

4.2. Фундаменты, устанавливаемые по технологии опускного колодца

Опускной колодец представляет собой замкнутую в плане и *открытую сверху и снизу полую конструкцию*, бетонируемую или собираемую из сборных элементов на поверхности грунта и *погружаемую под действием собственного веса* или дополнительной пригрузки по мере разработки грунта внутри нее (рис. 4.28).

После погружения до проектной отметки *внутреннюю полость опускного колодца* полностью или частично *заполняют бетоном* или используют для устройства *заглубленного помещения*.

Опускные колодцы могут быть выполнены из *дерева, каменной или кирпичной кладки, бетона, железобетона, металла*. Наибольшее распространение в современной практике строительства получили *железобетонные колодцы*.

По форме в плане опускные колодцы могут быть *круглыми, квадратными, прямоугольной или смешанной формы с внутренними перегородками и без них* (рис. 4.29, 4.30).

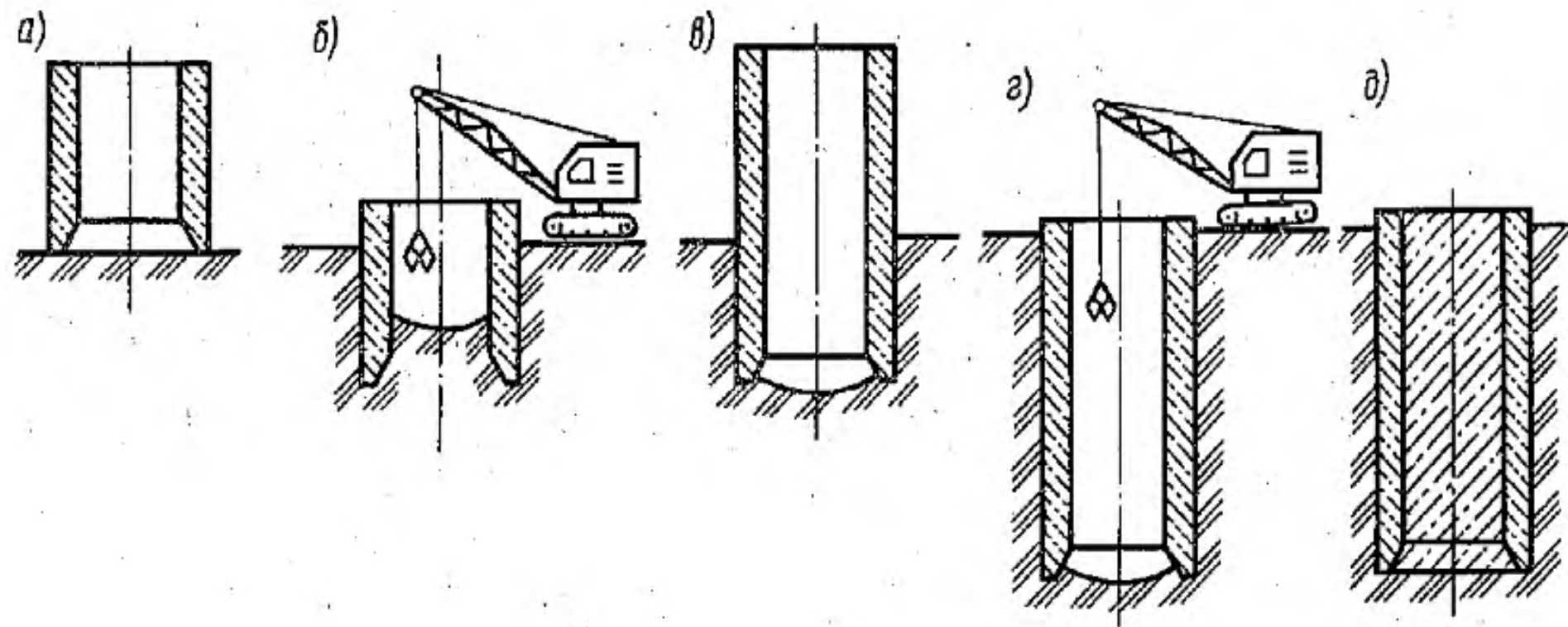


Рис. 4.28. Последовательность устройства опускного колодца:

а — изготовление первого яруса опускного колодца на поверхности грунта; *б* — погружение первого яруса опускного колодца в грунт; *в* — наращивание оболочки колодца; *г* — погружение колодца до проектной отметки; *д* — заполнение бетоном полости опускного колодца в случае использования его как фундамента глубокого заложения

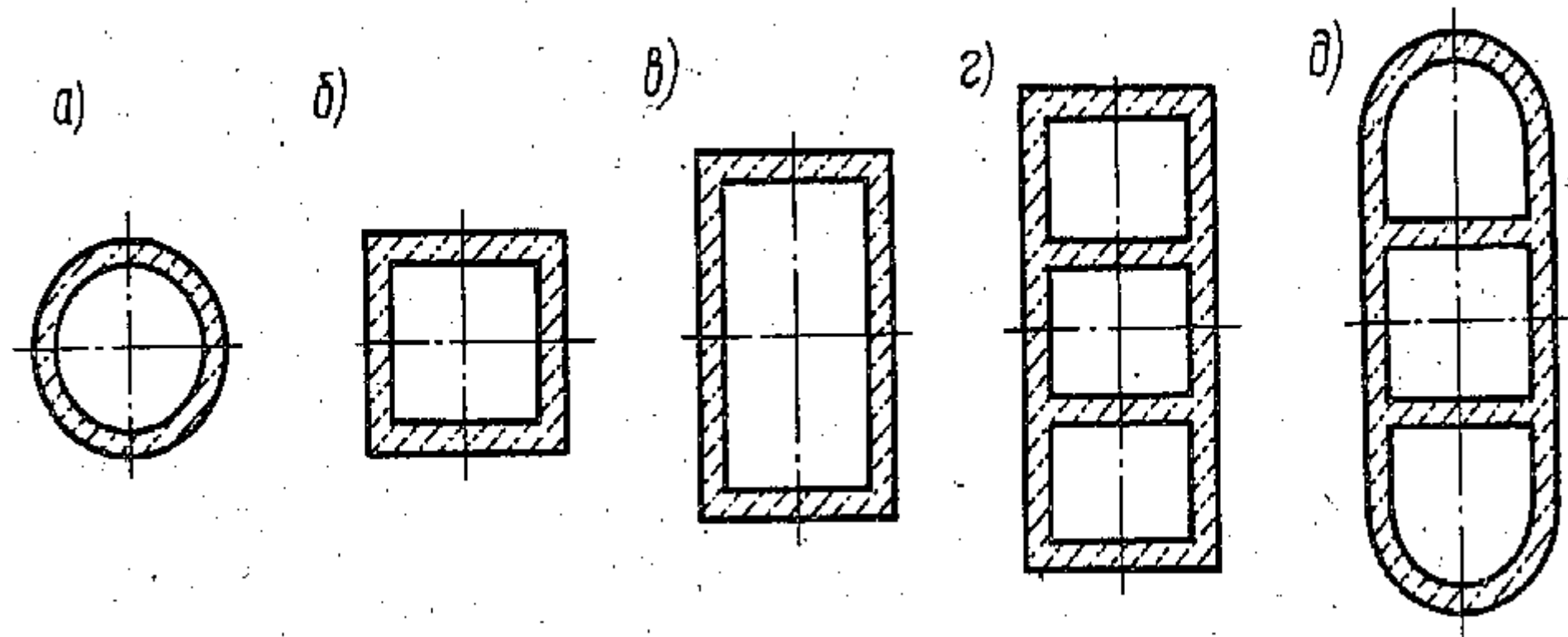


Рис. 4.29. Формы сечений опускных колодцев в плане:

а — круглая; *б* — квадратная; *в* — прямоугольная;
г — прямоугольная с поперечными перегородками;
д — с закругленными торцевыми стенками

Форма колодца определяется конфигурацией проектируемого сооружения, выбираемой из условия обеспечения требований технологии.

Наиболее рациональной является круглая форма. Такие колодцы **лучше работают на сжатие** и при заданной площади основания обладают **наименьшим наружным периметром**, что **уменьшает силы трения** по их боковой поверхности, возникающие при погружении.

С другой стороны, **прямоугольная и квадратная форма** опускных колодцев позволяет **более рационально использовать площадь внутреннего помещения для размещения оборудования.**

В любом случае **очертание колодца в плане** делают **симметричным**, поскольку всякая **асимметрия осложняет его погружение**, ведет к перекосам и отклонению от проектного положения.

По способу устройства стен *опускные колодцы* из *железобетона* подразделяют на *монолитные* и *из сборных элементов*.

Колодцы со стенами из *монолитного железобетона* рекомендуется применять, когда подземные помещения по технологическим требованиям имеют *сложное очертание в плане, нет возможности изготовить сборные элементы, необходимо проходить скальные грунты* или грунты с *большим числом валунов* и когда сборный опускной колодец конструктивно более сложно выполнить, чем монолитный.

Во всех других случаях рекомендуется сооружать *опускные колодцы из сборных железобетонных элементов*.

4.2.1. Монолитные опускные колодцы

Оболочка опускного колодца из монолитного железобетона (массивного опускного колодца) состоит из *двух* основных *частей: ножевой и собственно оболочки* (рис. 4.31).

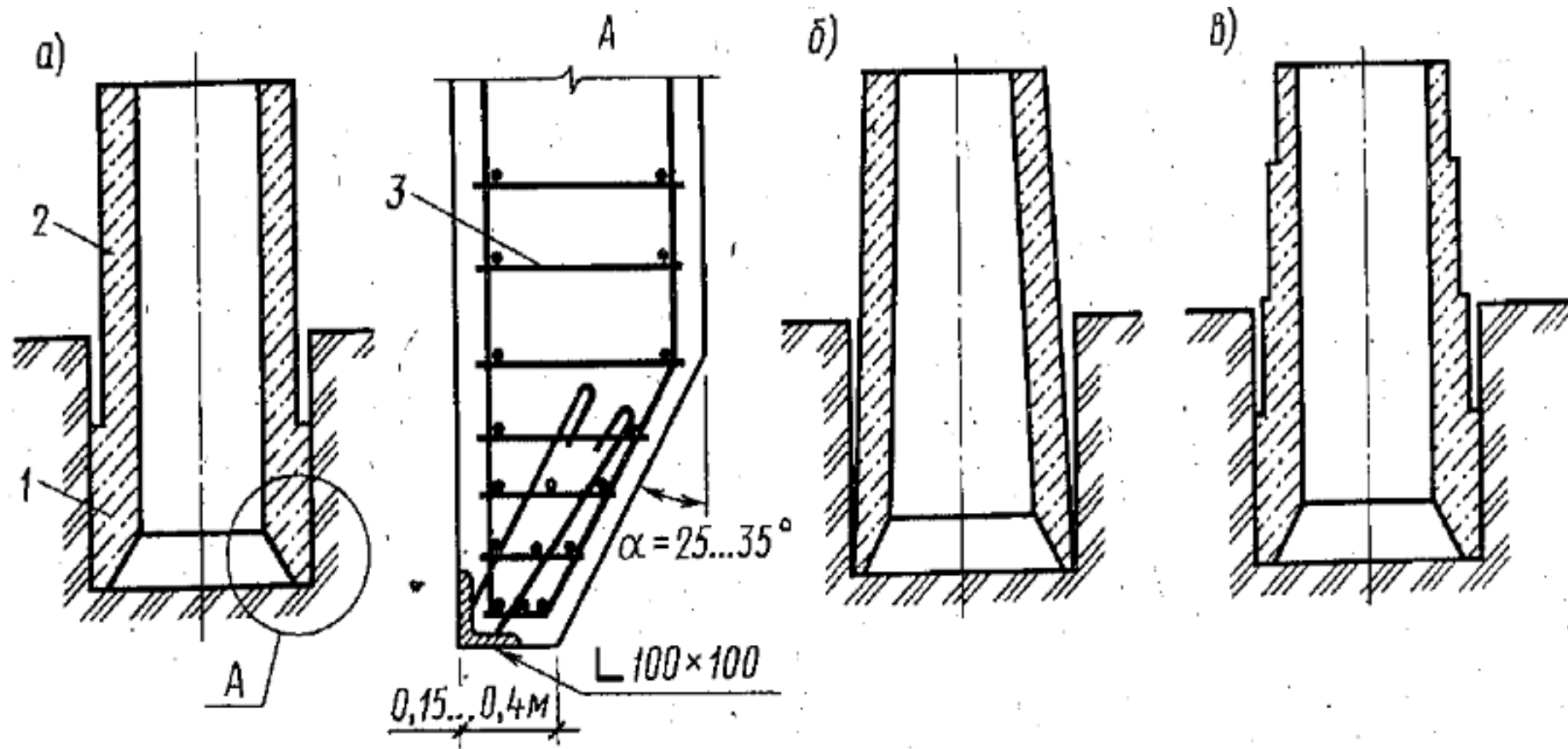


Рис. 4.31. Формы вертикальных сечений опускаемых колодцев:

а — цилиндрическая; *б* — коническая; *в* — цилиндрическая ступенчатая; 1 — ножевая часть опускаемого колодца; 2 — оболочка опускаемого колодца; 3 — арматура ножа колодца

Ножевую часть делают обычно *шире стены оболочки на 100... 150 мм* со стороны грунта. *Наличие уступа позволяет снизить силы трения* по боковой поверхности погружаемого колодца.

Иногда с этой же целью *боковые грани делают наклонными или ступенчатыми. Наклон боковых граней следует назначать менее 1/100*, так как при больших наклонах колодец при опускании недостаточно устойчив, легко кренится или смещается с проектных осей.

Ступенчатое очертание также вписывают в уклон 1/100.

Ширину режущей части ножа (банкетки) в зависимости от размеров колодца и плотности проходимых грунтов назначают *равной 150...400 мм.*

Для предохранения от повреждений *банкетку обрамляют металлом*. Чаще всего для этого используют *прокатный уголок* или при *ширине банкетки более 250 мм сварной профиль*.

Толщина стен монолитных колодцев определяется из условия создания веса, необходимого для *преодоления сил трения*, возникающих при погружении. В наиболее крупных колодцах, погружаемых *без тиксотропной рубашки*, толщина стен достигает 2...2,5 м и более.

Стенки колодцев армируются вертикальными пространственными каркасами, изготовленными на заводе или в арматурных мастерских и доставленными на место строительства отдельными секциями. При монтаже *армокаркасы свариваются между собой ванной сваркой внахлестку*.

Для бетонирования стен колодцев чаще всего применяют *бетон класса В35*. Основными требованиями к бетону являются помимо *прочности - плотность и водонепроницаемость*, так как колодцы в большинстве случаев *погружаются ниже уровня подземных вод*.

Укладка бетонной смеси ведется обычным способом с применением *вибрации*. В качестве опалубки используют *деревянные щиты* или *тонкостенные железобетонные плиты-оболочки*.

Монолитные железобетонные колодцы изготавливают непосредственно над местом их погружения на специально подготовленной выровненной площадке.

Иногда для уменьшения глубины опускания колодца *предварительно разрабатывают открытый без креплений котлован*, называемый *пионерным*, на дне которого и *начинают возведение колодца*.

При *высоте колодца более 10 м* его бетонирование ведется последовательно, *отдельными ярусами*. К опусканию колодца приступают только после того, как *бетон всего яруса наберет 100%-ную прочность*. Каждый *последующий ярус* *бетонируется после погружения предыдущего с перерывом в погружении*.

Опускные колодцы из монолитного железобетона имеют существенные *недостатки*, главными из которых являются *большой расход материалов*, не оправданный требованиями прочности, и *значительная трудоемкость* за счет их изготовления полностью на строительной площадке.

Сюда же следует отнести и *непроизводительную потерю времени*, связанную с необходимостью остановки погружения колодца на время наращивания монолитного бетона.

Преимуществами монолитных железобетонных колодцев являются *простота их изготовления*, *возможность придания им любой формы и отсутствие, как правило, опасности всплытия*.

4.2.2. Сборные опускные колодцы

В последние годы разработаны различные конструкции *опускных колодцев с применением сборных облегченных элементов*.

Наибольшее распространение из которых получили *колодцы из пустотелых прямоугольных элементов и из вертикальных панелей.*

Колодец из пустотелых прямоугольных элементов выполняют, как правило, *с монолитной ножевой частью*, на которой монтируется оболочка из *сборных двухпустотных блоков* (рис. 4.32).

Блоки укладывают на растворе без перевязки швов, в результате чего образуются *вертикальные швы на всю высоту сооружения. Блоки скрепляют между собой только в вертикальных швах*, после чего их *заполняют бетоном.*

Если колодец разбит по высоте, то *в верхней части каждого яруса опускания устраивают монолитный пояс.*

Поскольку оболочка колодца собирается из *блоков прямоугольной формы*, она имеет в плане форму *многоугольника.*

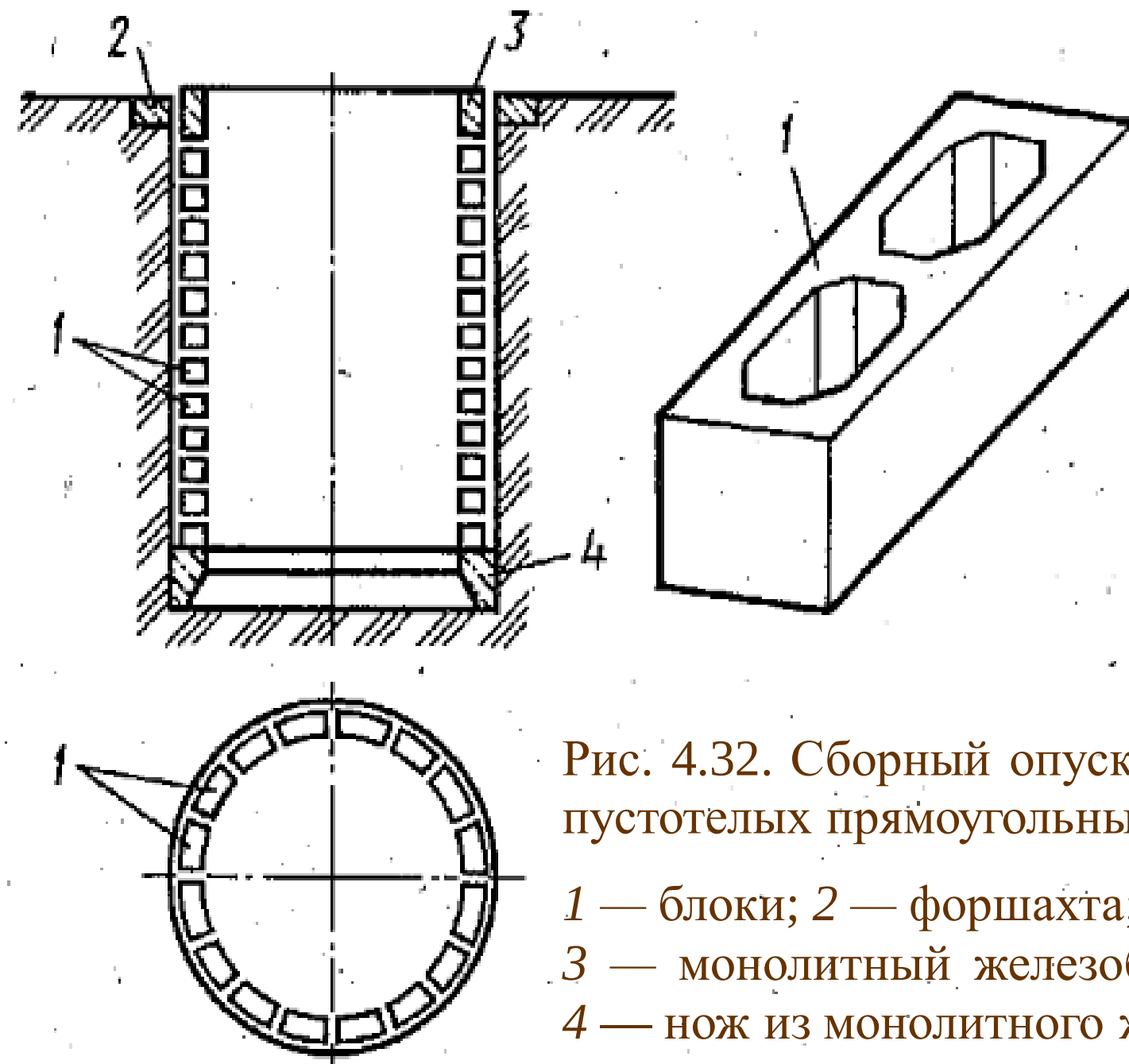


Рис. 4.32. Сборный опускной колодец из пустотелых прямоугольных блоков:

- 1 — блоки; 2 — формашта;
 3 — монолитный железобетонный пояс;
 4 — нож из монолитного железобетона

Конструкции из пустотелых блоков чаще всего используют при строительстве ***крупных опускных колодцев с глубиной погружения 30...40 м и более, диаметром более 20 м.***

Основным ***недостатком колодцев этого типа является значительный объем монолитного железобетона,*** расходуемый на замоноличивание стыков и устройство ножевой части.

К преимуществам следует отнести ***возможность их монтажа из блоков одного типоразмера и без применения специальных приспособлений (кондукторов).***

Наличие в блоках сквозных пустот позволяет ***регулировать вес колодца*** при его опускании или для ***выравнивания при перекосах путем заполнения их тяжелыми местными материалами*** в различных (в плане) зонах колодца.

Заполнение пустот тяжелыми материалами следует при необходимости ***удержания колодца от возможного всплытия.***

В последнее время широкое распространение получили *сборные опускаемые колодцы из плоских вертикальных панелей* (клепок), каждая из которых представляет собой *элемент стены колодца на всю его высоту* (рис. 4.33). Между собой *панели соединяются с помощью петлевых стыков, или накладками на сварке.*

В строительной практике применяют *панели длиной до 12 м, шириной 1,4...2 м, толщиной 0,4...0,8 м.* Наиболее часто используемая *унифицированная панель имеет длину 11 м, ширину 1,4 м, толщину 0,45 м.*

Плоские панели формируются в опалубке одновременно с ножевой частью и армируются вертикальной и горизонтальной арматурой с наружной и внутренней стороны.

С наружной стороны панели *у ножа делается специальный уступ шириной 150 мм для образования полости вокруг колодца при его опускании,* в которую заливают *тиксотропную суспензию для уменьшения сил трения грунта о наружные стенки колодца.*

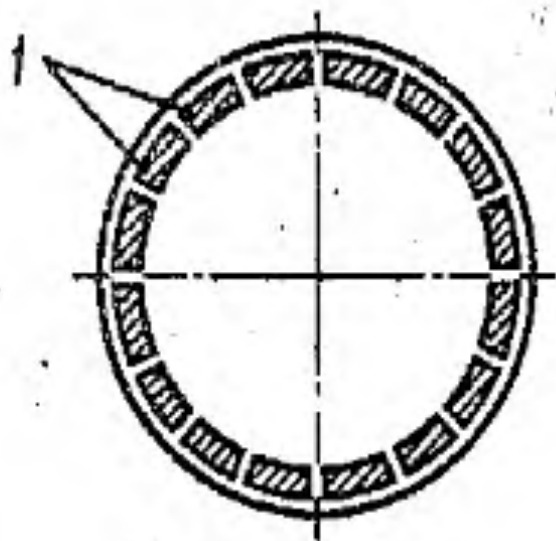
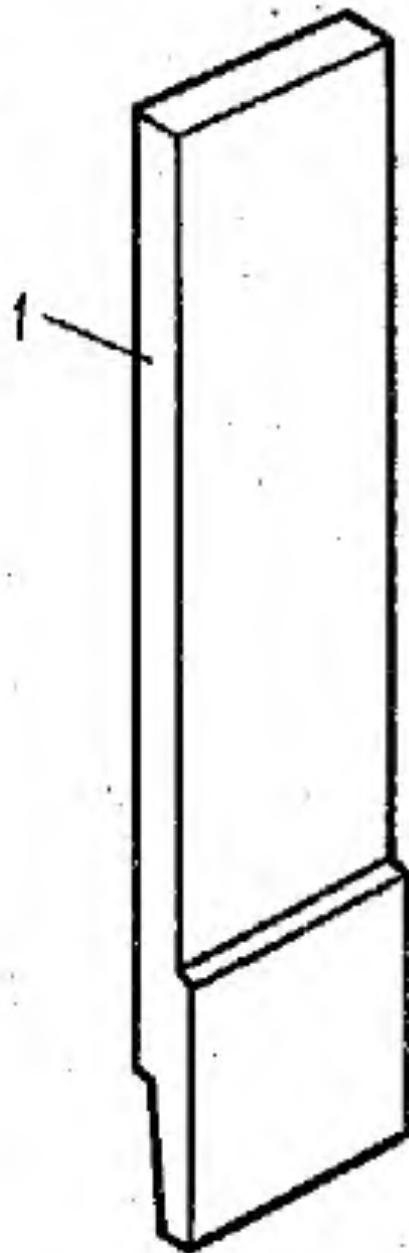
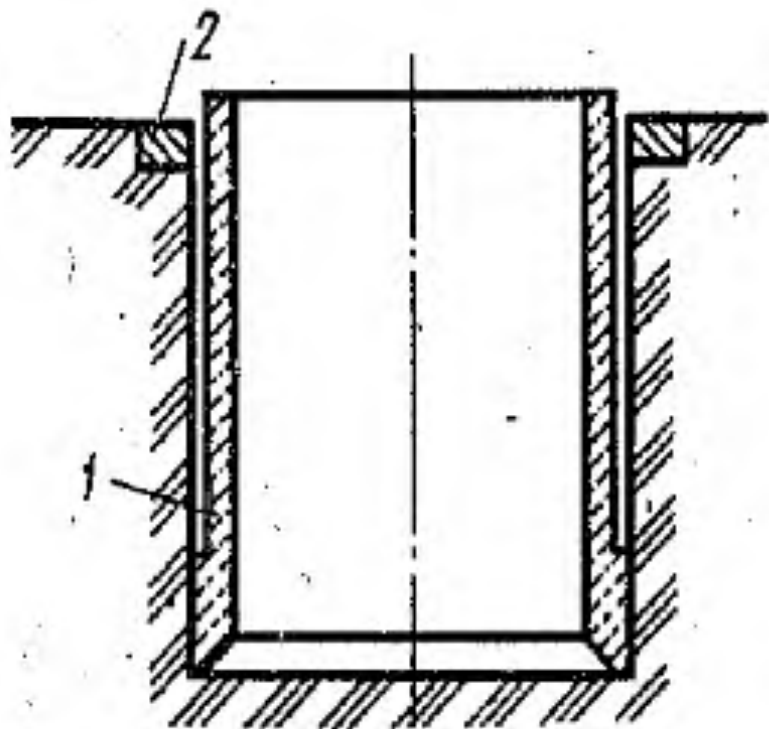


Рис. 4.33.
Сборный
опускной колодец
из вертикальных
панелей:

1 — панели;
2 — форшахта

Из унифицированных панелей можно собрать одноярусные колодцы высотой до 11 м. При необходимости возведения опускного колодца большей высоты стены его наращивают такими же панелями, но уже без ножевой части. В этих случаях в колодце устраивают горизонтальный стык, в котором панели верхнего и нижнего ярусов соединяют сваркой закладных деталей.

Таким образом возводят опускные колодцы диаметром 8...24 м, глубиной 25 м и более. Эти размеры являются наиболее распространенными для насосных станций, отстойников различного назначения, скиповых ям и ряда других подземных сооружений.

Сооружение колодцев из вертикальных панелей позволяет значительно снизить трудоемкость работ по устройству стен и существенно сократить сроки строительства.

Серьезным недостатком таких конструкций является то, что при наличии подземных вод веса колодца часто бывает недостаточно и требуются специальные мероприятия по удержанию его от всплытия.

Кроме того, сооружения этого типа *можно опускать только в тиксотропной рубашке*, а незначительные *искажения формы колодца в плане приводят к резкому увеличению напряжений в его конструкции*, что предъявляет *повышенные требования к качеству монтажа панелей.*

4.2.3. Погружение опускных колодцев

В зависимости от условий строительной площадки, а также с учетом экономической целесообразности в настоящее время применяют *две схемы погружения колодцев: насухо (при отсутствии подземных вод или с применением открытого водоотлива или водопонижения) и с разработкой грунта под водой.*

При погружении по первой схеме грунт в забое колодца разрабатывается одним из следующих способов:
экскаваторами и бульдозерами с погрузкой его в бадьи и выдачей на поверхность башенными или гусеничными кранами;
грейферами; гидромониторами с транспортировкой на поверхность *гидроэлеваторами или землесосными снарядами*.

Выбор способа разработки грунта зависит от размеров колодца, геологических условий строительной площадки и местных условий строительства.

Так, *грейферы применяют для разработки рыхлых песков, легких супесей, галечников* (рис. 4.34).

Использование средств гидромеханизации целесообразно при легкоразмываемых грунтах (пески, супеси, легкие суглинки), но при этом надо учитывать наличие на стройплощадке необходимого количества воды, обеспеченность электроэнергией, а также возможность сброса пульпы.

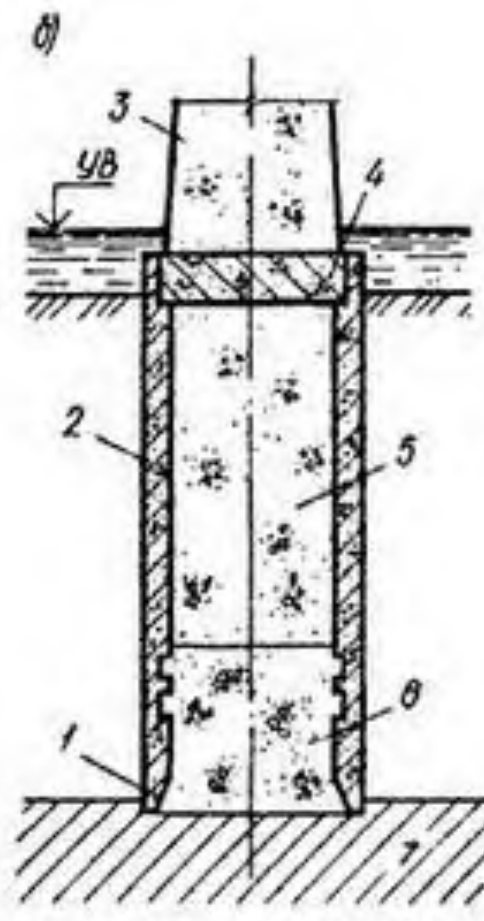
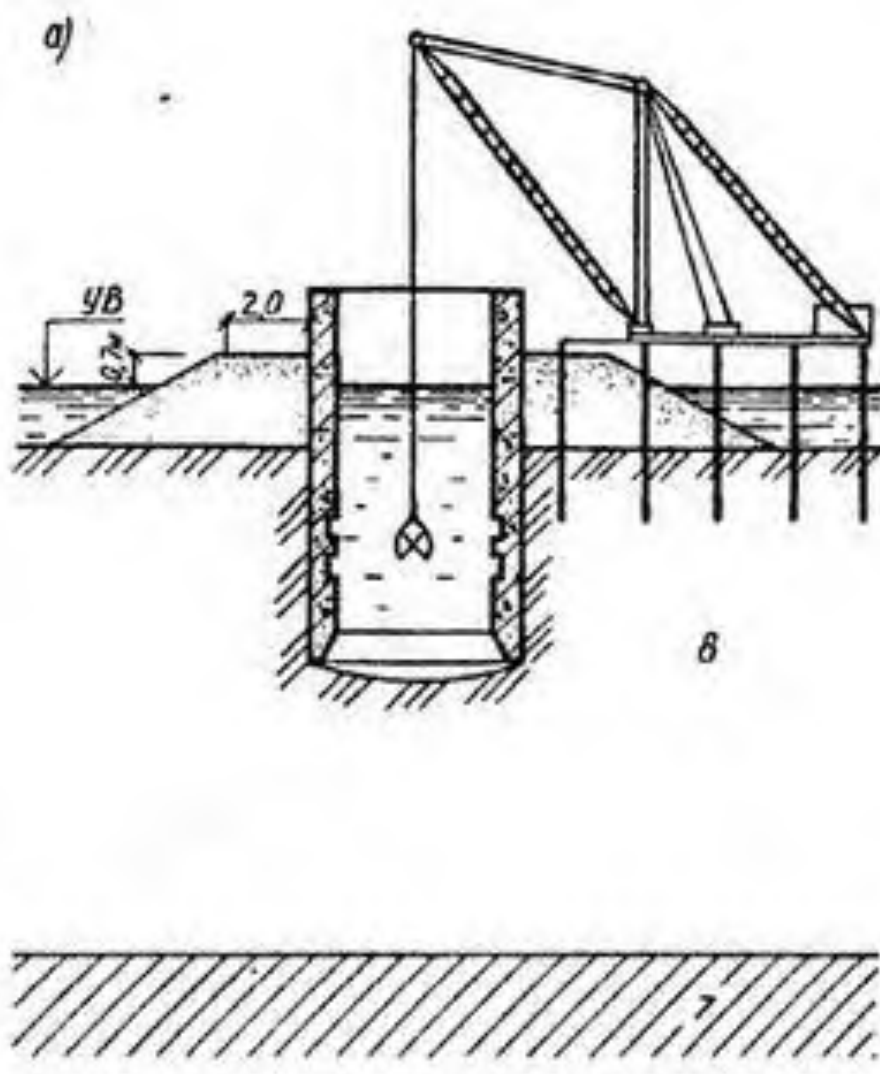


Рис. 4.34. Опускной колодец: а — погружение колодца; б — фундамент в виде опускного колодца; 1 — консоли; 2 — стенки колодца; 3 — надфундаментная часть опоры; 4 — железобетонная плита; 5 — бетон, уложенный насухо; 6 — подводный бетон; 7 — прочный грунт; 8 — слабый грунт

Во всех остальных случаях *колодцы чаще всего опускают с помощью экскаваторов и бульдозеров* (рис. 4.35а).

Глубина разработки грунта на одну «посадку» колодца принимается равной 1,5...2 м при использовании экскаваторов и бульдозеров и не более 0,5 м при применении средств гидромеханизации.

Для осушения полости колодцев при их погружении по схеме насухо в водонасыщенные грунты применяют два способа: открытый водоотлив и глубинное водопонижение.

Открытый водоотлив применяют в устойчивых грунтах с относительно малым коэффициентом фильтрации ($k < 1$ м/сут) или при разработке скальных и полускальных грунтов, когда и при больших притоках воды исключена возможность выпора грунта из-под ножа.

Открытый водоотлив осуществляется откачкой воды насосами из водосборных пионерных траншей и прямков

a)

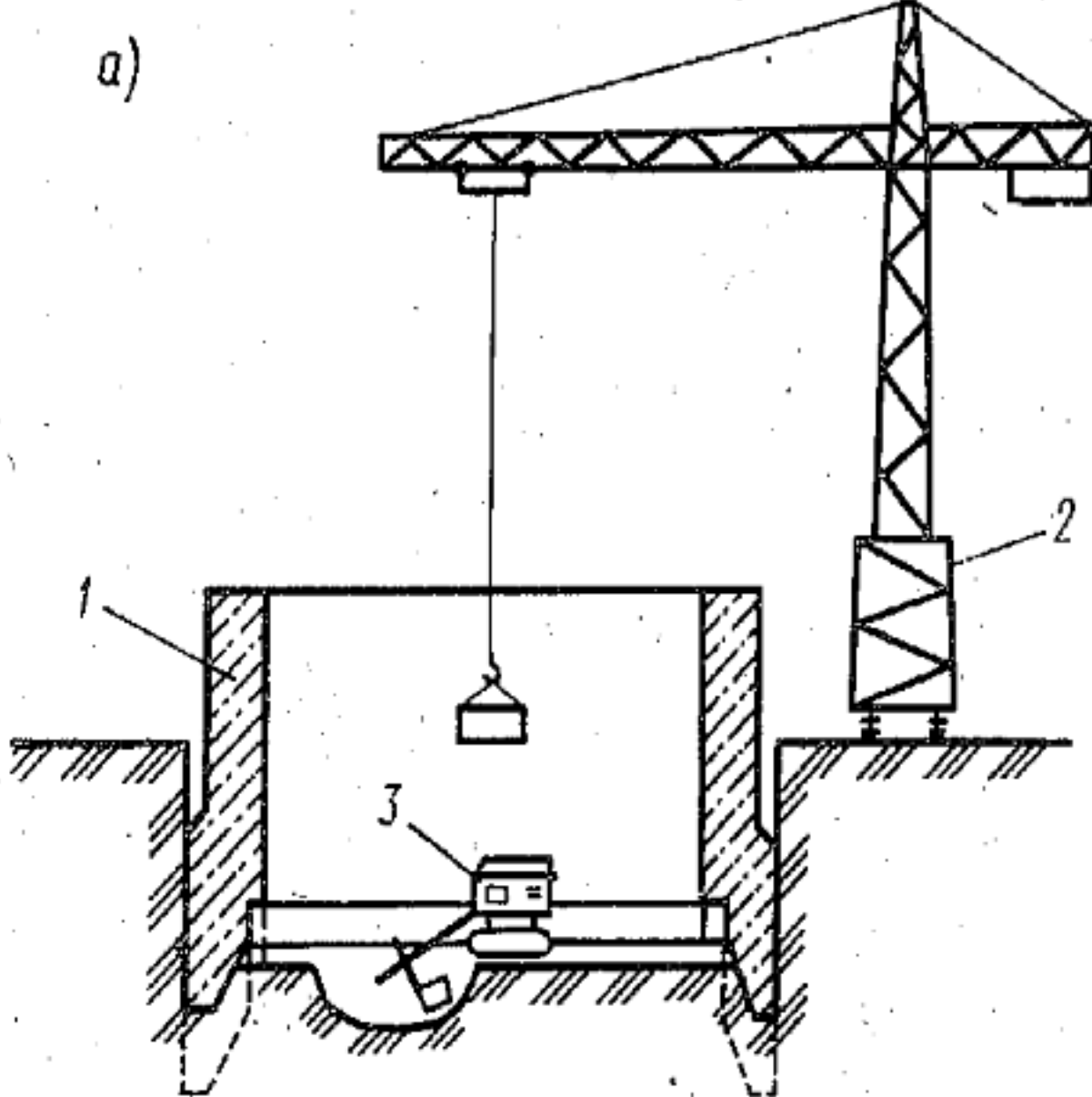


Рис. 4.35а. Разработка
грунта в опускающем
колодца насухо с
помощью экскаватора:

1 — колодец;

2 — башенный кран;

3 — экскаватор.

(зумпфов), заглубленных на 1...2 м ниже разрабатываемого грунта в колодце. *По мере разработки грунта и опускания колодца зумпфы систематически заглубляют.*

Опережающее глубинное водопонижение применяют в том случае, когда из-за больших притоков воды открытый водоотлив затрудняет выполнение работ в колодце или *необводненные грунты неустойчивы и не исключены наплывы грунта из-под ножа внутрь колодца.*

Глубинное водопонижение осуществляют иглофильтрами или глубинными насосами, располагая их по наружному периметру колодца.

Если из-за большого притока воды в колодец трудно или экономически нецелесообразно организовывать водоотлив или водопонижение, а также при наличии неустойчивых грунтов, грозящих наплывом из-под ножа, колодцы погружают по второй схеме, т. е. с разработкой грунта под водой.

Разработка грунта под водой осуществляется преимущественно экскаваторами, оборудованными грейфером (рис. 4.35б).

При разработке мелкопесчаных и плывунных грунтов, чтобы предотвратить их наплыв из-под ножа, рекомендуется поднимать уровень воды в колодце на 1...3 м выше уровня подземных вод, накачивая в него воду.

Недостатками погружения опускных колодцев с разработкой грунта под водой являются сложность контролирования этого процесса и трудность удаления крупных включений.

4.2.3.1. Погружение опускных колодцев в тиксотропных рубашках

Для преодоления сил трения, препятствующих погружению колодца, приходится увеличивать его вес, для чего стены делают толще, чем это требуется из условия прочности.

б)

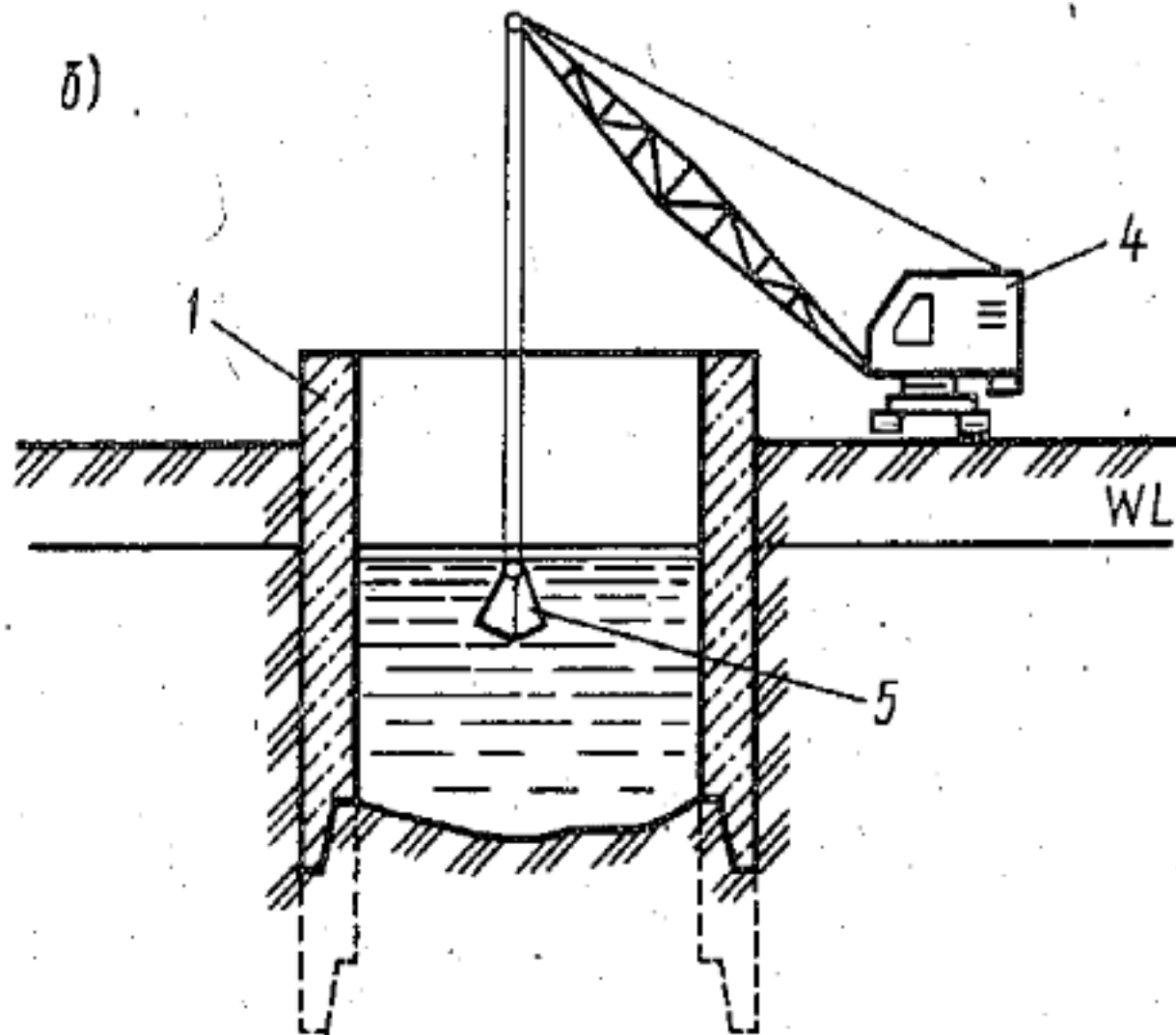


Рис. 4.35б. Разработка грунта в опускном колодце под водой с помощью грейфера:
1 — колодец;
4 — кран- экскаватор;
5 — грейфер



Однако и при большом весе колодца на практике нередко происходит его зависание в грунте, когда силы трения возрастают настолько, что дальнейшее погружение прекращается еще до достижения сооружением проектной отметки.

Для уменьшения сил трения инж. А. В. Озеров в 1945 г. предложил метод погружения колодцев в тиксотропной рубашке.

Суть метода заключается в следующем. Благодаря уступу, устраиваемому в ножевой части наружной стены колодца, при погружении вокруг него образуется полость (рис. 4.36 и 4.37).

Для обеспечения устойчивости грунта стенок полости от оползания или обрушения ее заполняют глинистым раствором с тиксотропными свойствами, который и образует вокруг колодца так называемую тиксотропную рубашку.

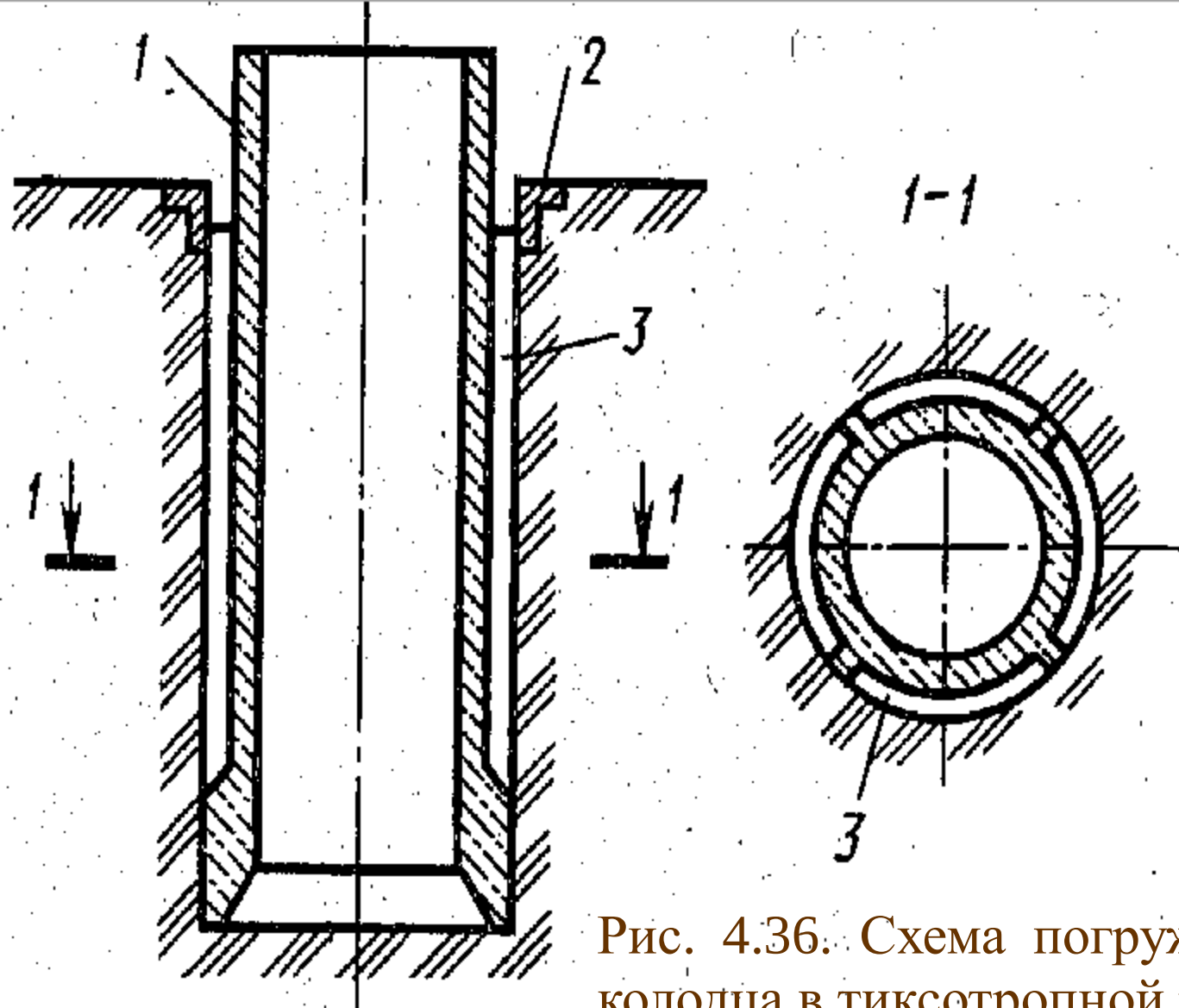


Рис. 4.36. Схема погружения опускного колодца в тиксотропной рубашке:

1 — опускной колодец; 2 — форшахта;
3 — тиксотропная рубашка

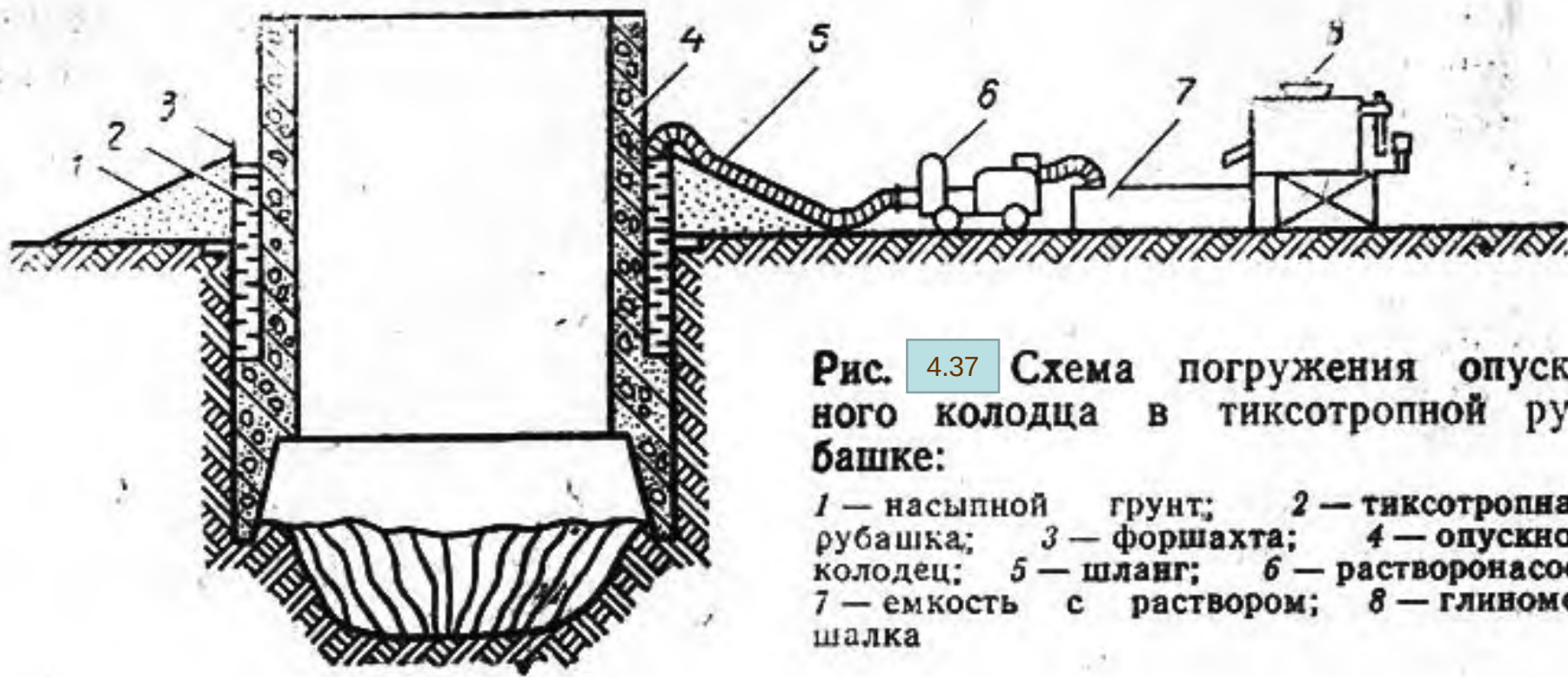


Рис. 4.37 Схема погружения опуска-
ного колодца в тиксотропной ру-
башке:

1 — насыпной грунт; 2 — тиксотропная
рубашка; 3 — формашта; 4 — опуска-
ного колодец; 5 — шланг; 6 — раство-
ронасос; 7 — емкость с раствором; 8 — глино-
шайка

В результате *контакт колодца с грунтом при нормальном его опускании происходит только в пределах ножевой части, имеющей относительно небольшую площадь боковой поверхности.*

Выше ножевого участка стенка колодца и грунт разделены тиксотропной жидкостью, что значительно снижает силы трения по наружной поверхности оболочки. Это практически исключает опасность за зависания опускных колодцев в процессе погружения и позволяет резко уменьшить их вес.

При погружении колодцев в тиксотропной рубашке высота ножевой части (расстояние от банкетки до наружного уступа) принимается независимо от глубины погружения равной 2...2,5 м, а ширина уступа — 10...15 см.

Меньшая ширина уступа хотя и позволяет снизить ширину полости тиксотропной рубашки, что сокращает расход глинистого раствора, но требует особо точного

погружения колодца, чтобы избежать его частых навалов на грунтовую стену.

Заполнение полости тиксотропной рубашки глинистым раствором может производиться путем *закачивания раствора непосредственно сверху или его подачей в нижнюю зону рубашки через инъекционные трубы.*

Первый способ применяют при погружении колодцев в глинистые грунты, второй - в песчаные, особенно водонасыщенные, как обеспечивающий большую устойчивость стенок полости тиксотропной рубашки.

Глинистые суспензии для тиксотропных рубашек лучше всего приготавливать из бентонитовых глин.

Бентонитовыми называют глины, которые по своему составу к грунтам, найденным вблизи форта Бентон (США).

Растворы из бентонитовых глин, преобладающим минералом в которых является монтмориллонит, обладают наилучшими тиксотропными свойствами, т. е.

легко переходят из жидкого состояния (золь) в желеобразное (гель) и наоборот.

Однако бентонитовые глины являются дорогим материалом, поэтому при их отсутствии *глинистые суспензии можно приготовить из местных глин, имеющих число пластичности I_p не менее 0,2 и содержащих частиц размером крупнее 0,5 мм не более 10% и частиц мельче 0,005 мм - не менее 30%.*

Пригодность местных глин определяется по результатам лабораторных испытаний.

Если опускной колодец погружается в водонасыщенные грунты, то *после достижения им проектной отметки глинистый раствор в полости тиксотропной рубашки заменяется цементно-песчаным для увеличения сил трения сооружения о грунт с целью предотвращения его всплытия.*

Замена глинистого раствора на цементно-песчаный называется тампонажем, а заменяющий раствор —

тампонажным раствором.

В тех случаях, когда взвешивающее действие воды не будет вызывать большой опасности всплытия (не слишком высокий уровень подземных вод, значительный вес колодца и т. д.), ***для увеличения сил трения можно заполнять полость тиксотропной рубашки галечником или гравием.***

4.2.3.2. Характерные осложнения при погружении колодцев и методы их устранения

При погружении опускных колодцев в грунт могут возникнуть следующие ***характерные осложнения: перекосы, зависания, самопроизвольное опускание, появление трещин в стенах.***

Вертикальность погружения колодцев в грунт систематически проверяется геодезическим инструментом

(через каждый метр погружения).

Обнаруженные перекосы (крены) исправляются тремя способами:

1) опережающей и более интенсивной разработкой грунта под ножевой частью колодца, погрузившейся на меньшую глубину;

2) дополнительной пригрузкой того участка стены колодца, которая погружилась на меньшую глубину;

3) локальным уменьшением трения о наружную поверхность стены, менее заглубленную в грунт, что можно достичь ***откопкой грунта*** у наружной стены колодца, ***размывом грунта гидроиглой*** или ***его виброразрушением***.

Зависание колодца вследствие ошибок в оценке инженерно-геологических условий строительной площадки ***устраняют увеличением его веса*** (наращивание следующего яруса, дополнительная пригрузка камнем, бетонными блоками и пр.) или уменьшением трения при помощи различных

подмывных устройств.

Самопроизвольное опускание происходит в тех случаях, когда основание сложено слабыми грунтами и не выдерживает нагрузок от колодца. Его можно остановить двумя способами.

По первому способу под наклонную грань ножа колодца подводят специальные железобетонные блоки, увеличивающие площадь его опирания на грунт.

Второй способ используется тогда, когда произвольное опускание колодца предвидится заранее, и заключается в том, что *с наружной стороны устраивают железобетонную кольцевую консоль, которая, опираясь на предварительно подготовленную поверхность земли, задерживает дальнейшее погружение колодца.*

Трещины в стенах колодца могут появиться либо вследствие недостаточной их жесткости и неполного учета

нагрузок и сил, действующих на колодец в процессе его погружения, либо *за счет нарушения технологии производства* работ по погружению колодца.

4.2.4. Расчет опускаемых колодцев

Расчет производится на нагрузки и воздействия, возникающие в условиях их строительства и эксплуатации.

Основным является расчет на строительные нагрузки, так как в подавляющем большинстве случаев оболочки колодцев во время их изготовления и погружения оказываются в более напряженном состоянии, чем при эксплуатации.

Опыт проектирования показал, что *проверка многих опускаемых колодцев, особенно массивных, на эксплуатационные нагрузки вообще не требуется*, так как они заведомо обладают достаточно большим запасом прочности.

На колодец при погружении его в грунт действуют следующие основные нагрузки (рис. 4.38):

- *собственный вес колодца G ;*
- *пригрузка колодца при погружении Q ;*
- *горизонтальное давление грунта на стенки колодца p_g ;*
- *гидростатическое давление воды на стенки колодца, если он погружается ниже уровня подземных вод p_w ;*
- *силы трения грунта по боковой поверхности колодца t ;*
- *реактивное давление грунта под подошвой ножа p .*

Кроме того, при изготовлении первого яруса колодца и снятии его с подкладок в его стенах в вертикальной плоскости возникают изгибающие моменты, а при срывах во время погружения — значительные инерционные силы.

Расчет опускаемых колодцев на строительные нагрузки включает:

- *расчет на погружение;*
- *расчет стен на разрыв;*

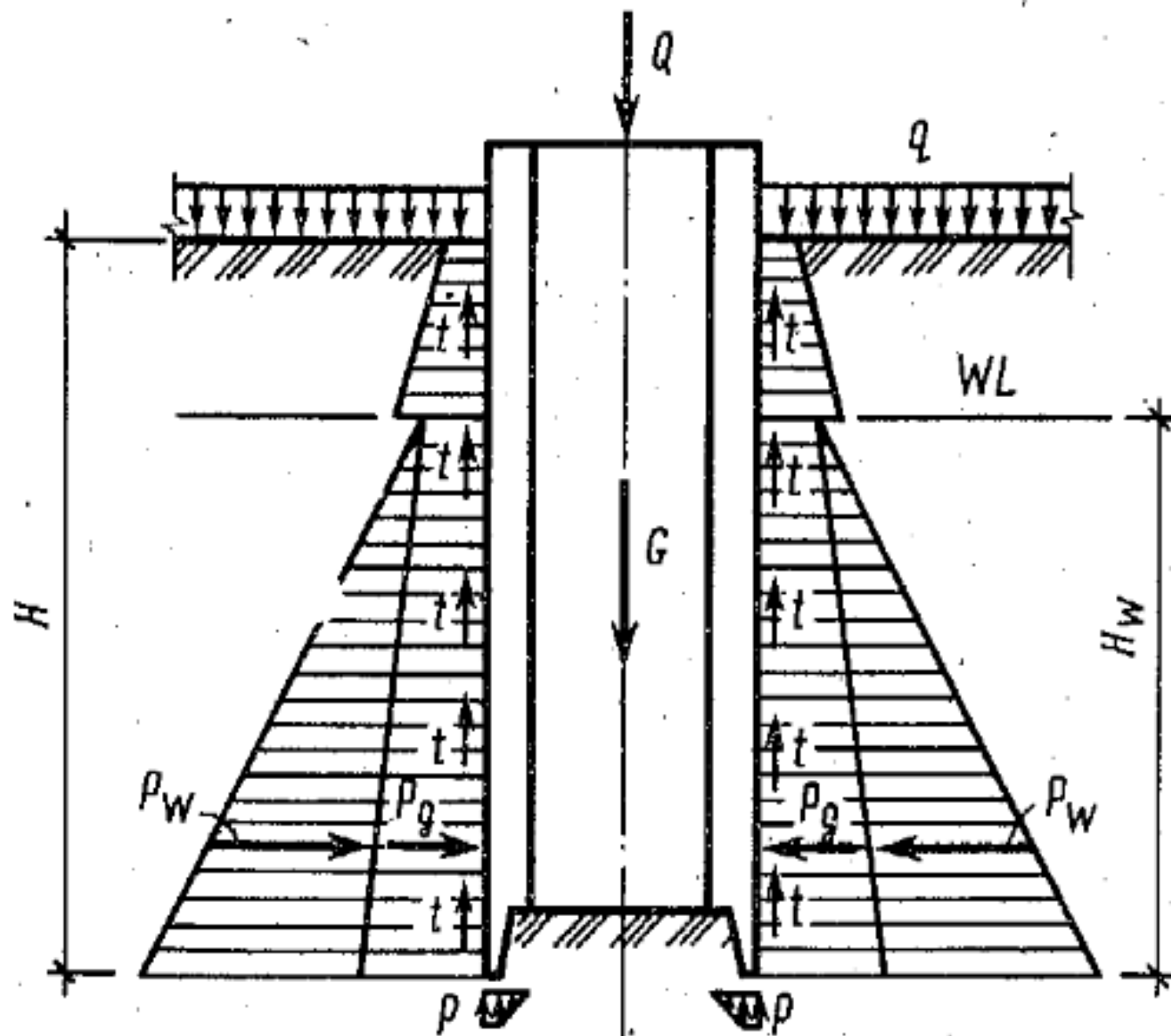


Рис. 4.38. Схема нагрузок, действующих на опускной колодец во время его погружения

- расчет *ножевой части* колодца;
- расчет *стен* колодца на *боковое давление грунта*;
- расчет прочности *стен на изгиб* в вертикальной плоскости;
- расчет на *всплытие*.

К расчетам на *эксплуатационные нагрузки* относятся расчет на *всплытие*, расчет *днища и других элементов конструкции*, а также при необходимости расчеты устойчивости (*сдвиг по подошве, опрокидывание* и т. п.)

Расчетные схемы и методики этих расчетов приведены в специальной литературе и подробно рассмотрены в Справочнике проектировщика (1985).

Ниже в качестве примера сообщаются основные положения расчетов опускных колодцев на *погружение, разрыв и всплытие*.

4.3.1. Расчет опускного колодца на погружение и разрыв

Погружение колодца в результате действующих на него сил обеспечивается при соблюдении условия

$$(G + Q)/(T + F) = \gamma_{pl} \quad (4.1)$$

где G - расчетное значение *веса колодца при погружении*, кН; Q - расчетное значение *веса пригрузки*, кН; T - полная расчетная *сила трения грунта по боковой поверхности* колодца, кН; F - сила расчетного *сопротивления грунта под ножом колодца*, кН; γ_{pl} - *коэффициент надежности* погружения, обычно принимаемый равным **1,15**.

Все расчетные нагрузки определяют с учетом соответствующих коэффициентов перегрузки. При погружении колодца *без водопонижения вес стен*, находящихся *ниже уровня подземных вод*, рассчитывают с учетом *взвешивания*.

*При слоистом напластовании расчетную силу трения определяют как **средневзвешенную** в пределах глубины погружения колодца:*

$$T = \sum t_i h_i u , \quad (4.2)$$

*где t_i — **средняя удельная сила трения**, кПа, в пределах слоя грунта мощностью h_i , м; u — **периметр колодца**.*

*При расчете колодца, погружаемого в **тиксотропной рубашке**, сила трения учитывается только на участке от низа колодца до начала тиксотропной рубашки.*

***Трение** по боковой поверхности колодца в зоне тиксотропной рубашки вследствие его малости в расчет не принимается.*

*Когда прорезаемая колодцем **тоща основания у поверхности** сложена более **плотными грунтами**, чем нижележащие, появляется **опасность заклинивания верхней части колодца и его зависания**.*

В результате в стенах колодца возникают *растягивающие напряжения* N , которые могут привести к *отрыву его нижней части*.

Расчет опускаемых колодцев *на разрыв* выполняется, как правило, при глубине опускания $H > 15$ м. Если высота верхнего, более *плотного слоя* при этом *меньше половины глубины погружения*, расчетная нормальная сила N может быть определена из условия

$$N = \gamma_{pl} T_1 \quad (4.3)$$

где T_1 - расчетная *сила трения* стен колодца *по прочному грунту*, кН.

При *высоте более плотного верхнего слоя более половины проектной глубины погружения*

$$N = G - T_1. \quad (4.5)$$

Для обеспечения *прочности* колодца на возможный *разрыв вертикальное армирование* стен проектируется исходя из определенной таким образом *силы N*.

4.3.2. Расчет на всплытие

При погружении колодца в *водонасыщенные грунты* после устройства *днища* на его подошву будет действовать *гидростатическое давление воды*, направленное *снизу вверх*.

От всплытия колодец будут удерживать *его вес и силы трения по наружной поверхности*. Колодец не всплывет, если будет выполняться *условие*

$$(G+0,5T)/(A_w H_w \gamma_w) \geq \gamma_{em}, \quad (4.6)$$

где *G* — *суммарный вес оболочки колодца и днища*, кН, определяемый с *коэффициентом надежности* по нагрузке *0,9*;

*T - сила трения по наружной поверхности колодца, кН;
 A_w - площадь колодца по внешнему периметру ножа, м²;
 H_w - расстояние от уровня подземных вод до низа ножа, м;
 $\gamma_{em} = 1,2$ - коэффициент надежности на всплытие.*

При проверке колодца *на всплытие в эксплуатационном режиме* величина G включает также и другие *постоянно действующие нагрузки* (внутреннее обустройство колодца, нагрузки от вышерасположенных конструкций и т. п.).

Если условие (4.6) не выполняется, то необходимо предусмотреть устройство анкерных креплений или увеличить вес колодца.

При расчете *на всплытие* колодцев в *тиксотропной рубашке* учитывается *последовательность ведения работ*.

Если колодец осушается *до замены глинистого раствора цементно-песчаным*, то в расчет принимается только *сила трения на участке от низа колодца до тиксотропной рубашки*.

Если колодец осушается *после замены рубашки цементно-песчаным раствором*, то *сила трения учитывается и на остальной боковой поверхности* колодца и *принимается равной 20 кПа*.

Расчет на *прочность и устойчивость отдельных элементов конструкции* колодца производят по действующим нормативным документам *с учетом всех реально возможных условий его эксплуатации*.

Расчет колодцев на сдвиг по подошве и опрокидывание, а также проверку их общей устойчивости вместе с основанием осуществляют только в случае *больших горизонтальных нагрузок или расположения колодцев на косогоре*.









www.rucompany.ru

4.3. Кессонные фундаменты

Кессонный метод устройства фундаментов глубокого заложения был предложен во Франции в середине XIX в. для строительства в *сильно обводненных группах, содержащих прослойки скальных пород или твердые включения* (валуны, погребенную древесину и т. д.).

В этих условиях *погружение опускных колодцев* по схеме «насухо» требует *больших затрат на водоотлив*, а *разработка грунта под водой невозможна из-за наличия в грунте твердых включений*.

Кессон схематически представляет собой опрокинутый вверх дном ящик, образующий рабочую камеру, в которую под давлением нагнетается сжатый воздух, уравнивающий давление грунтовой воды на данной глубине, что не позволяет воде проникать в рабочую камеру, благодаря чему разработка грунта ведется насухо без водоотлива.

По сравнению с опускными колодцами кессонный способ устройства фундаментов и подземных сооружений является более дорогостоящим и сложным, поскольку требует специального оборудования (компрессоры, шлюзовые аппараты, шахтные трубы и т. д.).

Кроме того, этот способ связан с пребыванием людей в зоне повышенного давления воздуха, уравнивающего гидростатический напор воды, что приводит к снижению производительности труда, значительно сокращает продолжительность рабочих смен (до 2 ч при избыточном давлении 350...400 кПа).

Кессонный способ ограничивает глубину погружения кессонов до 35...40 м ниже уровня подземных вод, поскольку максимальное добавочное давление, которое может выдержать человек, составляет 400 кПа.

В связи с вышесказанным кессоны применяют значительно реже других типов фундаментов глубокого заложения.

4.3.1. Конструкция кессонов и оборудование для их опускания

Кессон состоит из *двух основных частей: кессонной камеры и надкессонного строения* (рис. 4.39 и 4.40).

Кессонная камера, *высота которой по санитарным нормам принимается не менее 2,2 м*, выполняется из железобетона и состоит из *потолка и стен, называемых консолями*.

Консоли камеры с внутренней стороны имеют наклон и заканчиваются ножом. Толщина консолей в месте примыкания к потолку составляет *1,5...2 м*, *ширина банкетки* принимается равной *25 см*. Конструкция ножа кессона такая же, как и опускного колодца.

Для изготовления кессонных камер применяют *бетон класса не менее В35*, а их армирование ведется на *усилия, возникающие в процессе возведения кессона*.

При бетонировании кессонной камеры в ее *потолке* оставляют *отверстия для установки шахтной трубы*,

труб сжатого воздуха и воды, а также подводки электроэнергии.

Надкессонное строение в зависимости от назначения кессона *выполняется либо как колодец с железобетонными стенками (под заглубленные помещения), либо в виде сплошного массива из монолитного бетона или железобетона (для фундаментов глубокого заложения).*

Если надкессонное строение выполняется *под заглубленное помещение*, то на его *наружные стены* наносится *гидроизоляция* для защиты кессона от проникновения в него воды.

Как и в случае опускных колодцев, *надкессонное строение возводят или сразу на всю проектную высоту*, или же *ярусами* по мере погружения.

Главными элементами оборудования для опускания кессонов являются *шлюзовые аппараты, шахтные трубы и компрессорная станция.*

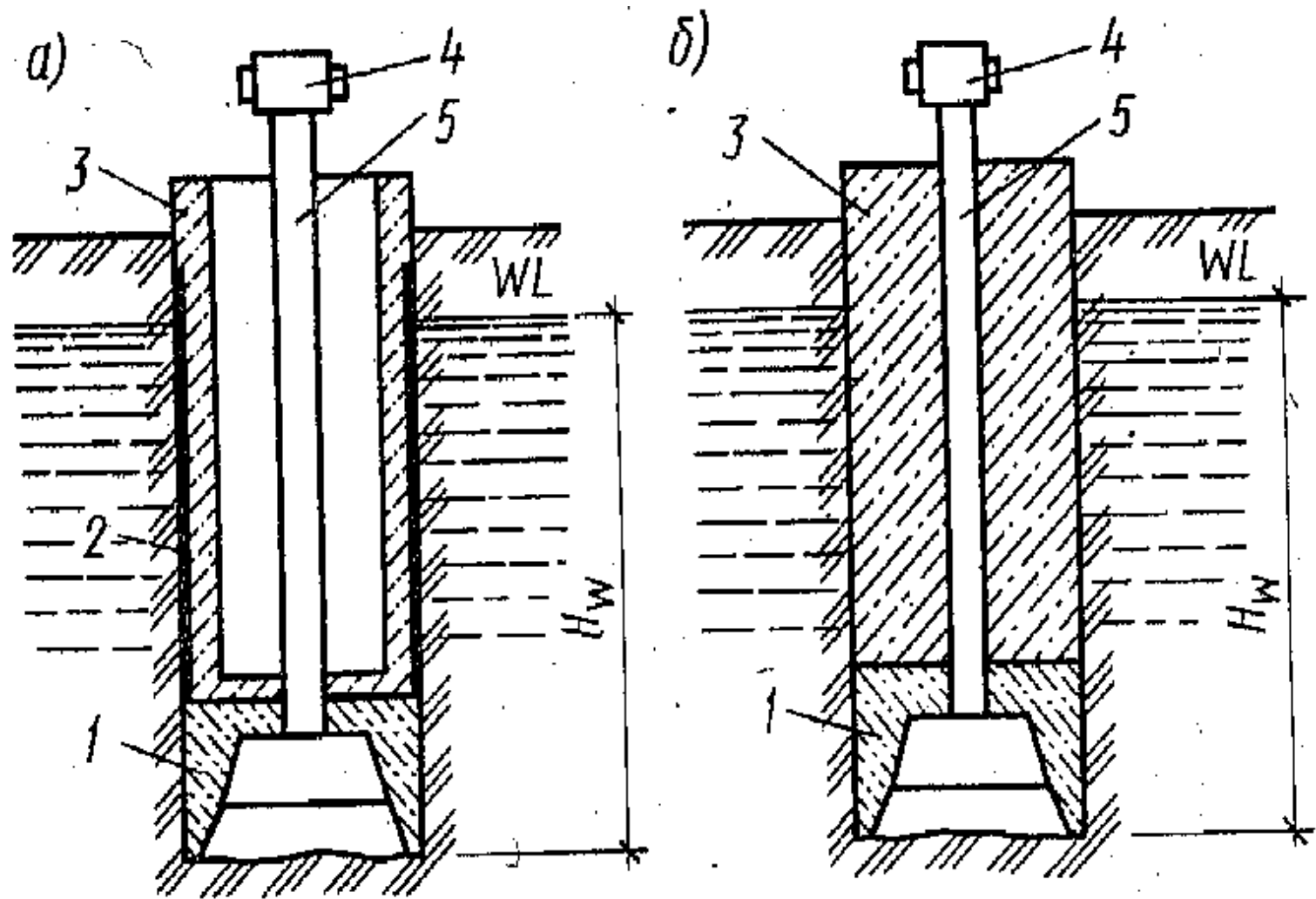


Рис. 4.39. Схема устройства кессона: *а* - заглубленного помещения; *б* - для глубокого фундамента; 1 - кессонная камера; 2 – гидроизоляция; 3 - надкессонное строение; 4 - шлюзовой аппарат; 5 - шахтная труба

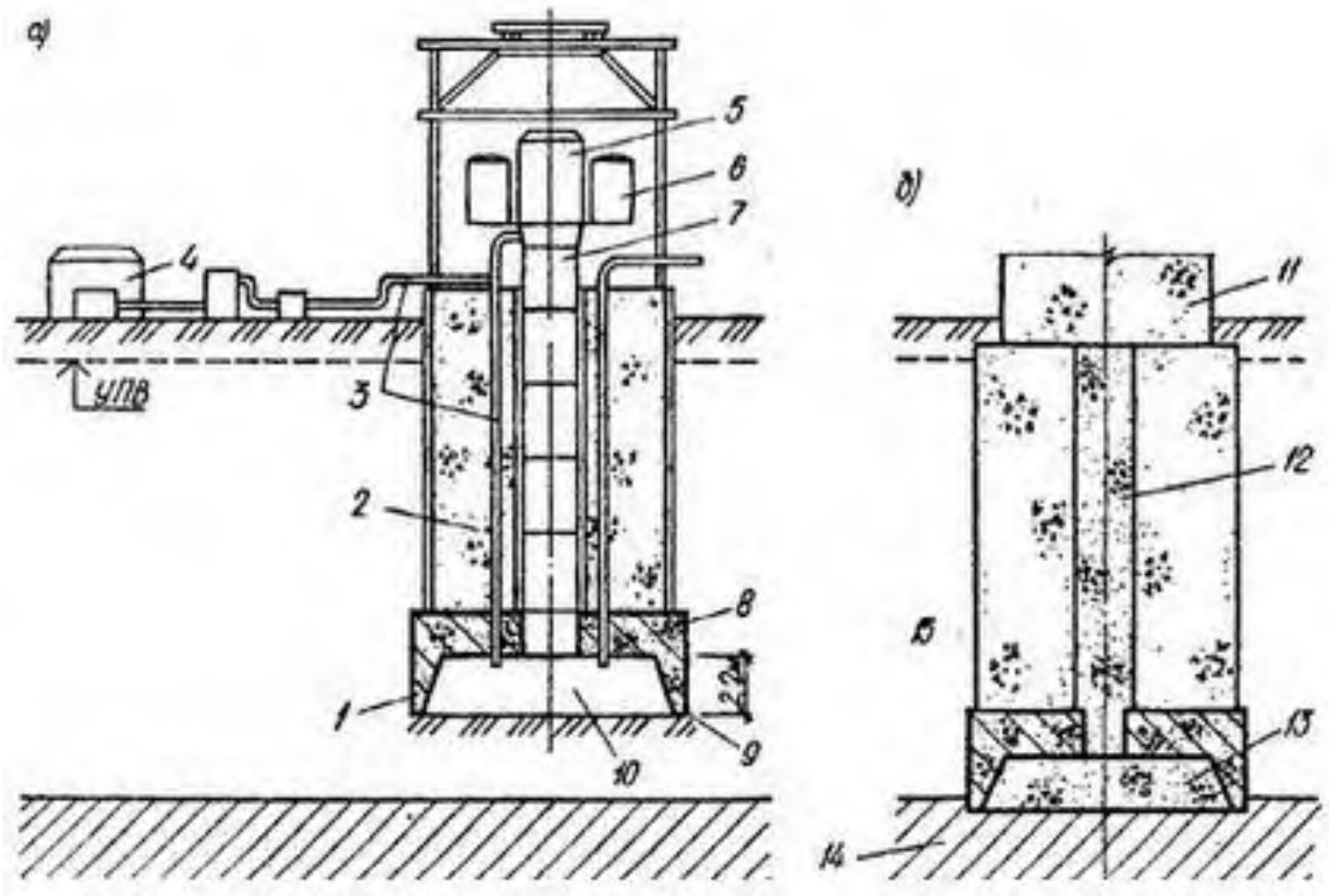


Рис 4.40. Кессон: а — погружение кессона; б — кессонный фундамент; 1 — консоль; 2 — надкессонная кладка; 3 — трубы для сжатого воздуха; 4 — компрессорная станция; 5 — центральная шлюзовая камера; 6 — прикамерки; 7 — шахтные трубы; 8 — потолок кессона; 9 — нож; 10 — рабочая камера кессона; 11 — кладка надфундаментной части опоры; 12 — бетон заполнения шахты; 13 — бетон заполнения рабочей камеры; 14 — прочный грунт; 15 — слабый грунт

Шлюзовой аппарат, соединенный с кессонной камерой шахтными трубами, предназначен *для шлюзования людей и грузов при их спуске в кессонную камеру и при подъеме из нее.*

Процесс *шлюзования и вышлюзовывания* рабочих происходит следующим образом. Рабочий входит в пассажирский прикамерок шлюза, где *давление постепенно повышается от атмосферного до имеющегося в рабочей камере.*

На этот процесс затрачивается, как правило, *от 5 до 15 мин*, что необходимо для *адаптации организма человека к условиям повышенного давления*, после чего по шахтной трубе рабочий опускается в рабочую камеру кессона.

Выход из рабочей камеры кессона осуществляется в обратной последовательности, но при этом *на снижение давления воздуха в пассажирском прикамерке шлюза до*

уровня атмосферного требуется в 3...3.5 раза больше времени, чем на переход от атмосферного давления к повышенному.

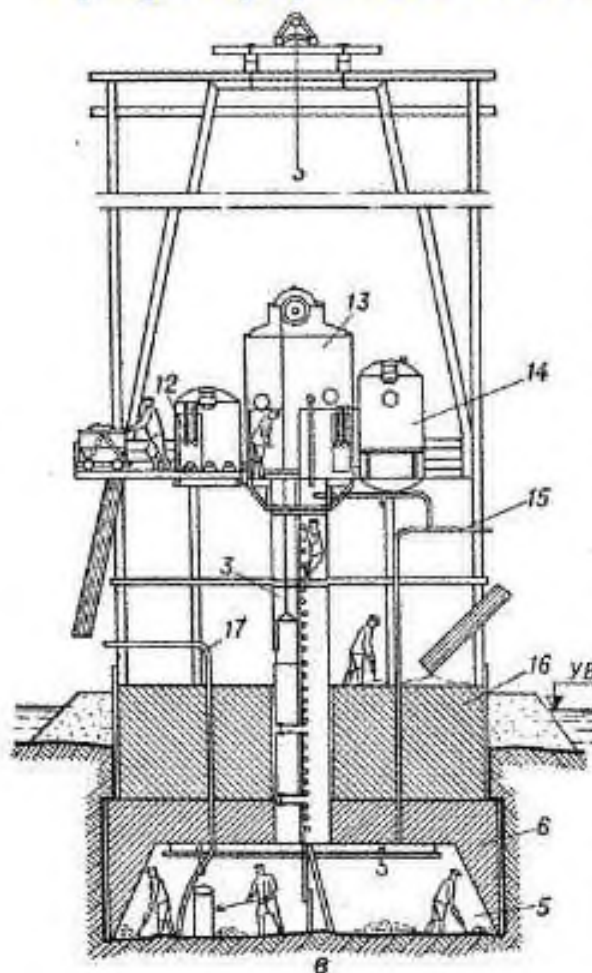
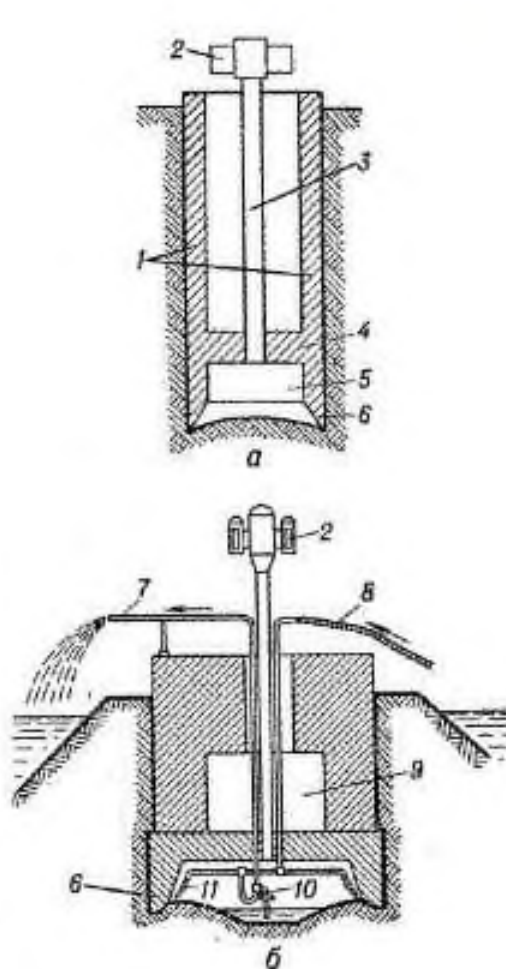
Здесь необходимо проявлять особую осторожность, поскольку быстрый переход от повышенного давления к атмосферному может быть причиной так называемой кессонной болезни.

Для обеспечения нормальных условий работы рабочая камера и шлюзовой аппарат обеспечиваются электроосвещением, телефонной связью, системой звуковых и световых сигналов.

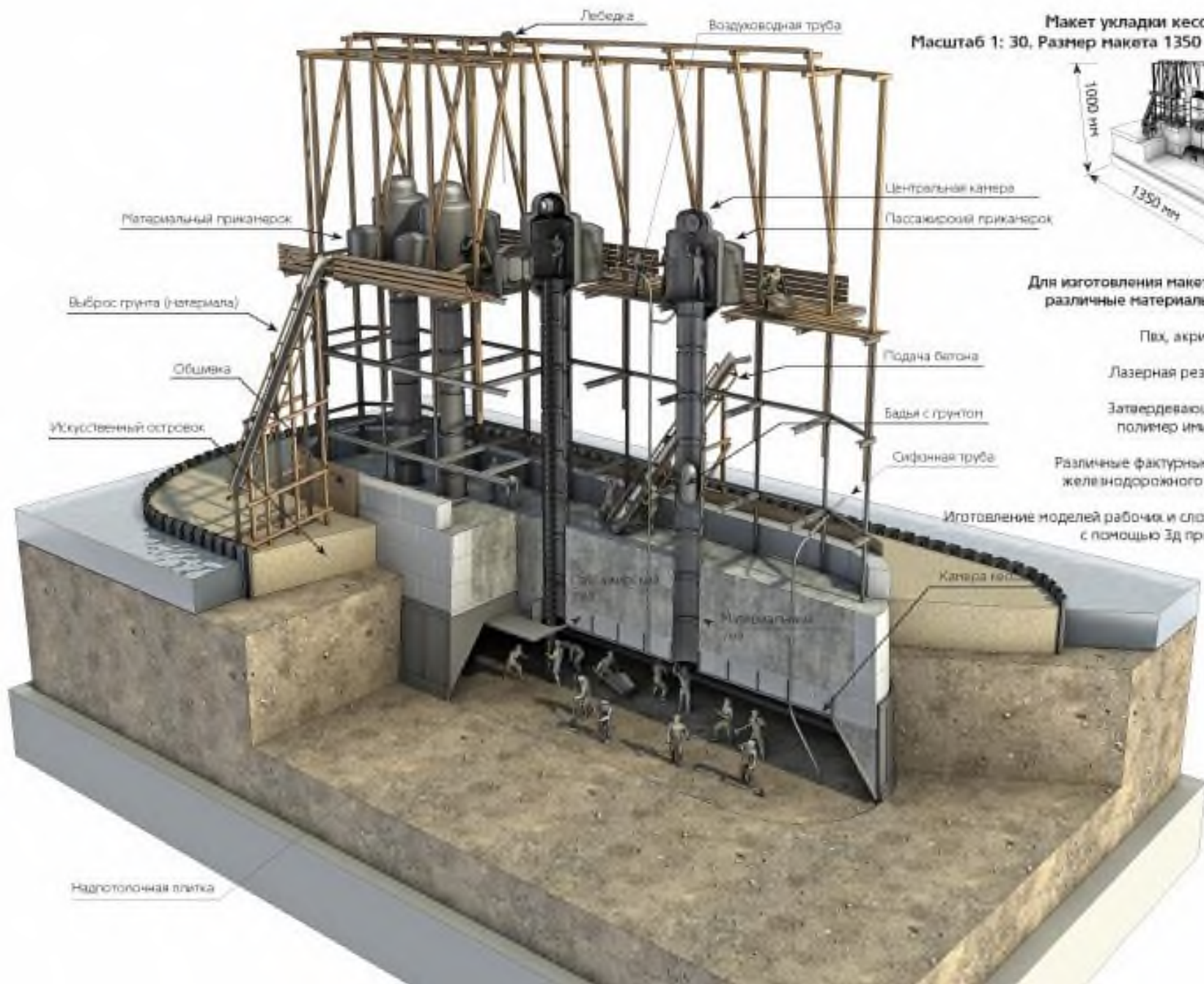
4.3.2. Производство кессонных работ

Последовательность производства работ при строительстве кессонов такая же, как и при строительстве опускаемых колодцев.

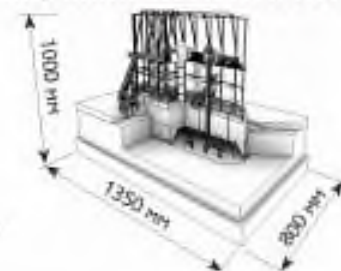
Кессонный метод устройства фундаментов



- а — основные элементы кессона;
 б — погружение кессона при помощи гидромеханической установки с дистанционным управлением;
 в — схема погружения кессона при разработке грунта средствами малой механизации;
- 1 — надкамерные стены;
 2 — шлюзовый аппарат;
 3 — шахтная труба;
 4 — потолок камеры;
 5 — кессонная камера;
 6 — консоль камеры с ножевой частью стены;
 7 — отвод пульпы;
 8 — подача воды от насосной станции;
 9 — камера наблюдения и дистанционного управления;
 10 — гидрозлепатор, удаляющий пульпу;
 11 — вращающийся гидромонитор;
 12 — материальная прикамера шлюза;
 13 — центральная камера шлюзового аппарата;
 14 — пассажирская прикамера;
 15 — подача сжатого воздуха;
 16 — надкессонный массив кладки;
 17 — сифонная труба для удаления просочившейся воды и избыточного воздуха;
 УВ — уровень воды.



Макет укладки кессона с разрезом
Масштаб 1: 30, Размер макета 1350 x 800 x 1000 мм



Для изготовления макета планируются
различные материалы и технологии:

Пвх, акриловые пластики.

Лазерная резка и гравировка.

Затвердевающий прозрачный
полимер имитирующий воду.

Различные фактурные шпатлевки для
железнодорожного моделирования.

Изготовление моделей рабочих и сложных элементов
с помощью 3д прототипирования.

Надпотолочная плита

*Сначала на спланированной поверхности грунта или на дне пионерного котлована **возводится кессонная камера, на которой монтируются шлюзовой аппарат и шахтные трубы.***

*Одновременно вблизи кессона **сооружается компрессорная станция и монтируется оборудование для подачи в кессон сжатого воздуха.***

*После того как бетон кессонной камеры приобретет проектную прочность, ее снимают с подкладок и **начинают погружение.***

*Сжатый воздух начинают подавать в кессонную камеру, как только ее нижняя часть достигнет уровня **подземных вод.***

*Давление воздуха, обеспечивающее **отжим воды** из камеры кессона, определяется из условия*

$$p_b \geq H_w \gamma_w, \quad (4.7)$$

где p_b - избыточное (сверх атмосферного) давление воздуха, кПа; H_w - гидростатический напор на уровне банкетки ножа, м; γ_w - удельный вес воды, кН/м³.

По мере погружения кессона в грунт *наращивают шахтные трубы, если это необходимо, и возводят надкессонную часть сооружения.*

После опускания кессона на проектную глубину *все специальное оборудование демонтируется, а рабочая камера заполняется бетоном.*

Грунт в камере кессона разрабатывается *ручным или гидромеханическим способом.*

Ручная разработка грунта применяется при погружении кессонов в породы, не поддающиеся размыву (плотные глинистые, скальные грунты и т. п.).

В этих случаях *грунт разрабатывается ручным механизированным инструментом* (отбойные молотки,

пневмобуры), а разрушение скальных пород и *дробление валунов производится взрывным способом мелкими шпуровыми зарядами.*

Разработанный *грунт грузится в бадьи*, подвешенные к смонтированному на потолке камеры *монорельсу*, и *подается к шахтному отверстию.*

При разработке грунта *следят за равномерным погружением кессона*. Если замечают *перекосы и крены*, то *замедляют разработку грунта с одной стороны кессона и усиливают с противоположной.*

Если после разработки грунта кессон не опускается, то его либо *пригружают*, либо применяют *форсированную посадку*.

Форсированная посадка достигается *снижением давления воздуха в рабочей камере*, вследствие чего падает направленное вверх давление на ее потолок, сопротивление

кессона погружению в грунт резко уменьшается и он быстро опускается на глубину выработки.

Правилами производства кессонных работ форсированную посадку кессона разрешается производить на глубину не более 0,5 м при снижении давления воздуха не более чем на 50%.

Пребывание людей в кессоне при форсированной посадке запрещается.

Если существует *опасность самопроизвольного опускания* кессона (при слабых грунтах или значительном весе кессона), то *под потолок его камеры подводят шпальные клетки.*

После того как опасность самопроизвольного опускания кессона минует, шпальные клетки разбирают.

Гидромеханическая разработка грунта применяется при погружении кессона в грунты, поддающиеся размыву (песчаные, супесчаные, песчано-гравелистые).

Разработка грунта производится *гидромониторами*, а *разжиженная масса (пульпа)* удаляется из камеры *гидроэлеваторами* или *эжекторами*.

Гидромониторы и гидроэлеваторы могут работать по заданной программе, что позволяет сократить до минимума число рабочих, находящихся в кессонной камере под давлением сжатого воздуха.

Имеется *опыт разработки грунта в кессонной камере вообще без присутствия в ней рабочих*, когда все управление гидромеханизмами выносится за ее пределы. Такой *способ опускания кессонов* называется *слепым*.

4.3.3. Расчет кессонов

Расчет *кессонов производится аналогично расчету опускных колодцев*, но с учетом специфики их погружения и конструктивных особенностей.

Так, при расчете кессонов на погружение к нагрузкам, действующим на обыкновенный опускной колодец, *добавляется давление сжатого воздуха на потолок кессонной камеры.*

Расчет прочности кессона сводится в основном к *расчету конструкции его кессонной камеры*, на которую в процессе ее изготовления и погружения действуют следующие нагрузки:

- 1) *собственный вес кессонной камеры;*
- 2) *горизонтальное давление грунта и воды снаружи;*
- 3) *силы трения о грунт;*
- 4) *реактивное давление грунта на ножевую часть консоли;*
- 5) *вес надкессонной кладки;*
- 6) *давление сжатого воздуха на потолок и консоли кессонной камеры.*

4.4. Буровые опоры

Буровые опоры представляют собой *бетонные столбы*, которые возводят путем *укладки бетонной смеси в предварительно пробуренные скважины*. Укладка бетонной смеси производится под защитой либо глинистого раствора, либо обсадных труб, извлекаемых при бетонировании.

Технология устройства буровых опор та же, что и буронабивных свай, т. е., по существу, они представляют собой буронабивные сваи большого диаметра (более 80 см).

Нижние концы буровых опор обязательно доводят до плотных грунтов, поэтому они работают как стойки. Иногда их делают с уширенной пятой.

При необходимости *буровые опоры армируются, но, как правило, только на участках сопряжений со скальной породой и с ростверком*.

Буровые опоры обладают значительной несущей способностью (10 МН и более) и рассчитываются как *свай-стойки, изготовленные в грунте*.

Технологическая схема устройства глубокой буровой опоры

а — глубокая буровая опора;

1 — копер;

2 — ротор,

3 — буровая колонна;

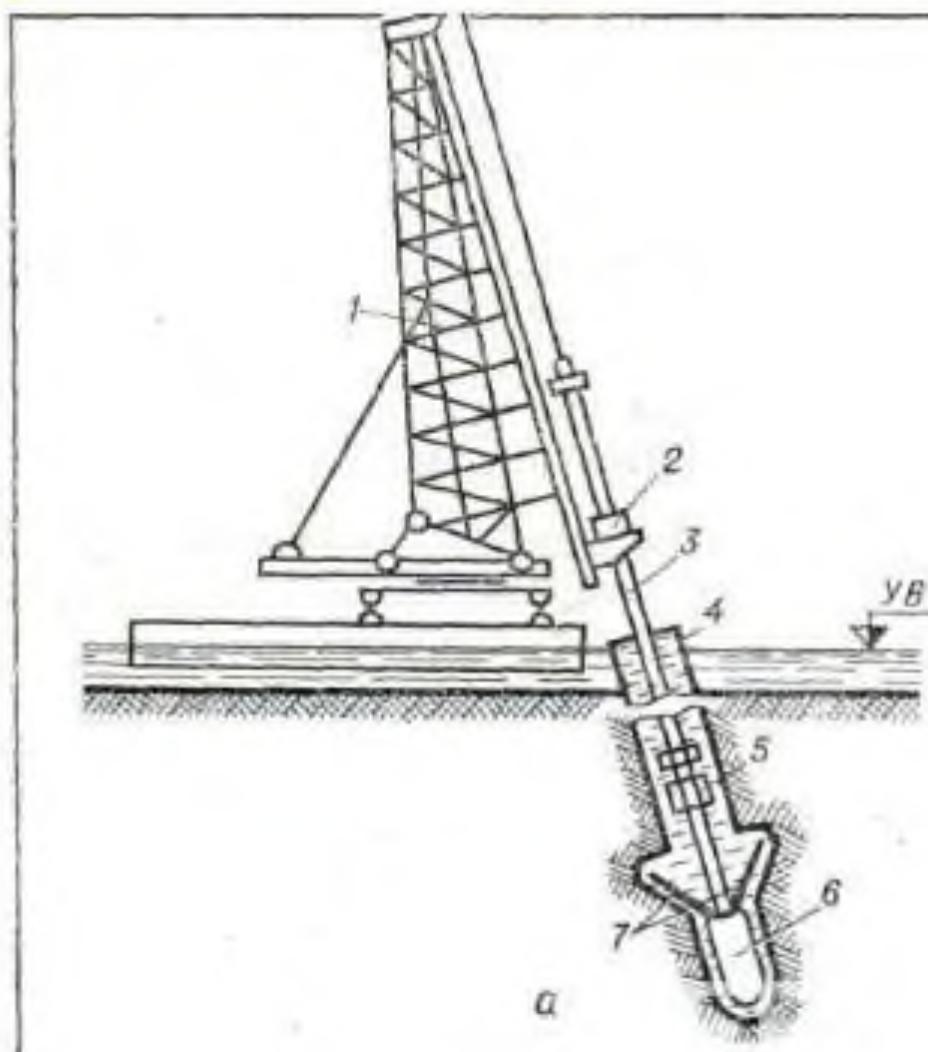
4 — инвентарная обсадная труба;

5 — направляющий барабан;

6 — фреза;

7 — раскрывающиеся ножи;

УВ — уровень воды.

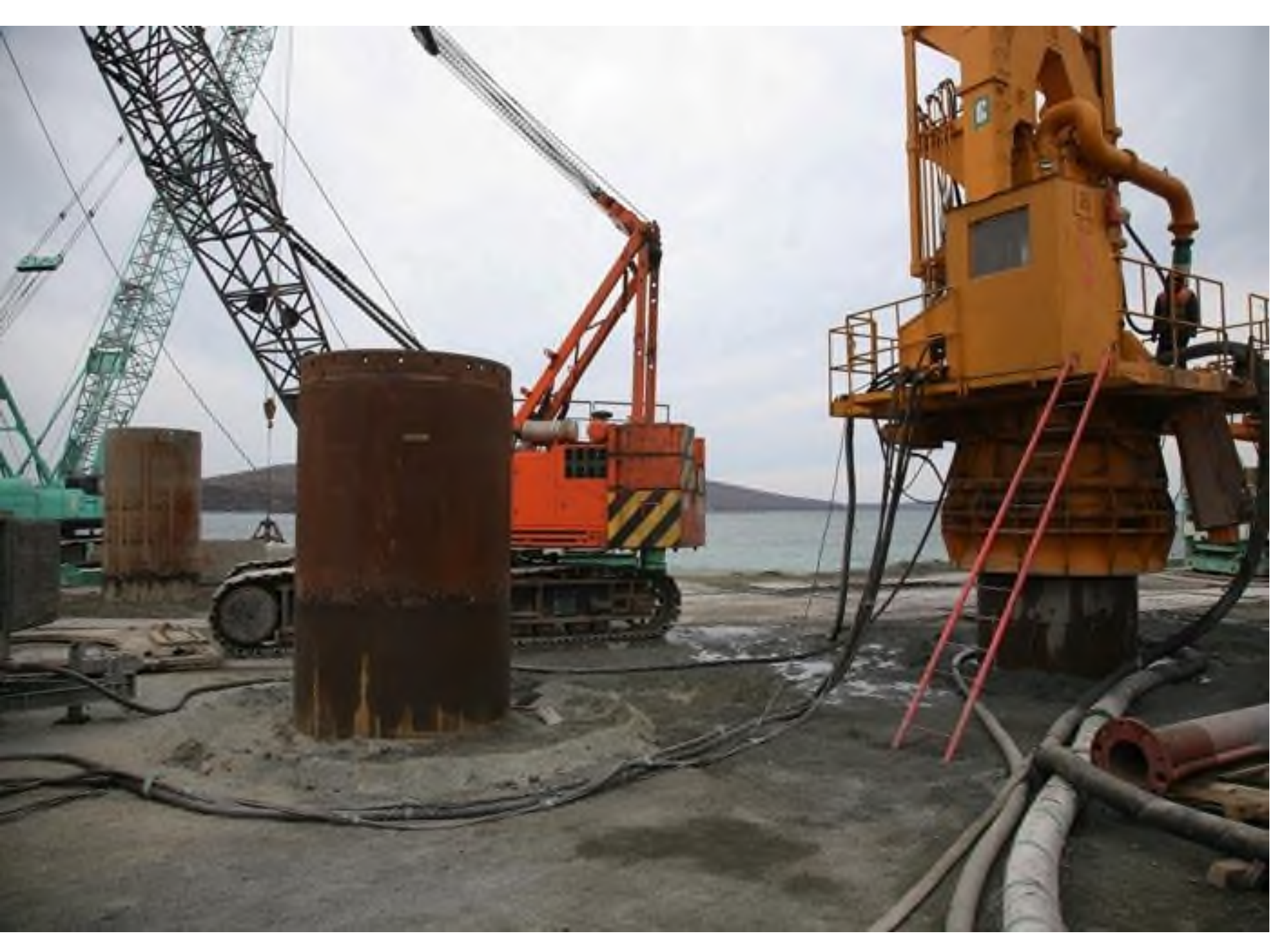




























Сваи диаметром 2,5 м. выполненные на
глубину 55 м для въезда на эстакаду Шоссе
№ 8 в Гонконге



4.5. Тонкостенные оболочки

Тонкостенные оболочки из сборных железобетонных элементов индустриального изготовления начали широко применять при возведении фундаментов глубокого заложения с появлением *мощных вибропогружателей, позволяющих погружать в грунт элементы больших размеров.*

Тонкостенная оболочка представляет собой пустотелый цилиндр из обычного или предварительно напряженного железобетона.

Оболочки выпускаются *секциями длиной от 6 до 12 м и наружным диаметром от 1 до 3 м. Длина секций кратна 1 м, толщина стенок составляет 12 см.* На рис. 4.40 в качестве примера показана секция оболочки *диаметром 1,6 м.*

На строительной площадке *секции оболочки или предварительно укрупняются, или наращиваются в процессе погружения с помощью специальных стыковых устройств.*

Анализ накопленного опыта показал, что *наилучшими типами стыков являются сварной, применяемый для*

предварительной сборки на строительной площадке, и *фланцевый на болтах, используемый для наращивания оболочек в процессе погружения* (рис. 4.41).

Погружение оболочек в грунт осуществляется, как правило, *вибропогружателями*.

Для *облегчения погружения*, а также для предотвращения разрушения оболочки при встрече с твердыми включениями *конец нижней секции снабжается ножом*.

Для повышения сопротивления оболочки действию значительных по величине внешних усилий *обычно полость оболочки после погружения до заданной глубины заполняется бетоном*.

При погружении в песчаные грунты *внизу оставляют уплотненное песчаное ядро высотой не менее 2 м* (рис. 4.42, а). Благодаря этому *сохраняется естественная плотность песчаного грунта в основании оболочки*, что обеспечивает лучшее использование его несущей способности.

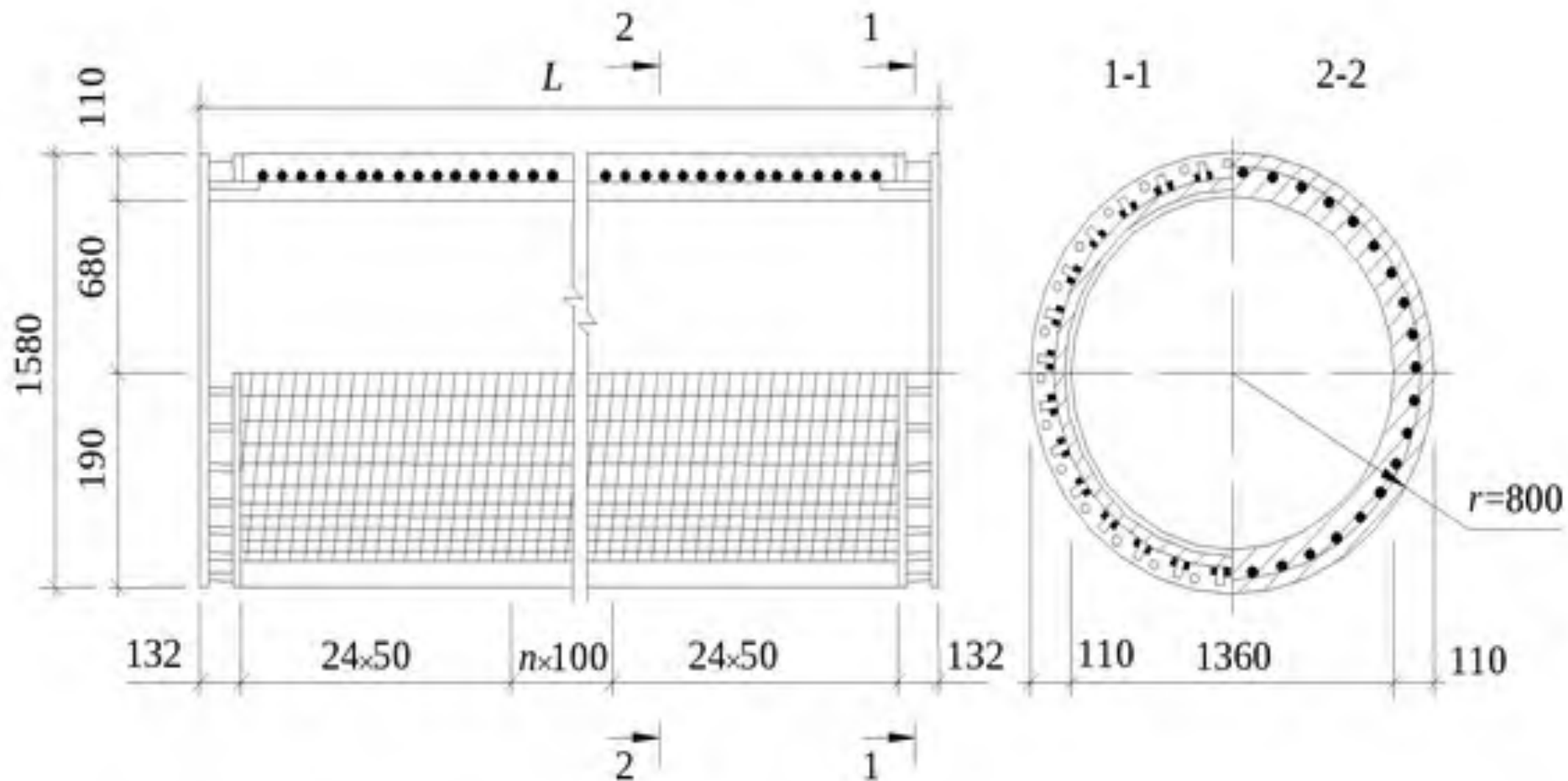


Рис. 4.40. Конструкция типовой тонкостенной оболочки диаметром 1,6 м

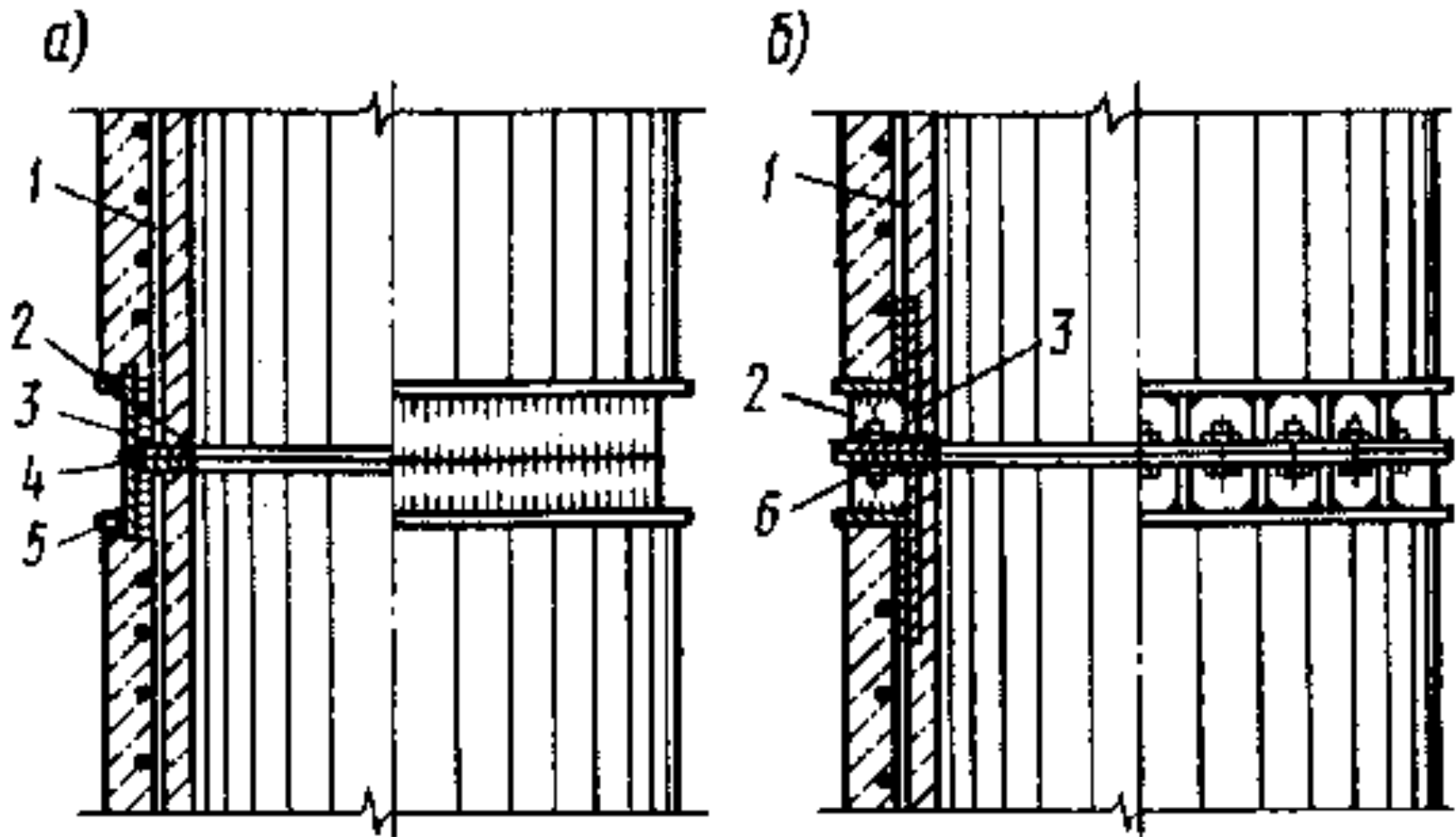


Рис. 4.41. Стыки секций оболочек:

а – сварной стык; б – фланцево-болтовой стык; 1 – стержень продольной арматуры; 2 – ребро; 3 – обечайка; 4 – сварной шов; 5 – стальной стержень; 6- болт

Заполнение оболочек бетоном значительно *замедляет темпы производства работ и снижает процент сборности фундамента*, особенно при оболочках большого диаметра.

Чтобы снизить объем укладываемого бетона или вообще исключить производство бетонных работ на строительной площадке, *разработаны конструкции оболочек с утолщенными до 16...20 см стенками (усиленные оболочки)*.

Усиленные оболочки обладают достаточной прочностью для их вибропогружения в труднопроходимые грунты, характеризующиеся включениями галечника и валунов (что на практике создавало серьезные трудности при погружении обычных оболочек и не раз приводило к их разрушению), и *не требуют обязательного последующего заполнения бетоном* по крайней мере на полную высоту.

Применение таких оболочек значительно *сокращает объем бетонных работ, производимых на строительной площадке.*

Разновидностью усиленных оболочек являются *оболочки с несущей диафрагмой. Диафрагма* устраивается в *нижней секции оболочки на высоте одного-двух ее диаметров* и имеет центральное отверстие для извлечения грунта из ее полости при погружении (рис. 4.42, б).

После посадки диафрагмы на грунт на последнем этапе погружения отверстие заливают бетоном.

Такие оболочки предназначены для *фундаментов, устраиваемых в песчаных и песчаногравийных грунтах без включения валунов.*

Если оболочка погружается до скальных грунтов, то ее *нижний конец, как правило, заделывается в скалу.* Для этого в скальной породе через оболочку бурят скважину диаметром, равным внутреннему диаметру оболочки, и после установки

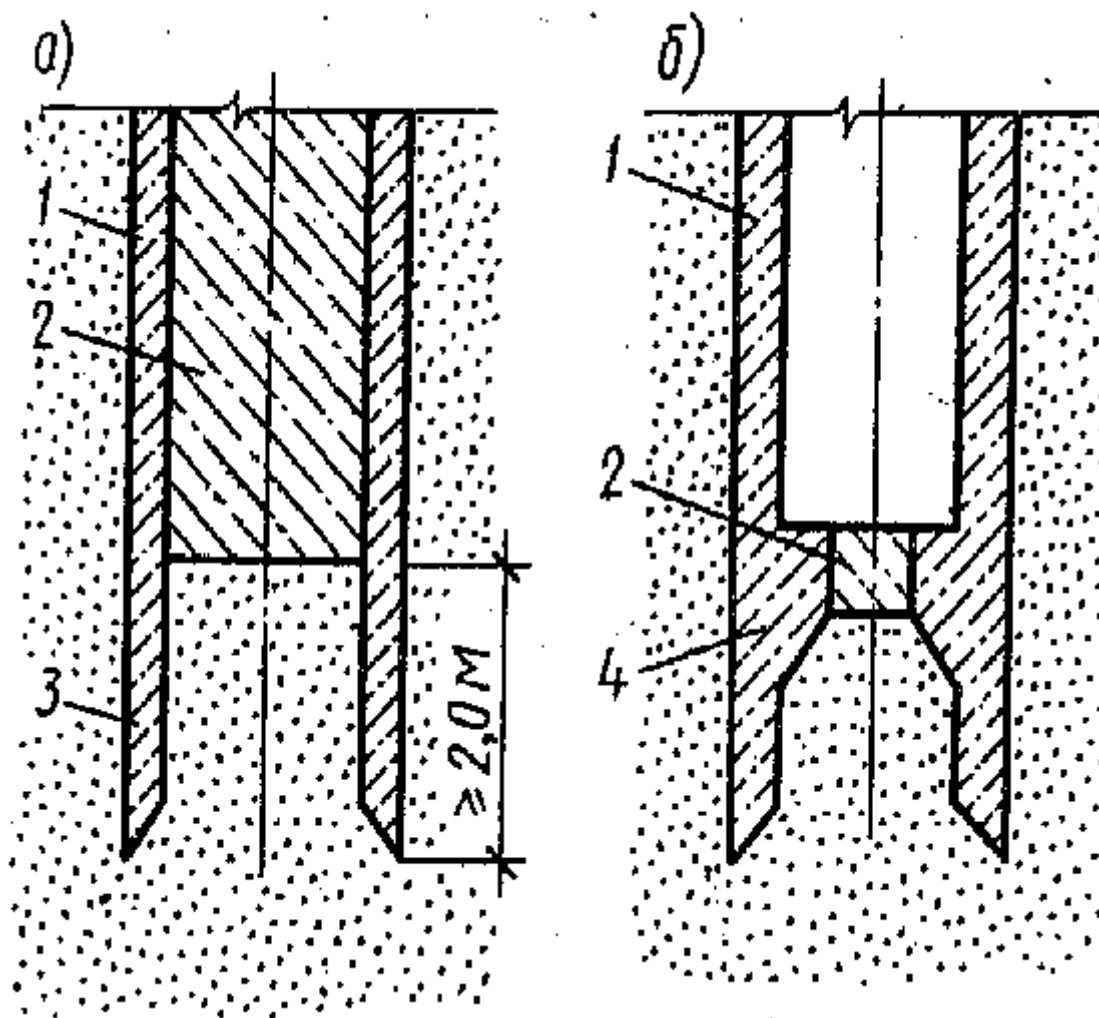


Рис. 4.42а, б. Конструкция сборных железобетонных оболочек:
а - оболочка с уплотненным песчаным ядром; *б* - усиленная оболочка с несущей диафрагмой; 1 - оболочка; 2 - бетонное заполнение; 3 - нож; 4 - несущая диафрагма

арматурного каркаса скважину и оболочку заливают бетоном (рис. 4.42, в).

В нескальных грунтах увеличение несущей способности оболочки по грунту достигается устройством внизу уширенной пяты.

Полость для уширенной пяты делают либо *разбуhrиванием, либо камуфлетным взрывом с последующим заполнением ее бетонной смесью* (рис. 4.42, г).

Практика показала, что *устройство уширений наиболее целесообразно в глинистых грунтах средней прочности.*

Оболочки, заделанные в скалу или имеющие внизу уширение, обладают значительной несущей способностью (10 МН и более), поэтому обязательно заполняются бетоном на всю высоту.

Исключение составляют только *усиленные оболочки*, где иногда можно *ограничиться устройством только нижней бетонной пробки.*

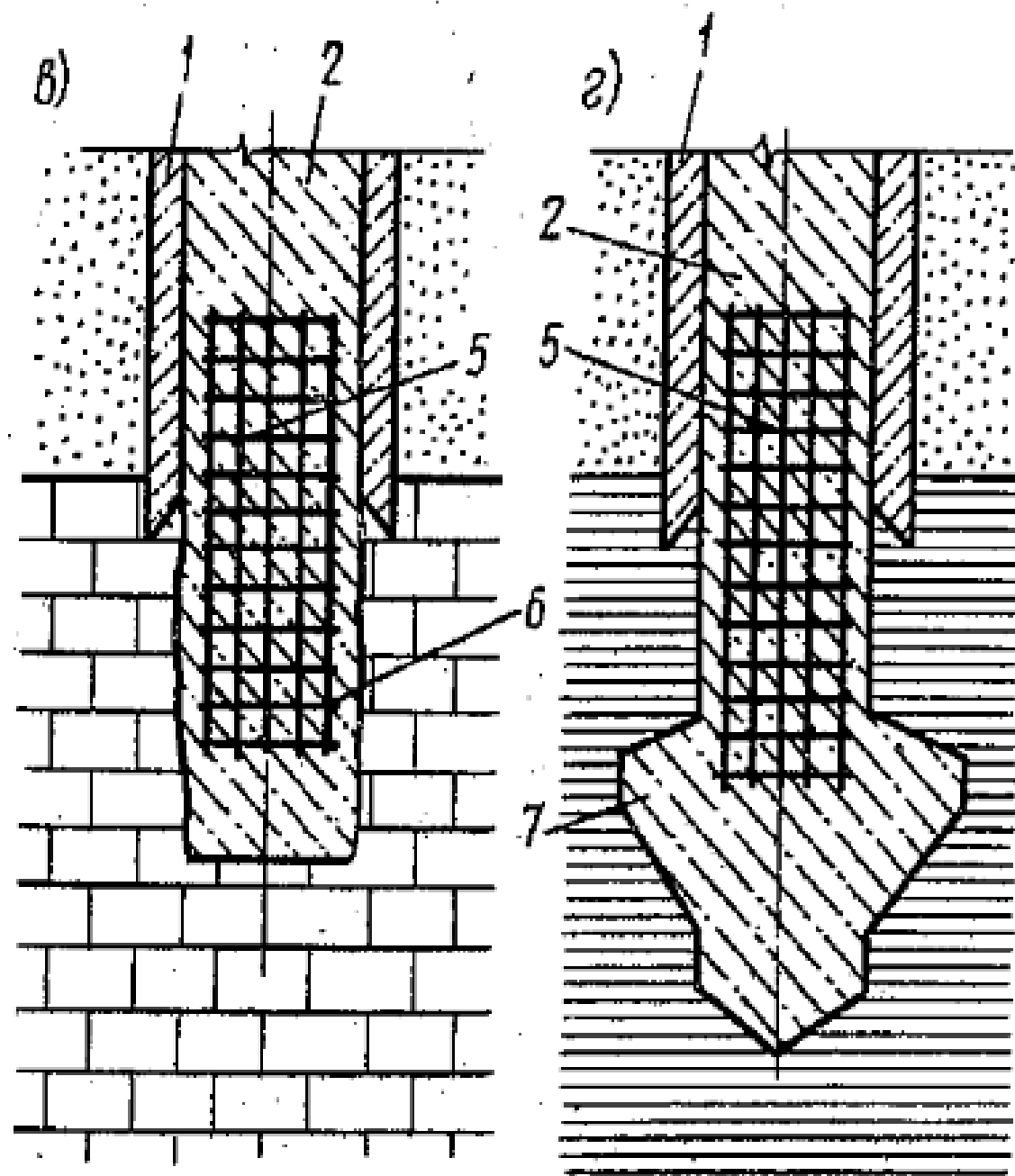


Рис. 4.42в, г.
 Конструкция сборных железобетонных оболочек:
 в - оболочка, заделанная в скалу;
 г - оболочка с уширенной пятой;
 1 - оболочка;
 2 - бетонное заполнение;
 5 - арматурный каркас;
 6 - буровая скважина в скальной породе;
 7 - уширенная пята

Тонкостенные оболочки из сборных железобетонных элементов обладают рядом достоинств, позволяющих им во многих случаях *успешно конкурировать с другими типами фундаментов глубокого заложения.*

Прежде всего надо отметить *индустриальность их изготовления, высокую сборность и механизацию всех работ, что позволяет значительно сократить сроки строительства и уменьшить трудоемкость возведения фундаментов.*

Кроме того, применение оболочек позволяет *лучше использовать прочностные свойства материала фундамента.*

Так, если при *опускных колодцах и кессонах прочностные свойства материала фундамента используются на 10...15%, то в оболочках — на 40...60%.*

Особенно экономичными являются оболочки, заделанные основанием в скальные грунты, когда их материал может быть использован практически полностью.

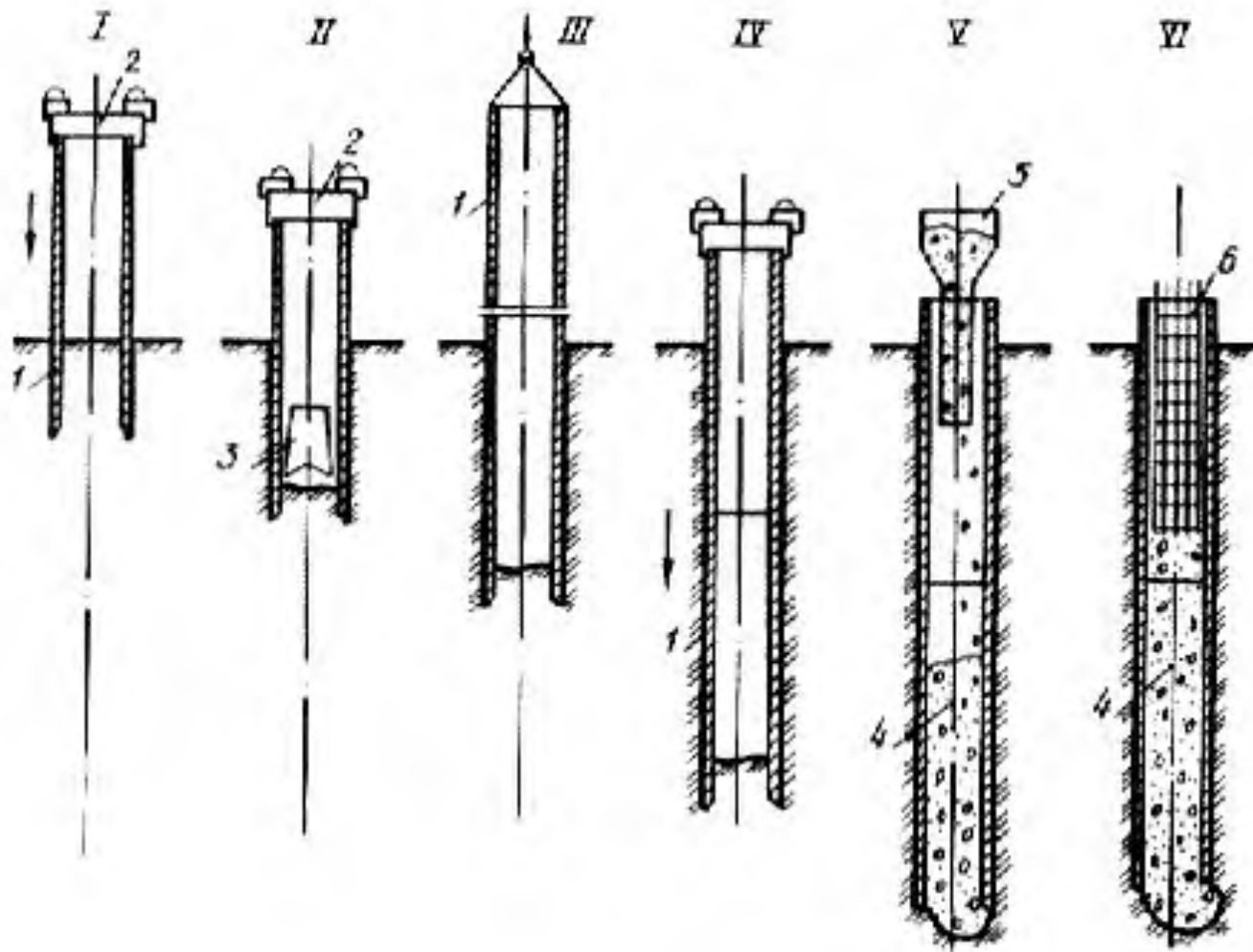


Рис.4.43. Технологическая схема возведения глубоких опор из тонкостенных оболочек
 I - погружение первого звена оболочки, II - извлечение грунта из полости оболочки, III - наращивание следующего звена оболочки, IV - погружение оболочки, составленной из двух звеньев, V - бетонирование полости оболочки, VI - готовая глубокая опора из тонкостенных оболочек; 1 -оболочка, 2 - вибропогружатель, 3 - грейфер, 4 - бетон, 5 - приемная воронка, 6 - арматурный каркас

Наиболее рационально тонкостенные оболочки применять при больших вертикальных и горизонтальных нагрузках.

Такие сочетания нагрузок наиболее характерны для мостов, гидротехнических и портовых сооружений.