ВВЕДЕНИЕ

Отличительная особенность современного городского строительства — стремление к значительному увеличению объема подземной части зданий, что особенно заметно при выполнении строительных работ в центральной части крупных городов. Объясняется это не только суровой необходимостью удаления с улиц личного автотранспорта жителей города, но и привлекательностью для инвесторов размещения дополнительных объектов в районах с развитой инфраструктурой. Освоение подземного пространства в ряде случаев упрощает сохранение исторической застройки городов.

В подземной части возводимых зданий кроме автостоянок размещают также станции технического обслуживания автотранспорта, складские помещения магазинов, холодильники, рестораны и кафе, кинозалы, сооружения гражданской обороны и, конечно, инженерные коммуникации.

При возведении промышленных зданий в подземной части иногда оказывается более выгодным (безопасным) размещение некоторых видов технологического оборудования.

Геометрические параметры подземной части определяются назначением возводимого здания или сооружения, особенностями окружающей застройки, грунтовыми условиями и многими другими факторами. Современные строительные технологии производства работ «нулевого цикла» позволяют решать любые инженерные задачи; но при этом данные работы являются самыми дорогостоящими и ответственными. Более 70 % строительных аварий происходит по причине ошибок на стадии геотехнических работ. Поэтому выбор габаритов и конструктивной схемы подземной части, выбор технологии ее возведения являются ответственной задачей при проектировании, требуют технико-экономического сравнения различных вариантов с учетом всего комплекса геотехнических проблем.

В последние годы по вопросам возведения подземной части зданий и подземных сооружений опубликовано значительное количество работ, в которых достаточно полно отражены технологические вопросы.

Данное пособие предназначено для использования студентами, обучающимися по программе бакалавриата. В сжатой форме изложены современные методы возведения подземной части зданий. Приведены ссылки на работы, позволяющие в более полном объеме рассмотреть отдельные технологии возведения подземной части зданий и подземных сооружений различного назначения.

Глава 1
КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Подземным сооружением называют любую строительную систему, расположенную ниже отметки поверхности грунта. По глубине заложения подземные сооружения разделяют на глубокие (слой грунта над сооружением превышает 10 м), малой глубины (слой грунта менее 10 м) и заглубленные (не имеющие сверху слоя грунта). Последние, как правило, жестко связаны с надземной частью, имеют с ней единую конструктивную схему и рассматриваются как подземная часть данного здания. Особенности конструктивной схемы и планировки подземной части зависят также от назначения последней и оказывают влияние на выбор метода возведения. Разработку грунта подземной части зданий осуществляют открытым способом.

Возведение сооружений глубокого заложения (тоннели, подземные камерные выработки) осуществляют, как правило, закрытым способом без снятия слоя грунта над сооружением. Способ возведения сооружений малой глубины (открытый или закрытый) выбирают в зависимости от толщины слоя грунта над сооружением и от использования (на момент строительства) городской территории над возводимым сооружением.

Классификации подземных сооружений по функциональному назначению приведены в работах [1; 2].

Глубина (высота) подземной части жилых зданий, как правило, не превышает 10 м (2-3 подземных этажа). Подземная часть общественных зданий достигает глубины 15 и более м. В Москве и в большинстве крупных городов многих стран возведены общественные здания, которые имеют шесть и более подземных этажей [3]. По площади застройки подземная часть может совпадать с контурами надземной или выходить за них. В последние годы в Москве при строительстве комплексов монолитных жилых зданий подземная часть иногда проектируется общей для всего комплекса, причем ее площадь в несколько раз превышает площадь застройки надземной части.

В каркасных зданиях ограждающие стены подземной части, как правило, являются самонесущими, не связаны с фундаментами несущих конструкций (колонн и пилонов) и служат только для восприятия горизонтальных нагрузок от грунта (рис. 1.1).

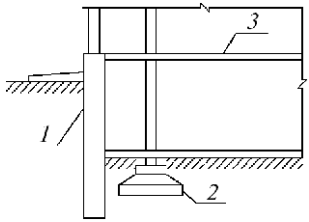

Рис. 1.1. Конструктивная схема подземной части с самонесущей ограждающей стеной:
1 — ограждающая самонесущая «стена в грунте»; *2* — столбчатый фундамент; *3* — перекрытие, воспринимающее распор

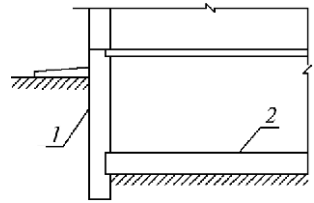

Рис. 1.2. Конструктивная схема подземной части с несущими наружными стенами:
1 — несущая «стена в грунте»; *2* — монолитная фундаментная плита

В зданиях с наружными несущими стенами ограждающие стены подземной части жестко соединены с фундаментной плитой (рис. 1.2), на которую передают воспринимаемые нагрузки.

Глава 2
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ

К основным методам строительства подземной части относятся:
- строительство в заранее отрытых котлованах небольшой глубины с крутизной откосов, обеспечивающих их устойчивость;
- строительство в глубоких котлованах с вертикальными откосами, закрепленными специальными конструкциями, обеспечивающими устойчивость откосов;
- метод «стена в грунте»;
- методы опускного колодца и кессонный;
- метод подращивания.

2.1. Строительство в мелких котлованах

Строительство подземной части в котлованах с допустимой крутизной откосов без устройства креплений используют при глубинах до 3-4 м на свободных от застройки территориях. При этом значительно увеличивается объем земляных работ. Значение коэффициента откоса *m* принимается в соответствии со СНиП Ш-8-76 в зависимости от глубины котлована и типа грунта. Устройство котлованов и траншей с вертикальными стенками без креплений допускается только в маловлажных связных грунтах при незначительных глубинах. Наибольшая глубина выемок с вертикальными стенками приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Грунты	Наибольшая глубина выемки, м
Дресвяные, гравийные, песчаные и пластичные супеси	1,0
Супеси твердые, суглинки и глины мягкопластичные	1,25
Суглинки и глины:	
– тугопластичные;	1,5
– полутвердые;	2,0
– твердые	3,0

После разработки котлована производят устройство фундаментов, днища и стен сооружения. В данном случае не используют какие-либо специальные методы подземного строительства, кроме устройства водопонижения (при уровне грунтовых вод (УГВ) выше отметки дна котлована).

2.2. Строительство в глубоких котлованах с креплением вертикальных откосов

Конструкции крепления вертикальных откосов котлованов выбирают в зависимости от глубины последних, размеров в плане, свойств грунтов, уровня грунтовых вод и сроков эксплуатации конструкции.

Работы начинают с погружения в грунт элементов крепления — сплошной шпунтовой стенки или отдельных стоек по периметру будущего котлована. Глубина погружения элементов превышает глубину котлована на 1–6 м в зависимости от типа грунта для предотвращения горизонтальных деформаций в нижней части крепления после полной отрывки котлована. Металлический шпунт с замковым соединением отдельных шпунтин (рис. 2.1) с образованием сплошной стенки применяют при расположении уровня грунтовых вод выше отметки дна котлована.

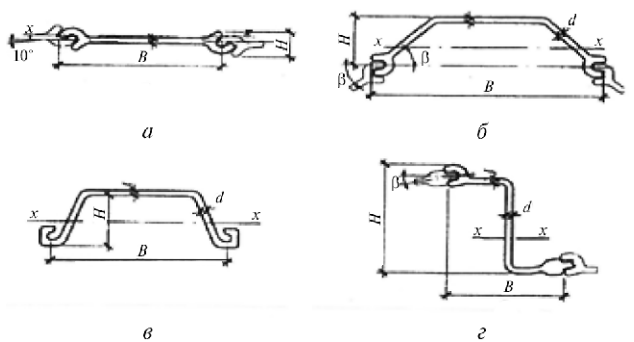

Рис. 2.1. Основные профили металлического шпунта:
а — плоский; *б* — корытного типа; *в* — типа «Ларсен»; *г* — Z-образный

При заглублении шпунтовой стенки в водоупор последующие работы ведут без устройства водопонижения. В последние годы стали применять конструкции трубчатого сварного шпунта, изго-

тавливаемого из металлических труб путем приварки к ним замковых соединений [4]. За рубежом всё шире используют полимерный шпунт из сверхплотного полиэтилена. Погружение шпунта осуществляют ударными, вибрационными, гидравлическими методами и вдавливанием. Применение шпунта для крепления вертикальных стенок котлованов экономически целесообразно только при условии его извлечения после завершения строительства и повторного использования.

Наиболее широко распространено использование для крепления стенок отдельных стоек. Чаще всего для стоек используют металлические трубы, которые погружают в грунт вдавливанием или завинчиванием, в том числе с использованием лидирующих скважин (рис. 2.2).

Рис. 2.2. Ограждение котлована из труб с обвязочным поясом

Это позволяет избежать динамических воздействий на грунтовый массив и вести работы вблизи существующей застройки. В качестве стоек используют также буронабивные и грунтоцементные сваи. Реже используют металлические двутавры или спаренные швеллеры. В связных грунтах и при УГВ, расположенном ниже отметки дна котлована (в том числе при устройстве водопонижения) стойки располагают с зазорами 10–50 см, и при отрывке котлована между ними не устраивают забирки (рис. 2.3).

В этом случае между стойками образуются горизонтальные своды, передающие на стойки давление от грунта. При погружении стоек с большими зазорами — до 1,5 м — между ними устраивают забирки из досок или стального листа (рис. 2.4).

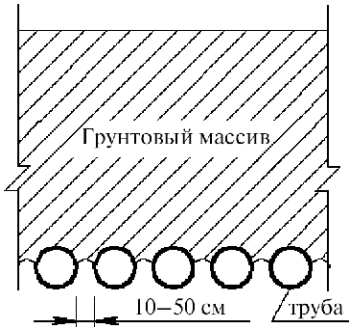

Рис. 2.3. Ограждение котлована из труб с зазорами до 50 см

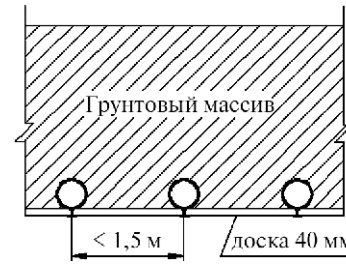

Рис. 2.4. Ограждение котлована из труб с забирками из досок

Как правило, ограждения, выполненные из отдельных стоек (с забиркой или без нее), не извлекают после возведения подземной части.

В Москве часто в одинаковых условиях применяют различные материалы и различные варианты крепления вертикальных откосов. При этом стоимость устройства конструкции крепления может отличаться в 2-3 раза. Во многих странах способ крепления вертикальных откосов более жестко привязан к типу подземного сооружения. Например, в ОАЭ при возведении подземной части под жилыми и общественными зданиями используют следующий единый метод крепления вертикальных откосов. По периметру будущего котлована устраивают буронабивные сваи ∅600 мм с зазором между сваями 100 мм. В пределах площади будущего котлована устраивают скважины и глубинными насосами и производят водопонижение. Разработку котлована начинают при стабилизации депрессионной кривой (ниже отметки дна котлована). Водопонижение прекращают после окончания основных работ (включая устройство гидроизоляции) по возведению подземной части.

Обеспечение устойчивости ограждения вертикальных откосов. При отрывке котлована необходимо предотвратить возможность горизонтальных деформаций (смещений в сторону котлована) выполненных заранее шпунтовых стенок или отдельных стоек. Такие смещения особенно опасны при наличии близко расположенных зданий. Использование ограждения без креплений, обеспечивающих его устойчивость, возможно только при глубине котлована до

3-4 м в маловлажных грунтах и при отсутствии близко расположенной застройки. Устройство горизонтальной балки (рамы), объединяющей стойки и повышающей жесткость по горизонтали, при этом является обязательным. Вертикальные стойки должны быть погружены ниже отметки дна котлована на глубину, обеспечивающую жесткость заделки.

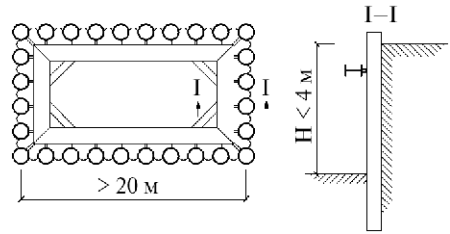

Рис. 2.5. Обеспечение устойчивости откосов с помощью распорной рамы

Горизонтальные распорные рамы с горизонтальными распорками в углах (рис. 2.5) применяют при размере длинной стороны сооружения не более 15–20 м.

Использование такого крепления требует применения металлических профилей больших сечений и допуска незначительных деформаций в средней части пролета, но освобождает среднюю часть котлована от подкосов или распорок.

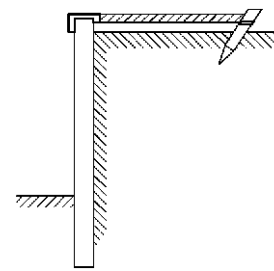

Рис. 2.6. Крепление ограждения оттяжками

В редких случаях используют оттяжки (рис. 2.6), закрепленные к анкерам; горизонтальная балка в этом случае проходит по верху стоек.

При котлованах большей глубины и сложных грунтовых условиях обязательна установка креплений, обеспечивающих устойчивость ограждения. Установку креплений производят в процессе отрывки котлована, не допуская свободной длины стоек, превышающей расчетную. При всех видах креплений в первую очередь устраивают горизонтальные окаймляющие балки, к которым крепят распорки, подкосы или анкера.

Распорки (рис. 2.7) применяют при ширине котлована не более 15 м и любой длине.

Распорки (расстрелы) устанавливают с шагом 4–6 м в один или несколько ярусов в процессе отрывки котлована. Этот вид крепления широко применяется при строительстве станций метро открытым

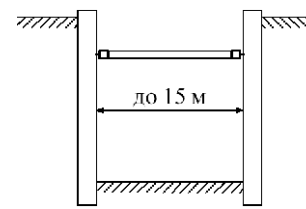

Рис. 2.7. Крепление ограждения распорками

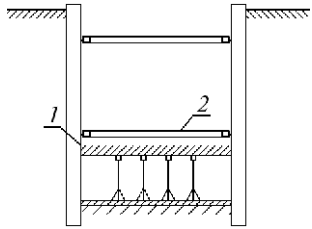

Рис. 2.8. Передача распорного усилия на перекрытие:
1 — забетонированное перекрытие;
2 — распорка нижнего яруса

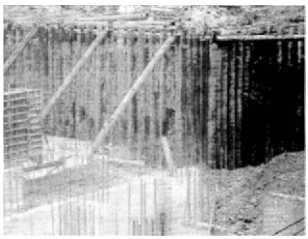

Рис. 2.9. Крепление ограждения подкосами

способом. Основной недостаток — распорки мешают производству работ при отрывке котлована и строительстве сооружения. Наличие распорок требует определенной последовательности выполнения строительных работ. Если монолитные стены устраивают вплотную к ограждению котлована, то после полной отрывки котлована и устройства фундаментов на ограждение крепят мембранную гидроизоляцию и затем бетонируют ограждающие стены и перекрытие нижнего подземного этажа (рис. 2.8).

Далее после набора прочности бетоном перекрытия демонтируют распорки нижнего яруса, расположенные на 0,5 м выше перекрытия, и передают на перекрытие распорные усилия от грунта. В аналогичной последовательности выполняются работы по устройству следующего подземного этажа.

Подкосы для обеспечения устойчивости вертикальных откосов котлована (рис. 2.9) применяют при значительной площади подземного сооружения и при глубине до 10 м.

Строительные работы ведут в следующей последовательности. После погружения в грунт ограждающей стенки производят отрывку котлована до проектной отметки в средней части, оставляя бермы, предотвращающие деформации ограждения (рис. 2.10).

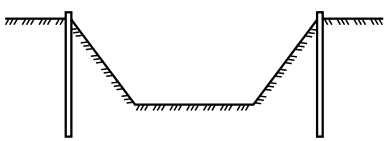

Рис. 2.10. Устойчивость ограждения обеспечивается бермами

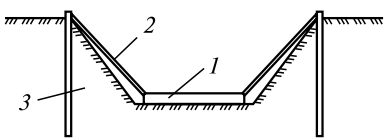

Рис. 2.11. Опирание подкосов на фундаментную плиту:
1 — фундаментная плита; *2* — подкос;
3 — удаляемая берма

После этого бетонируют среднюю часть фундаментной плиты, на которую опирают подкосы (рис. 2.11).

Далее разрабатывают оставшуюся часть грунта (бермы) и затем бетонируют остальную часть фундаментной плиты по контуру сооружения. Подкосы снимают только после устройства перекрытия, воспринимающего распор грунта. Если перекрытие нижнего этажа располагается ниже крепления подкосов к ограждению, то его бетонируют с проемами, через которые проходят подкосы (рис. 2.12).

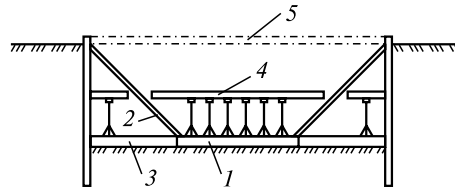

Рис. 2.12. Схема котлована с распорным перекрытием нижнего этажа:
1 — фундаментная плита первой очереди; *2* — подкос; *3* — фундаментная плита второй очереди; *4* — перекрытие нижнего этажа с проемами для подкосов; *5* — расположение перекрытия на отметке 0,00

Грунтовые анкеры имеют широкое применение в строительстве. Их использование при обеспечении устойчивости ограждений котлованов позволяет полностью освободить рабочее пространство от распорок или подкосов (рис. 2.13).

Их используют также для предотвращения всплытия заглубленных сооружений, для крепления скальных откосов, для восприятия выдергивающих усилий в фундаментах сооружений башенного типа и т.п. (рис. 2.14).

Технология устройства грунтовых анкеров достаточно сложна и требует тщательного контроля технологических параметров. Анкера, устраиваемые для постоянного восприятия нагрузок при эксплуатации сооружения, должны иметь надежную антикоррозийную защиту. Возможность устройства анкеров оценивается с учетом стесненности застройки и наличия близко расположенных инженерных коммуникаций. В связи с принятыми ограничениями по расположению анкеров под проезжими частями улиц [5], для крепления вертикальных откосов котлованов все шире применяют временные (извлекаемые) грунтовые анкеры. По высоте количество грунтовых

Рис. 2.13. Два яруса анкерных креплений ограждения из труб с деревянными забирками

анкеров обычно не превышает 2-3 ряда. В зарубежной практике при возведении глубоких подземных сооружений имеются случаи устройства 4–6 рядов анкеров.

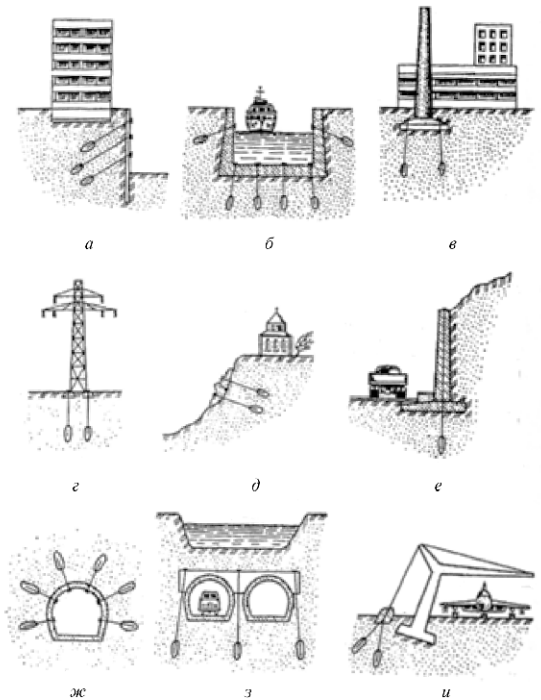

Рис. 2.14. Применение анкерных устройств в различных сооружениях

Заглубленный грунтовый анкер состоит из оголовка, анкерной тяги и анкерной заделки (рис. 2.15).

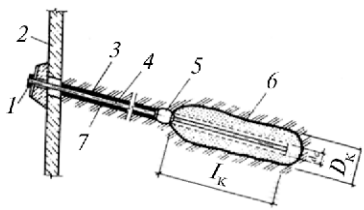

Рис. 2.15. Инъекционный анкер:
1 — головка; *2* — анкеруемая конструкция; *3* — скважина; *4* — анкерная тяга; *5* — пакер; *6* — корень; *7* — состав для защиты тяги от коррозии

Длина анкеров не превышает, как правило, 40 м, а длина анкерной заделки — 5–10 м. Анкерная тяга после натяжения воспринимает усилие 60–80 т. Существует множество технологий и механизмов для устройства анкеров [6; 7; 8]. В Москве широко применяется технология повторной инъекции бетонной смеси в нижнюю часть

скважины после некоторого набора прочности бетоном, инъектированным в скважину при ее устройстве. Анкерная свая (рис. 2.16) по данной технологии изготавливается в следующей последовательности:

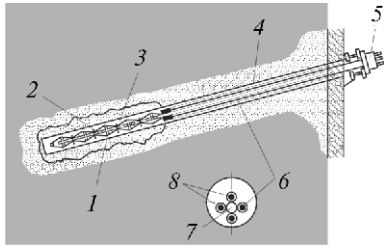

Рис. 2.16. Буроинъекционная анкерная свая, изготовленная с использованием повторной инъекции:
1 — зона 2-й фазы инъецирования;
2 — изливной клапан инъекционной трубки; *3* — замковая часть; *4* — свободная часть; *5* — блокировочный оголовок;
6 — полиэтиленовые трубки, надетые на канаты; *7* — инъекционная трубка;
8 — канаты (пряди) арматурные

– бурение наклонной скважины шнеком (машина С-6) через вертикальное (анкеруемое) ограждение с промывкой глинистым раствором;
– заполнение скважины при достижении ею проектной длины бетонной смесью через полый буровой став, извлеченный из скважины (с вытеснением глинистого раствора);
– опускание в скважину, заполненную бетонной смесью, анкерной тяги с инъекционной трубкой (рис. 2.17);
– после достижения бетоном некоторой прочности (через 1–2 сут) производится повторная инъекция бетонной смеси в нижнюю часть скважины через инъекционную трубку при давлении до 12 МПа. При этом происходит разрыв ствола сваи и образование уширения в нижней части. Инъекционная трубка перекрывается при действии максимального давления после получения проектного отказа;
– натяжение анкерной тяги после набора бетоном проектной прочности.

Аналогичная технология может применяться для устройства буроинъекционных свай при усилении фундаментов или при новом строительстве.

2.3. Способ «стена в грунте»

Сущность способа «стена в грунте» заключается в разработке траншеи (выработки) с вертикальными стенками под защитой глинистого раствора и последующим заполнением траншеи различными материалами. При заполнении железобетоном стена в грунте выполняет роль ограждающей (несущей или самонесущей) кон-

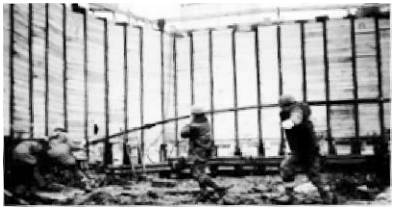

Рис. 2.17. Опускание анкерной тяги в скважину, заполненную бетоном

струкции. При заполнении траншеи противофильтрационными материалами они выполняют роль завесы. При возведении подземных частей зданий стена в грунте применяется в сложных гидрогеологических условиях (высокий уровень грунтовых вод; плотная городская застройка). Современное оборудование позволяет устраивать стены в грунте глубиной до 70 м и шириной от 0,4 до 2,4 м.

Применяют два типа стен в грунте: 1) свайные — образуемые из сплошного ряда касающихся или секущихся буронабивных (или грунтоцементных) свай; 2) траншейные — образуемые сплошной стеной из монолитного или сборно-монолитного железобетона.

Свайные стены в грунте применяют во избежание подвижек грунта под фундаментами близко расположенных зданий, а также при пересечении водоносных горизонтов с возможностью значительной утечки бентонитового раствора. Бурение скважин осуществляют с использованием обсадных труб, извлекаемых в процессе бетонирования скважины методом ВПТ. Буронабивные сваи устраивают в два потока — «через одну» (рис. 2.18).

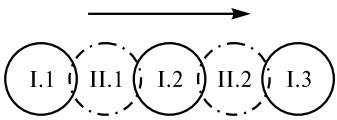

Рис. 2.18. Последовательность устройства стены в грунте методом секущихся свай: I, II — номера потоков; 1, 2, 3 — последовательность устройства буронабивных свай

В первом потоке между соседними сваями оставляют зазоры, равные диаметру свай (касающиеся сваи) или несколько меньше диаметра свай (секущиеся сваи). Второй поток выполняется с отставанием, обеспечивающим незначительный (но необходимый) набор прочности бетоном свай первого потока. Бурение скважин в первом потоке осуществляют по обычной технологии с опережающим задавливанием обсадной трубы, чтобы избежать разуплотнения грунта в зоне примыкания к скважине. Во втором потоке при секущихся сваях бурение вынужденно ведут ниже обсадной трубы с разбуриванием части сечения свай первого потока. При этом несущая способность свай второго потока оказывается несколько ниже.

В последние годы для устройства стен в грунте широко применяется струйная технология [9; 10; 11], позволяющая варьировать конфигурацию сечений и конструктивные схемы (рис. 2.19).

Используемые машины позволяют устраивать грунтоцементные сваи в любых грунтах (рис. 2.20, *а*). Технология устройства сваи показана на рис. 2.20, *б*. Грунтоцементные сваи при необходимости армируют трубами и другими элементами (рис. 2.21) путем погружения арматуры в готовую сваю вдавливанием или вибрацией.

Траншейные стены в грунте применяют двух типов: монолитные и сборно-монолитные.

Первым этапом сооружения стены в грунте является устройство форшахты, которая служит направляющей для землеройной машины и обеспечивает устойчивость стенок в верхней части. Форшахту устраивают, как

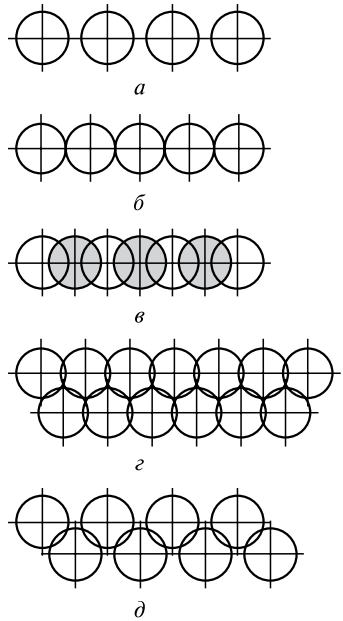

Рис. 2.19. Схемы стен в грунте из грунтоцементных свай:
а — отдельно стоящие сваи; *б* — касающиеся сваи; *в* — секущиеся сваи; *г* — двухрядная конструкция; *д* — расположение свай в шахматном порядке

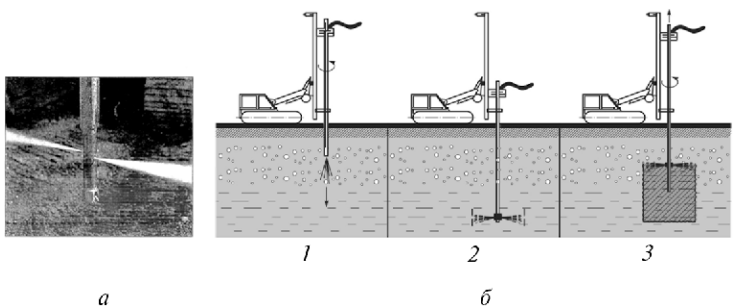

Рис. 2.20. Буровой став с горизонтальными форсунками для подачи цементной суспензии под давлением до 60 МПа (*а*); устройство грунтоцементной сваи (*б*):
1 — бурение скважины диаметром 150 мм с промывкой водой; *2* — подача цементной суспензии; *3* — образование грунтоцементной сваи при поднятии и одновременном вращении бурового става

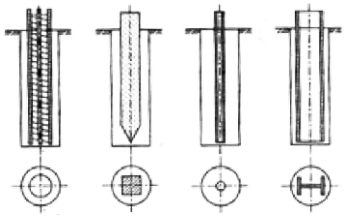

Рис. 2.21. Армирование грунтобетонных свай

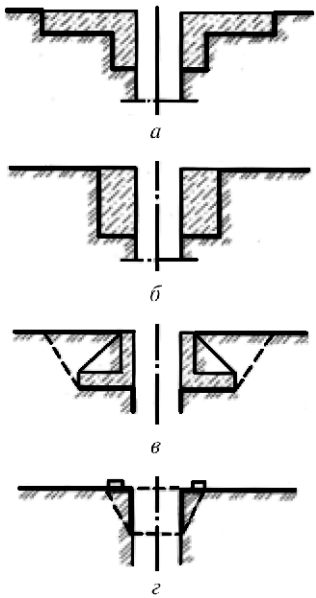

Рис. 2.22. Конструкции воротников форшахты: *а*, *б*, *в* — железобетонные; *г* — металлический

правило, из монолитного железобетона (рис. 2.22) в опалубке, устанавливаемой в предварительно отрытую траншею глубиной 70–80 см.

Ширину форшахты принимают на 10 см больше ширины устраиваемой стены в грунте.

При устройстве монолитных стен отрывку траншеи, как правило, выполняют отдельными захватками с использованием грейферных экскаваторов. Ширину отдельных захваток принимают 5–6 м. Грейфер выполняет отрывку захватки в три проходки в последовательности, указанной на рис. 2.23. Во время отрывки в траншею постоянно подается глинистый (бентонитовый) раствор, верхний уровень которого должен оставаться в пределах глубины форшахты.

После отрывки захватки в нее устанавливают ограничители, опускают арматурный каркас с фиксаторами защитного слоя и затем производят бетонирование методом ВПТ с вытеснением глинистого раствора (рис. 2.24). Отрывку соседней (примыкающей) захватки ведут вплотную к ограничителю, который должен быть надежно закреплен сверху и снизу. Бетонирование захватки с перестановкой примыкающего ограничителя на новую позицию (рис. 2.25) производят при прочности бетона в предыдущей захватке не менее 1,5 МПа. Используется также метод бетонирования захватками «через одну» (рис. 2.26). В этом случае не требуется надежного крепления ограничителей, поскольку захватки второго потока отрывают при значительной прочности бетона (не менее 2,5 МПа) в захватках первого потока. Перед бетонированием промежуточной захватки (во втором потоке) извлекают примыкающие ограничители захваток первого потока.

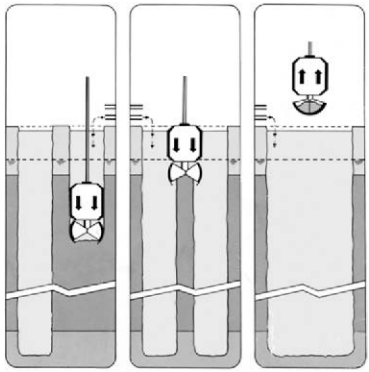

Рис. 2.23. Последовательность отрывки траншеи под одну захватку

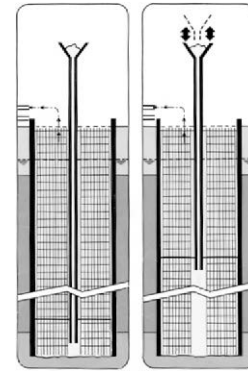

Рис. 2.24. Бетонирование захватки методом ВПТ

При повышенных требованиях к водонепроницаемости стыков используют специально разработанные ограничители с резиновыми вставками (рис. 2.27). При извлечении ограничителя резиновая вставка остается на месте и перекрывает стык при бетонировании примыкающей захватки.

При наличии скальных грунтов на участке устройства стены разработку грунта на полную глубину захватки ведут грунтовыми фрезами (рис. 2.28). В этом случае разрабатываемый грунт перемешивается с глинистым раствором и удаляется из забоя эрлифтом или насосом с одновременной подачей в забой чистого глинистого раствора (промывка).

Для очистки от шлама глинистого раствора с целью его повторного использования применяют вибросита, гидроциклоны и — реже — отстойники. Плотность раствора подбирают из условия обеспечения устойчивости стенок траншеи при разработке грунта. При

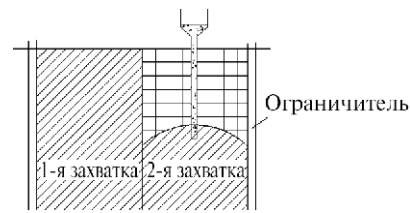

Рис. 2.25. Бетонирование 2-й захватки

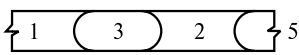

Рис. 2.26. Устройство стены в грунте способом через одну захватку

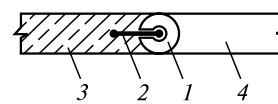

Рис. 2.27. Образование стыка с резиновой вставкой:
1 — ограничитель; *2* — резиновая вставка; *3* — предыдущая захватка; *4* — последующая захватка

Конец ознакомительного фрагмента.
Для приобретения книги перейдите на сайт магазина «Электронный универс»:
e-Univers.ru.