОПУСКНЫЕ КОЛОДЦЫ</b> .....	9
1.1. Основные сведения .....	9
1.2. Расчет опускных колодцев .....	12
1.3. Пример расчета водопроводной насосной станции .....	16
1.4. Пример расчета канализационной насосной станции .....	26
<b>Глава 2. ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ</b> .....	40
2.1. Общие сведения .....	40
2.2. Расчет дымовых труб .....	42
2.3. Пример расчета дымовой трубы .....	50
<b>Глава 3. ЭТАЖЕРКИ, ПОСТАМЕНТЫ</b> .....	64
3.1. Общие сведения .....	64
3.2. Расчет сооружений .....	66
3.3. Пример расчета этажерки под оборудование .....	67
<b>Глава 4. БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ</b> .....	78
4.1. Общие сведения .....	78
4.2. Расчет градирен .....	81
4.3. Пример расчета башенной градирни .....	90
<b>Глава 5. ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ</b> .....	105
5.1. Общие сведения .....	105
5.2. Расчет подземных сооружений .....	110
5.3. Пример расчета отдельно стоящего подвала .....	120
5.4. Пример расчета транспортного тоннеля .....	126
5.5. Пример расчета коллектора глубокого заложения .....	134
<b>Глава 6. ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИЕ ОПОРЫ И ЭСТАКАДЫ ПОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ</b> .....	143
6.1. Общие сведения .....	143
6.2. Расчет сооружений .....	144
6.3. Пример расчета отдельно стоящей опоры под техноло- гические трубопроводы .....	147

6.4. Пример расчета отдельно стоящей анкерной опоры .....	156
6.5. Пример расчета конструкций эстакады под трубопрово- ды.....	161
<b>Глава 7. МАЛЫЕ МОСТЫ, ПАНДУСЫ, ПЕШЕХОДНЫЕ ГАЛЕРЕИ.....</b>	<b>171</b>
7.1. Общие сведения .....	171
7.2. Расчет сооружений.....	176
7.3. Пример расчета малого автодорожного моста.....	179
7.4. Пример расчета пешеходного пандуса .....	188
7.5. Пример расчета свайной опоры моста .....	195
<b>Глава 8. ПЕШЕХОДНЫЕ МОСТЫ .....</b>	<b>203</b>
8.1. Общие сведения .....	203
8.2. Расчет пешеходных мостов.....	208
8.3. Пример расчета арочного пешеходного моста.....	214
<b>Глава 9. ТРАНСПОРТНЫЕ ЭСТАКАДЫ .....</b>	<b>225</b>
9.1. Общие сведения .....	225
9.2. Расчет сооружений.....	229
9.3. Пример расчета транспортной эстакады .....	237
<b>Глава 10. ОТКРЫТЫЕ КРАНОВЫЕ ЭСТАКАДЫ .....</b>	<b>262</b>
10.1. Общие сведения .....	262
10.2. Расчет крановых эстакад .....	264
10.3. Пример расчета открытой крановой эстакады .....	269
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>279</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>285</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Железобетонные инженерные сооружения применяются в различных отраслях промышленности, энергетики, транспорта, гражданского строительства.

В отличие от конструкций зданий проектирование различных инженерных сооружений имеет целый ряд специфических особенностей.

Настоящая работа посвящена практическим методам расчета мало освещенных в технической литературе сооружений: опускных колодцев, дымовых труб, этажерок, градирен, различных подземных сооружений, эстакад технологических трубопроводов, мостов и пандусов, транспортных и крановых эстакад.

Как показывает более чем 50-летний опыт эксплуатации различных железобетонных сооружений, запроектированных на основании инженерных методов расчета, они отличаются высокой надежностью и большинство из них успешно эксплуатируются до настоящего времени.

В основу книги положены цифровые примеры расчета и конструирования. В качестве примеров использованы типовые и реальные проекты сооружений. Все расчеты выполнены по действующим на момент написания работы строительным нормам с использованием методик расчета, принятых в ведущих проектных организациях.

В начале каждой главы перед примерами расчета приводятся краткие сведения о конструкциях рассматриваемого вида сооружения, принятых методах их проектирования и справочные материалы, необходимые для выполнения расчетов.

При изложении примеров расчета предполагается, что читатели уже знакомы с расчетом сечений железобетонных элементов конструкций. Поэтому в ряде примеров эти расчеты для краткости изложения опущены.

## ВВЕДЕНИЕ

Железобетонные инженерные сооружения отличаются большим разнообразием. Стоимость строительства их может достигать до 50% от общей стоимости строительного объекта.

Железобетонные сооружения промышленного и гражданского строительства можно разделить на: емкостные\* для жидкостей и сыпучих материалов (резервуары, емкостные сооружения водоснабжения и канализации, бункеры, силосы, закрома), подземные (подпорные стены, подвалы, тоннели и каналы, опускные колодцы), надземные (этажерки, постаменты, открытые крановые эстакады, отдельно стоящие опоры и эстакады под технологические трубопроводы, галереи, мосты, разгрузочные железнодорожные эстакады), высотные (градирни, дымовые трубы, водонапорные башни).

Проектирование конструкций инженерных сооружений имеет ряд особенностей, связанных как с назначением сооружения и видом действующих на него нагрузок, так и с условиями работы конструкций при эксплуатации.

Основными направлениями российской школы проектирования являются широкое применение сборных железобетонных конструкций и строительство сооружений с применением типовых конструкций и проектов. Обосновывается это тем, что при разработке типовых проектов основные принципиальные решения сооружения принимают специализированные проектные организации, а привязку конкретных проектов на месте строительства могут осуществлять организации широкого профиля. Этим достигаются качество проектирования, сокращение сроков проектирования и строительства, экономичность и технологичность проектного решения.

В отличие от России в большинстве стран Западной Европы часто идут по пути индивидуального проектирования и создания экономичных конструкций. В США при проектировании главной задачей является упрощение и удешевление процессов изготовления. При этом вопрос о расходе материалов перестает играть первостепенную роль.

Важным этапом проектирования железобетонных сооружений являются их расчеты: на прочность, устойчивость, безопасность,

---

\* Примеры расчета сооружений массового применения: подпорных стен, тоннелей и каналов, резервуаров, бункеров, силосов, водонапорных башен, труб и коллекторов приведены в работе автора [12].

пригодность к эксплуатации. С учетом этих расчетов осуществляется выбор оптимальных размеров и материалов конструкций сооружения, способов строительства.

Расчет сооружений производят в следующей последовательности: осуществляют сбор исходных данных для проектирования (назначение сооружения, технологические требования, габариты, характеристики грунтов площадки, агрессивность сред), определяют расчетную схему сооружения, осуществляют сбор нагрузок на конструкции сооружения, определяют расчетные усилия в конструкциях и перемещения, производят подбор сечений конструкций по найденным усилиям, осуществляют расчет оснований фундаментов сооружения.

При проведении расчетов большое значение имеет правильный выбор расчетной схемы сооружения. Расчетная схема включает в себя: геометрическую схему конструкции или сооружения, приложенные нагрузки, опоры закрепления. При выборе расчетной схемы следует исходить из возможных схем разрушений и деформаций конструкций сооружения, подтвержденных опытом строительной практики. При этом работа конструкции принимается в менее благоприятных условиях, чем те, в которых находится действительная конструкция. Наряду с этим расчетная схема должна быть простой, чтобы расчет не становился чрезмерно громоздким. При составлении расчетной схемы необходимо провести схематизацию конструкции и отбросить второстепенные факторы, которые не влияют сколько-нибудь заметным образом на достоверность и требуемую степень точности расчета. В зависимости от поставленной задачи расчетная схема может видоизменяться. Отказываясь от того или иного упрощения или заменяя его менее грубым, можно получить более точную расчетную схему. В процессе работы конструктор принимает схему, соответствующую требованиям расчета, по своему усмотрению, и на его ответственности лежит решение о том, какие условия важны для проводимого расчета, а какие могут быть оставлены без внимания.

Инженерные сооружения, как правило, представляют из себя статически неопределимые конструкции. В инженерной практике для определения усилий в них часто пользуются приближенными методами расчета, при которых сложное сооружение расчленяется на плоские системы, а взаимодействие и особенности работы отдельных конструкций учитывают введением коэффициентов условий работы, которые определены в большинстве случаев по опыту



проектирования. При этом материал конструкций принимается упругим, изотропным, однородным. Более точные статические расчеты выполняют с использованием компьютерных программ.

По найденным усилиям из статического расчета по нормам проектирования железобетонных конструкций СНиП и развивающих их документов в виде свода правил (СП) и пособий осуществляют подбор сечений или проверку прочности существующих конструкций.

Определение усилий в статически неопределимых конструкциях на основании упругой работы конструкций и подбор их сечений с учетом пластических свойств материалов не совсем правильно отражает действительную работу сооружения. Более точно несущая способность таких конструкций может быть выполнена по методу предельного равновесия, представляющего единое целое в методе определения усилий и подборе сечений конструкций.

Выбор материалов конструкций производят с учетом экономических, климатических и конструктивных требований.

На основании выполненных расчетов осуществляют конструирование элементов и разрабатывают конструктивную часть проекта сооружения. При разработке конструкций помимо данных расчета необходимо учитывать также конструктивные требования (минимальный процент армирования сечения конструкции, анкеровку арматуры, толщину защитных слоев, наличие монтажной арматуры и др.), а также технологические требования (допуски при изготовлении, условия изготовления и эксплуатации).

При разработке проекта возможны две задачи: сооружение задано или принято по типовому проекту и необходимо проверить прочность его конструкций или требуется запроектировать конструкции индивидуального сооружения без применения типовых конструкций.

Процесс проектирования сооружения может осуществляться в одну стадию – рабочий проект или в две стадии – проект и рабочая документация. В одну стадию проектируются сооружения, которые выполняются по типовому проекту, а также технически несложные объекты. Двухстадийное проектирование выполняется для более крупных и сложных объектов. При этом выбор наиболее рациональных решений производится в результате сравнения нескольких вариантов по экономическим показателям, расходу материалов, трудовым затратам.

# Глава 1. ОПУСКНЫЕ КОЛОДЦЫ

## 1.1. Основные сведения

Опускные колодцы применяются для устройства опор глубокого заложения мостов, насосных станций водоснабжения и канализации, подземных резервуаров, подземных сооружений. Опускной колодец представляет собой оболочку, погружаемую в грунт.

Погружение опускных колодцев в грунт осуществляется под действием собственного веса, для чего внутри железобетонной оболочки колодца производится выемка грунта. Оболочка, лишаясь опоры грунта, постепенно опускается в грунт до проектной отметки. По мере опускания колодца оболочка наращивается сверху. При наличии грунтовых вод по достижении опускным колодцем проектной отметки устраивают методом подводного бетонирования бетонную подушку, позволяющую защитить колодец от грунтовых вод во время устройства гидроизоляции и железобетонной плиты днища.

При отсутствии грунтовых вод бетонирование плиты днища осуществляется обычным способом. Колодцы, служащие опорой мостов могут не иметь днища, а внутреннее пространство их может заполняться дренирующим материалом, бетоном или оставаться незаполненным.

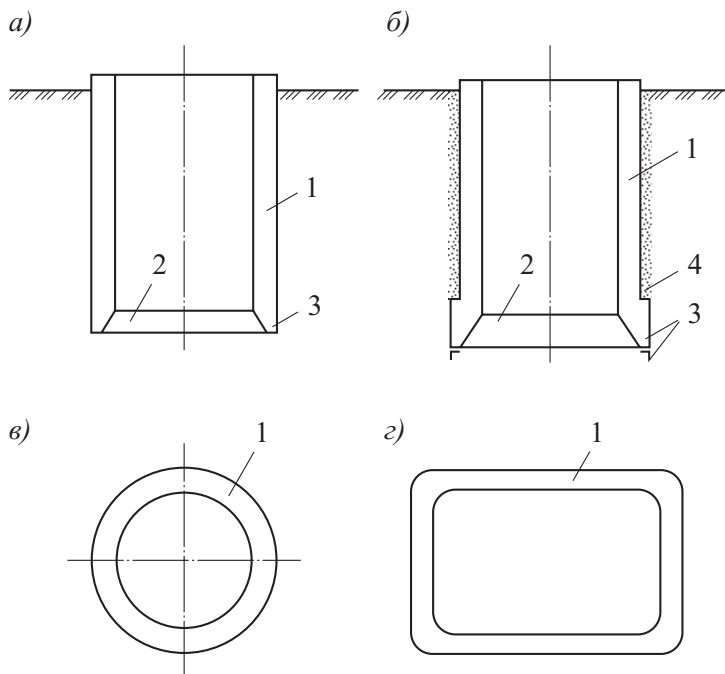
Основной частью опускного колодца является оболочка, которая состоит из наружной стены, снабженной внизу скошенной ножевой частью.

По форме в плане опускные колодцы могут быть круглыми и прямоугольными, с внутренними перегородками и без них (*рис. 1.1*).

Наибольшее распространение получили опускные колодцы круглой формы из монолитного железобетона. Их диаметры составляют 2–60 м, а глубина погружения 4–50 м. Толщина стенок колодца назначается из условия создания необходимого веса для преодоления сил трения при погружении, но не менее 20 см. Наиболее эффективным решением уменьшения сил трения при погружении колодцев является применение тиксотропной рубашки, образуемой из глинистого раствора между боковой стенкой и грунтом или путем специальной смазки боковой поверхности колодца перед его погружением. Снижение общей силы трения на колодец может быть достигнуто также при погружении колодца в котлован.

Армирование стенок колодца осуществляют плоскими или пространственными каркасами, а также отдельными стержнями. Го-

ризонтельную и вертикальную арматуру устанавливают по наружной и внутренней граням стен обычно с шагом 20...30 см диаметром не менее 12 мм. Минимальный процент армирования сечений – 0,1% в каждом направлении. Толщина защитного слоя бетона 5 см. Конструкция цилиндрического монолитного колодца показана на *рис. 1.2*.



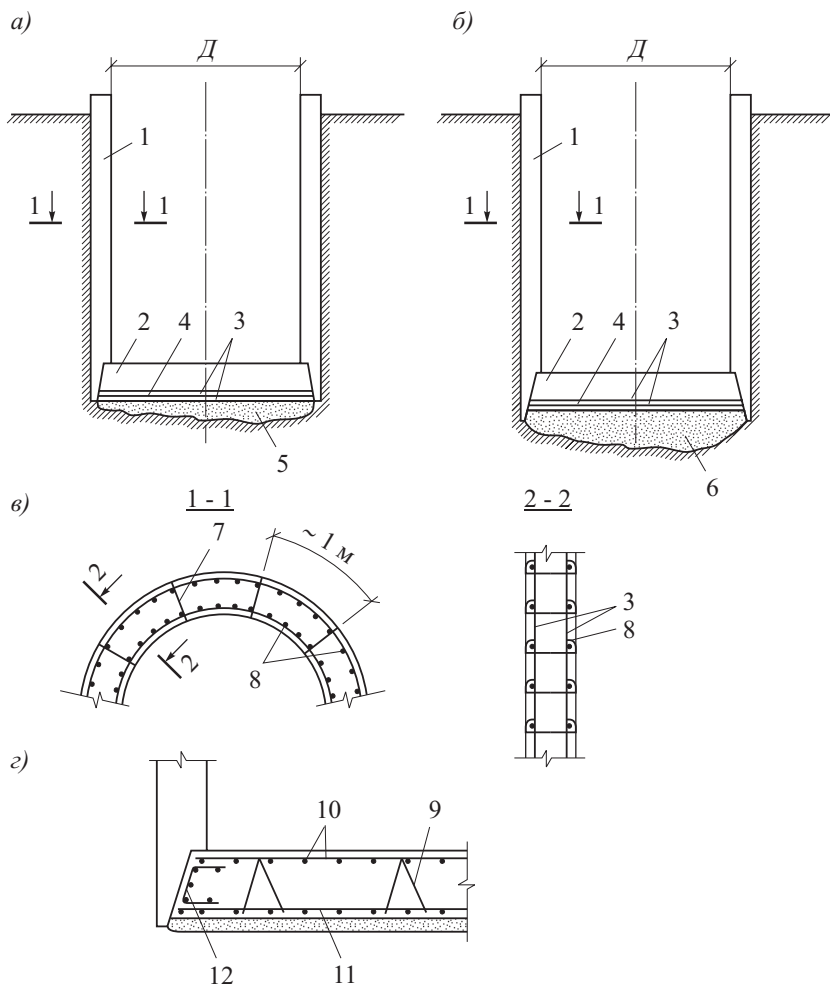
**Рис. 1.1.** Формы колодцев:

*a* – в вертикальном разрезе; *б* – то же колодца в тиксотропной рубашке; *в*, *г* – в плане; 1 – стена; 2 – днище; 3 – нож; 4 – тиксотропная рубашка

Сборные железобетонные колодцы выполняют из плоских стеновых панелей сплошного сечения и длиной до 15 м. Стыки сборных панелей осуществляют приваркой плоских накладок к закладным деталям панелей или с помощью петлевых выпусков кольцевой арматуры панелей с последующим заполнением зазора между панелями бетоном.

При повышенных требованиях к гидроизоляции применяется внутренняя оклеечная изоляция из нескольких слоев гидростеклоизола. После оклейки несущей части стены бетонируется внутрен-

няя стена (рубашка) толщиной 10...12 см, воспринимающая давление фильтрующейся воды. В отдельных случаях применяют сплошную стальную облицовку внутренней части стены с креплением ее к закладным деталям, заложенным в теле оболочки.



**Рис. 1.2.** Конструкция опускаемого колодца:

*а* – при отсутствии грунтовых вод; *б* – при наличии грунтовых вод; *в* – армирование монолитной стены; *г* – армирование дна; 1 – стена колодца; 2 – ж.б. днище; 3 – цементная стяжка; 4 – гидроизоляция; 5 – дренажный слой; 6 – бетонная подушка; 7 – арматурные каркасы; 8 – сварные сетки или отдельные стержни; 9 – поддерживающий сетки каркас; 10 – верхняя арматурная сетка; 11 – то же нижняя сетка; 12 – гнутые сетки

Опускные колодцы изготавливают из бетона класса не ниже: В15 по прочности, F75 по морозостойкости и W4 по водонепроницаемости. Рабочую арматуру принимают класса А400.

## 1.2. Расчет опускных колодцев

При расчете опускных колодцев производится: определение геометрических размеров колодца, определение усилий, действующих в стенках колодца и днище во время его погружения и эксплуатации, определение сечений его элементов.

Работа стен колодца под нагрузкой при погружении более невыгодна, чем во время эксплуатации, когда колодец поставлен на проектную отметку и имеются внутренние конструкции: днище, перекрытия.

В начале расчета колодца определяют толщину стен из условия, чтобы собственный вес колодца был больше силы трения грунта по внешней поверхности стен колодца.

Полная сила трения грунта по внешней поверхности стен колодца находят по формуле

$$T = U(H - 2,5)f_0, \quad (1.1)$$

где  $f_0 = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}$  – средневзвешенное значение

удельной силы трения;  $f_1, f_2, \dots, f_n$  – удельные значения силы трения грунта, принимаемые в зависимости от породы грунта и его консистенции;  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – толщины отдельных слоев грунта (принимаются по данным геологического разреза);  $U$  – внешний периметр колодца в м;  $H$  – полная глубина колодца.

Удельная сила трения боковой бетонной поверхности по грунту может быть принята для глинистых, суглинистых, супесей, мелких песков и пльвунов в размере  $12 \dots 20 \text{ кН/м}^2$ , песков средней крупности и гравелистых грунтов  $15 \dots 30 \text{ кН/м}^2$ .

Если колодец погружается в тиксотропной рубашке, сила трения в зоне рубашки не учитывается.

При определении толщины стен колодца необходимо соблюдать условие

$$(P - B) \geq 1,15T, \quad (1.2)$$

где  $P$  – собственный вес опускного колодца;  $B$  – вес воды, вытесняемый стенами колодца (при отсутствии воды равняется нулю).

Для стадии эксплуатации выполняются следующие расчеты: прочности наружных стен и перегородок, днища и перекрытий; проверка на всплытие колодца.

Если в колодцах имеются внутренние отсеки, которые по технологии заполняются водой, то при расчете ограждающих конструкций этих отсеков должна учитываться дополнительная гидростатическая нагрузка.

Основной нагрузкой на стены колодца является горизонтальное давление грунта  $p_z$ .

При грунтах естественной влажности

$$p_z = \gamma u \lambda, \quad (1.3)$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта;  $u$  – высота слоя грунта до рассчитываемого сечения от поверхности грунта;  $\lambda = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ ,  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта.

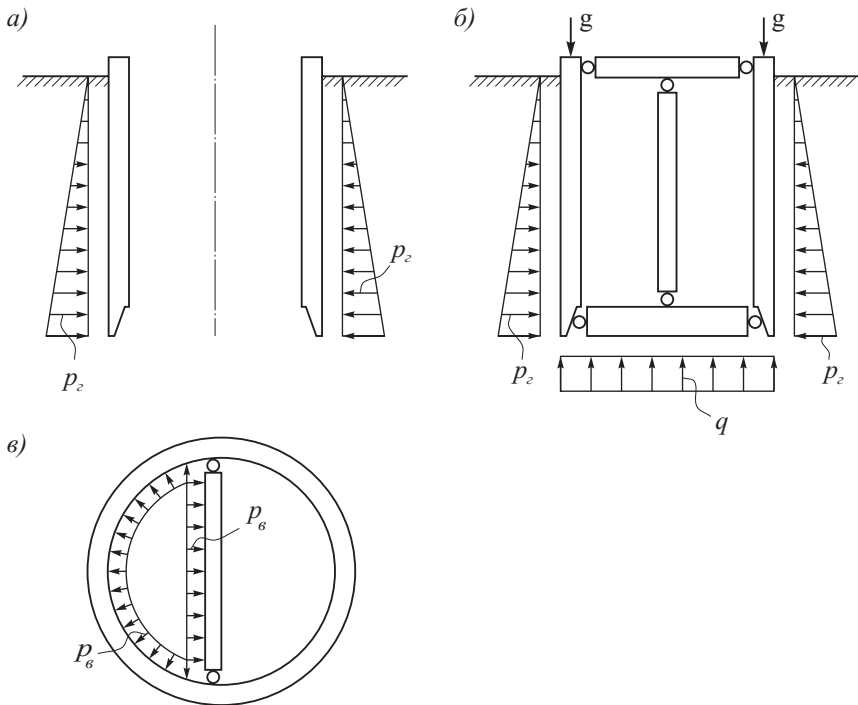
При грунтах, взвешенных в воде,

$$p_z = \gamma u \lambda + h_w \gamma_w (1 - m \lambda), \quad (1.4)$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта;  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес воды;  $u$  – высота слоя грунта до рассчитываемого сечения от поверхности грунта;  $h_w$  – высота слоя воды;  $m$  – объем частиц в единице объема сыпучего тела грунта.

На действие горизонтального давления грунта  $p_z$  производят определение усилий в стенке колодца для двух расчетных схем: для стадии опускания и стадии эксплуатации (*рис. 1.3*).

Определение горизонтального давления и усилий от этих нагрузок аналогичны расчету заглубленных резервуаров. Стена колодца по высоте делится на ряд расчетных зон высотой 5...10 м. Для расчета зоны выделяется полоса шириной 1 м, которая рассчитывается как замкнутый контур (кольцо, прямоугольник в зависимости от очертания колодца в плане). При этом интенсивность давления принимается одинаковой по все высоте зоны и равной наибольшей ординате эпюры горизонтальных давлений. По действующим усилиям осуществляется расчет горизонтальной арматуры.



**Рис. 1.3.** Расчетные схемы колодцев:

*a* – в стадии опускания; *б* – в стадии эксплуатации; *в* – колодец с перегородкой

Вертикальная арматура в стенке колодца определяется из расчета на отрыв нижней части стен в процессе погружения колодца, при котором верхняя часть колодца в конце опускания окажется зажатой в грунте, в то время как нижняя часть будет находиться в висячем состоянии.

На этот случай и подбирается поперечное сечение вертикальной арматуры:

$$A_s = \frac{P}{R_s}, \quad (1.5)$$

где  $P$  – собственный вес колодца высотой  $h = 0,65H$ ;  $H$  – полная глубина колодца;  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры.

Часто вертикальная и кольцевая арматура стенок ставится конструктивно исходя из минимального коэффициенты армирования

ния  $\mu = 0,001$  и принимается двойной с внешней и внутренней поверхности стен.

Расчет ножа производится приближенно как консольной балки единичной ширины, заделанной в уровне днища от внешнего давления грунта, когда грунт под ножом колодца подобран, а колодец находится на проектной отметке. При этом с наружной стороны колодца действует полное давление грунта и воды. От действующей нагрузки в консоли определяется изгибающий момент, по которому подбирается симметричная двойная вертикальная арматура.

Вертикальная арматура ножа принимается не менее  $5 \text{ } \varnothing 14$  мм на пог. м с каждой стороны сечения. Эти стержни должны быть заведены за верх ножа на расстояние не менее 1,5 м.

Иногда поперечное сечение круглых колодцев рассчитывается на нагрузку, распределенную по кольцу неравномерно, мотивируя это тем, что в период погружения колодца возможны крены и наклонны пластов грунта. Однако предлагаемые схемы нагрузок условны и не обоснованы экспериментально.

Расчет подушки или железобетонной плиты днища производят на действие гидростатического давления грунтовой воды и реактивного давления грунта от собственного веса стен колодца, нагрузки надстройки и перекрытий (для стадии эксплуатации). Гидростатическое давление грунтовой воды и реактивного давления грунта принимают равномерно распределенным по горизонтальной проекции днища колодца и действующим снизу вверх.

Когда плоское днище колодца состоит из бетонной подушки и железобетонной плиты днища, рассчитывать нужно и подушку, и плиту.

Изгибающие моменты и поперечные силы от нагрузки в подушке и днище определяют по формулам плиты, шарнирно опертой по контуру на стены колодца.

В круглой плите возникают как радиальные, так и тангенциальные изгибающие моменты. В середине круглой плиты эти моменты имеют максимальную величину и определяются по формуле

$$M_p = M_T = 0,198qr, \quad (1.6)$$

где  $q$  – расчетная нагрузка, состоящая из гидростатического давления, или нагрузка от собственного веса стен за вычетом собственного веса подушки;  $r$  – расчетный радиус плиты (принимается до половины скоса ножа).



Днище, на которое опираются внутренние стены или колонны, рассчитывается как многопролетная плита, опертая на стены и колонны.

Расчет колодца на всплытие производится на расчетные нагрузки. При этом сила трения грунта по боковой поверхности стен колодца учитывается в размере 0,5 от ее расчетной величины.

На действие нормативных нагрузок от веса сооружения производится проверка основания под сооружением как обычного фундамента. При этом подошвой фундамента при расчете считается нижняя поверхность днища и ножевой части стен.

### 1.3. Пример расчета водопроводной насосной станции

Требуется рассчитать конструкции насосной станции с применением опускного колодца (рис. 1.4). Подземная часть станции запроектирована железобетонной круглой в плане с внутренним диаметром  $D = 9$  м и глубиной погружения от уровня планировки  $H = 10,85$  м. Выше колодца имеется наземная часть станции со стенами из кирпичной кладки толщиной 51 см. Сверху наземной части станции имеется купольное покрытие с отоплением.

Погружение станции осуществляется без водоотлива и применения смазки поверхности колодца. Начало погружения осуществляется на отметке 90,0 м. Колодец сооружается из бетона класса В15. Арматура класса А400  $R_s = 35,5$  кН/см<sup>2</sup>.

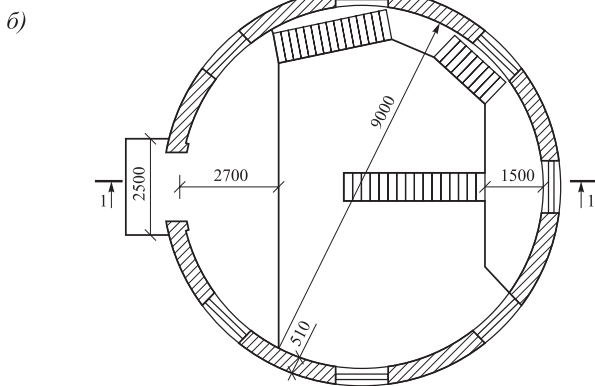
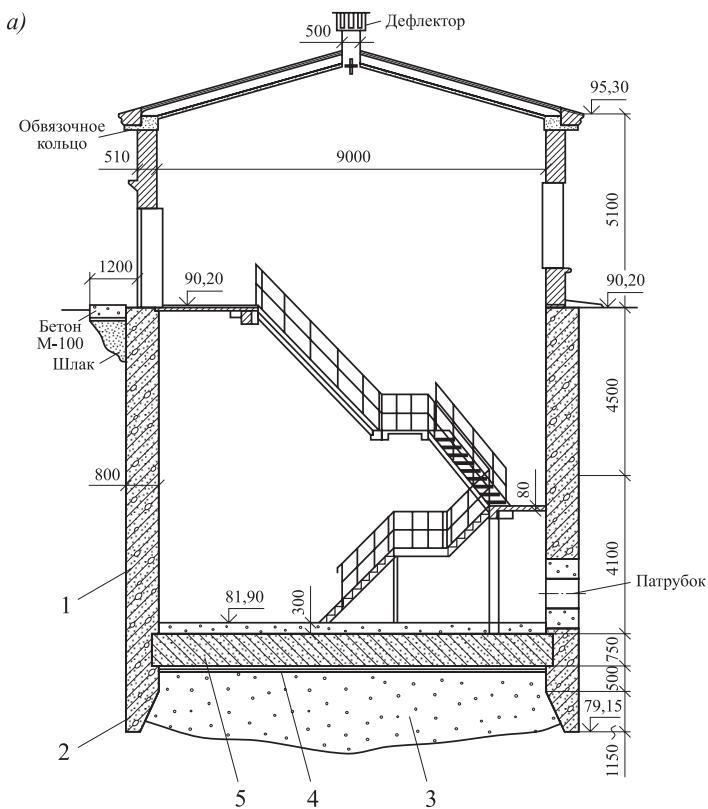
Грунты в месте строительства – мелкозернистые пески. Средневзвешенное значение удельной силы трения грунта по боковой бетонной поверхности  $f_0 = 17$  кН/м<sup>2</sup>. Удельный вес грунта  $\gamma = 18$  кН/м<sup>3</sup>, угол внутреннего трения  $\varphi = 35^\circ$ . Расчетное сопротивление грунта  $R = 800$  кН/м<sup>2</sup>.

#### **Определение толщины стен колодца для стадии погружения**

Толщину стен колодца предварительно принимаем 80 см. Наружный диаметр колодца  $D_n = 9 + 1,6 = 10,6$  м.

Собственный вес колодца

$$P_k = P_{\text{стенки}} + P_{\text{ножа}} = [3,14 (10,6^2 - 9^2) \cdot 9,7 / 4 + 0,575 \cdot 1,15 \cdot 3,14 \cdot 10,6] \cdot 25 = 6520 \text{ кН.}$$



**Рис. 1.4.** Конструкция водопроводной станции:  
*a* – разрез; *б* – план; 1 – стена колодца; 2 – нож; 3 – бетонная подушка; 4 – гидроизоляция; 5 – ж.б. плита днища