

Устройство фундаментов и возведение тела опор

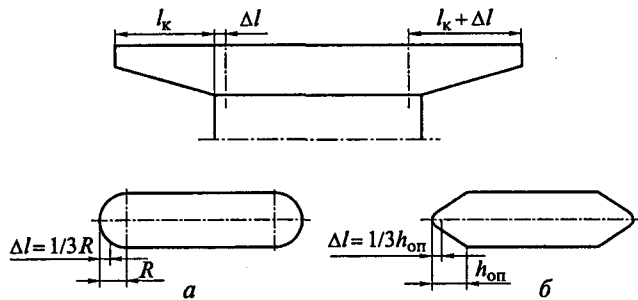


Рис. 20.7. Схемы к расчету консолей ригелей опор:

a — при закругленных гранях тела опоры; *б* — при заостренных гранях опоры

трех местах по длине консоли. Ригели из преднапряженного бетона кроме того должны быть проверены на стадии натяжения по прочности на внецентренное сжатие и трещиностойкость.

Расчеты тела опор по образованию и раскрытию трещин выполняют аналогично расчетам балок. Предельная ширина раскрытия трещин Δ_{cr} для элементов опор мостов должна быть не более 0,2 мм по категории 3б и 0,3 мм — по категории 3в, за исключением стоек опор и свай, для которых $\Delta_{cr} = 0,2$ мм.

Контрольные вопросы

1. Какие виды расчетов необходимо проводить при проектировании опор мостов?
2. Каковы особенности расчета опор в условиях вечномерзлых грунтов?
3. Каким образом определяются нагрузки на отдельный столб многостолбчатой опоры?
4. Как учитывается воздействие временной подвижной нагрузки при расчете устоев?
5. В чем заключается проверка устоя на опрокидывание?
6. При каких условиях происходит сдвиг опоры по круглоцилиндрической поверхности?

21.1. Разбивка осей и контуров фундаментов

Расположение осей опор и контуров их фундаментов должны соответствовать принятым проектным решениям. В этой связи разбивочные работы по закреплению осей опор являются крайне необходимыми для возведения сооружения в целом.

Разбивку осей опор производят на основе знаков геодезической разбивочной основы (ГРО). Создание геодезической разбивочной основы является задачей заказчика строительного объекта. Перед началом работ подрядчиков на объекте ГРО должна быть передана им заказчиком. В современных условиях заказчик поручает техническому надзору выверить имеющуюся ГРО и только после этого передает ее подрядчику. Невыверенная и переданная подрядчику ГРО может вызвать необходимость выполнения дополнительных объемов работ, что в итоге ведет к удорожанию строительства.

Исходные опорные знаки располагают на продольной оси мостового сооружения. В случае строительства протяженных мостовых конструкций (более 300 м) производят закрепление опорных знаков на дублирующей оси параллельной основной. При этом закрепление опорных знаков выполняют так, чтобы они сохранялись на весь период строительства.

Исходными данными для разбивочных работ являются координаты и высотные отметки ГРО и вычисленные координаты элементов моста или другого транспортного сооружения в той же системе. Разбивку осей повторяют на всех этапах возведения опоры начиная от устройства котлованов до монтажа или бетонирования верха опор. Точность разбивок зависит от характера выполняемых работ. Например, при устройстве фундаментов среднеквадратичное отклонение не должно превышать 50 мм, а при назначении центров надфундаментной части — не более 12 мм.

Для разбивочных работ в строительстве используют геодезические приборы: теодолиты, дальномеры, а также лазерное оборудование.

Наиболее просто разбивку осей и контуров фундаментов производят для мостовых сооружений малой длины (до 30...50 м). Для этого обычно используют исходные осевые знаки или в отдель-

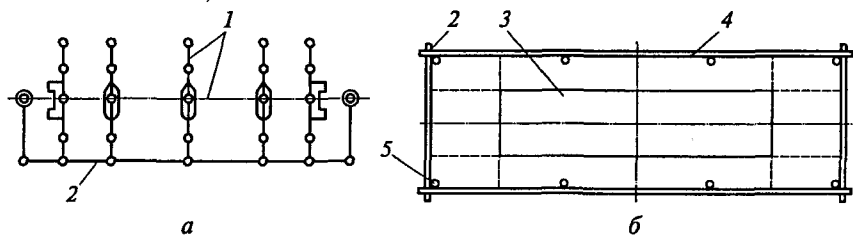


Рис. 21.1. Схемы к разбивке осей и контуров фундаментов:

a — разбивка осей опор и фундаментов; *б* — разбивка контура фундаментов; 1 — ось сооружения и фундамента; 2 — параллельная ось; 3 — контур фундамента; 4 — обноски; 5 — столбики закрепления обноски

ных случаях — знаки параллельной оси (рис. 21.1). Оси фундаментов опор восстанавливают вдоль осевой линии сооружения с использованием светодальномеров (в простейших случаях — с использованием стальных рулеток).

От центра фундамента разбивают ось будущей опоры, которая может располагаться перпендикулярно или косо в зависимости от расположения мостового сооружения в плане. Контур фундамента закрепляют по обе стороны от оси колышками или другими надежными знаками. В целях облегчения последующей детальной разбивки контура фундамента и тела опоры устраивают так называемую обноску из пиломатериалов, на которой фиксируют оси и грани тела опоры.

Для мостовых конструкций большой длины при разбивке осей и контуров фундаментов используют знаки ГРО. При вычислении координат применяют дирекционный угол оси сооружения и координаты исходных осевых знаков. При расположении сооружения на кривых используют дирекционные углы направлений тангенсов и центры кривых.

При применении лазерных приборов разбивку осей опор мостов и их фундаментов производят методом прямой засечки от знаков триангуляции (рис. 21.2, *a*). Если сооружение располагается на суходоле (путепроводы, эстакады), то разбивку осей можно производить от знаков ГРО методами инженерной геодезии (рис. 21.2, *б*).

Зная координаты искомой точки *A* и знака *II* (см. рис. 21.2, *б*), определяют приращение между ними:

$$x - X = \Delta_x; y - Y = \Delta_y. \quad (21.1)$$

Тангенс румба искомого направления

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta_y / \Delta_x. \quad (21.2)$$

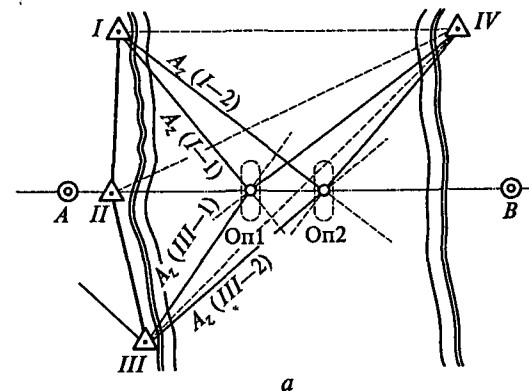


Рис. 21.2. Схемы к разбивке опор и фундаментов лазерными приборами: *a* — прямой угловой засечкой центров опор или фундаментов в русле; *б* — полярным способом

Дирекционный угол направления зависит от знаков приращения координат и определяется по следующей формуле (см. рис. 21.2, *б*):

$$A_z(II - A) = 360^\circ - \alpha. \quad (21.3)$$

Расстояние от искомой точки

$$l = \Delta_y \operatorname{cosec} \alpha = \Delta_x \sec \alpha. \quad (21.4)$$

Разбивку каждой искомой точки производят с двух или трех знаков, а положение точки определяют как среднее из отдельных разбивок.

Параллельную ось восстанавливают от любого опорного знака, вычисляя предварительно пикетаж знака и расстояние от него до оси моста по формулам:

$$\begin{aligned} l &= \Delta_x \sin \alpha - \Delta_y \cos \alpha; \\ n &= \Delta_x \cos \alpha + \Delta_y \sin \alpha, \end{aligned} \quad (21.5)$$

где l — расстояние между параллельной осью и осью моста; Δ_x и Δ_y — приращения координат между исходной точкой на оси моста и опорным знаком; α — дирекционный угол оси моста; n — разность пикетажных значений исходной точки и знака.

Разбивку центров опор и фундаментов в акваториях приходится производить повторно на различных этапах строительства. При этом применяют метод прямой засечки от знаков триангуляции или выносят и закрепляют на берегах створные линии, фиксирующие грани опор, фундаментов или ось сооружения.

При разбивочных работах нужно учитывать неточности изготовления пролетных строений, особенно сборной конструкции заводского изготовления. В этой связи при подготовке исходных данных для разбивки расчетные значения длин пролетных строений необходимо принимать с учетом среднегодовых температур материалов, а не равными проектным размерам. Неучет указанного фактора может привести к ошибкам в определении центров опор и их фундаментов, превышающим нормативные значения.

Высотные разбивки ведут от высотной опорной сети. Проектные отметки подошвы или обреза фундаментов переносят в натуру с помощью нивелиров, устанавливаемых в наиболее удобных местах для высотного нивелирования. Высотные разбивки наиболее удобно выполнять лазерными нивелирами. Горизонтальное проложение линии или плоскости выражается видимым лучом и его пятнами на поверхности. Точность передачи достигает до 3 мм при нивелировании на расстоянии до 300 м.

21.2. Сооружение фундаментов мелкого заложения

Фундаменты опор, расположенных на суходолах или в поймах рек, а также на мелководье с прочными грунтами, часто устраивают в открытых котлованах на естественном основании. При отсутствии грунтовых вод в пределах глубины фундамента котлован может быть устроен без крепления с естественными откосами. В случае водоносных грунтов необходимо предусматривать искусственное водопонижение или специальное ограждение котлована. В общем случае к фундаментам мелкого заложения относят такие, глубина которых не превышает 6...7 м.

При глубине котлованов без ограждений до 5 м крутизну откосов назначают в зависимости от вида грунтов и естественной влажности. При более глубоких котлованах крутизну назначают на основе расчетов его устойчивости. В переувлажненных суглинистых и глинистых грунтах крутизна откосов не должна превышать 1 : 1, а в лессовидных и супесчаных сильно увлажненных грунтах требуется устройство ограждений.

Открытые котлованы без ограждений отрывают бульдозерами, скреперами, драглайнами и экскаваторами. Выбор способа разработки зависит от вида грунта, формы котлована, объемов работ и технических возможностей. В случае нескальных грунтов бульдозерами и скреперами обычно отрывают котлованы под фундаменты широких мостовых сооружений, а в остальных случаях применяют драглайны или экскаваторы.

В скальных грунтах разработку котлованов под фундаменты мелкого заложения ведут буровзрывным способом.

При возведении фундаментов опор внутри города необходимо предусматривать поверхностную планировку и защиту котлованов от притока воды, открытый водоотлив и водопонижение иглофильтрами, подсыпку поверхностного слоя песчано-гравийной смесью с последующим уплотнением для обеспечения движения транспортных средств во время строительства.

В качестве ограждающих устройств котлованов в современном строительстве используют закладное крепление, стальные шпунты и анкерные железобетонные стены.

Закладное крепление является наиболее простым и применяется при ширине котлована до 4...5 м. Оно выполняется путем забивки стоек по периметру котлована, за которые устанавливают доски или железобетонные плиты. Стойки крепления заглубляют ниже отметки дна котлована не менее чем на 0,5...1,0 м.

Наиболее распространены в строительстве шпунтовые ограждения, обеспечивающие не только крепление стенок котлована, но и защищающие его от притока грунтовых вод (рис. 21.3).

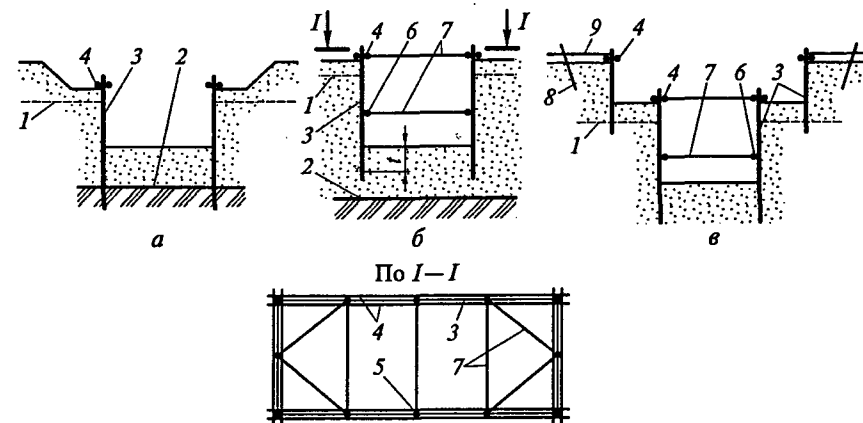


Рис. 21.3. Схемы шпунтовых ограждений:

a — без креплений; б — с распорным креплением; в — с анкерным креплением; I—I — уровень грунтовых вод; 2 — водоупорный грунт; 3 — шпунтовые стены; 4 — направляющие схватки; 5 — маячные сваи; 6 — обвязка; 7 — распорки; 8 — анкерные сваи; 9 — схватки

Шпунтовые ограждения состоят из шпунтин, погружаемых в грунт до разработки котлована, маячных свай и направляющих схваток. Глубина погружения шпунта определяется грунтовыми условиями. Если водоупор расположен неглубоко по отношению к дну котлована, то шпунт погружают немного ниже этого слоя (рис. 21.3, *а*). При расположении водоупора значительно ниже дна котлована шпунт погружают на глубину, при которой не происходит вымывания грунта при откачке воды из котлована (рис. 21.3, *б*). В обоих случаях шпунт должен быть заглублен ниже дна котлована на величину t , обеспечивающую его прочность и устойчивость, но не менее 1 м при связных, крупнопесчаных и гравелистых грунтах и 2 м при мелкопесчаных и плавунных грунтах.

В глубоких котлованах иногда применяют шпунтовые ограждения в двух уровнях (рис. 21.3, *в*).

В качестве стальных шпунтов в отечественной практике применяют стальные шпунтины плоского, корытного и зетового профилей длиной от 8 до 24 м, имеющих по концам специальные

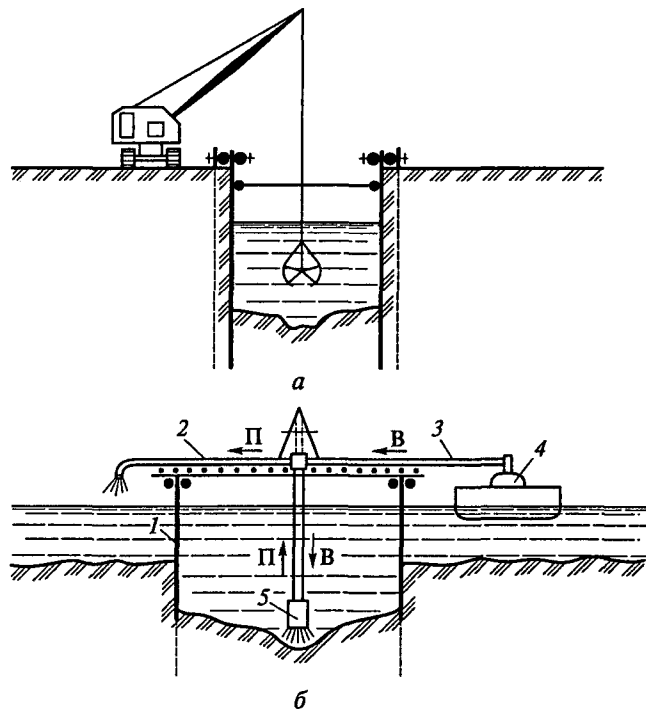


Рис. 21.4. Способы разработки котлована без откачки воды:

а — грейфером; *б* — эрлифтом; 1 — ограждение котлована; 2 — пульповоды; 3 — воздухопроводные трубы; 4 — компрессор на понтоне; 5 — эрлифт; В — воздух; П — пульпа

замки, обеспечивающие соединение шпунтин между собой и водонепроницаемость ограждения. Шпунт корытного профиля жестче и применяется при глубоких котлованах и больших изгибающих моментах от давлений воды и грунта.

Разработку грунта в котлованах с водой производят кранами с навесным рабочим органом в виде грейфера или эрлифтами (рис. 21.4).

Анкерные железобетонные стены применяют при возведении фундаментов подземных гаражей и многоэтажных автостоянок. В конструктивном отношении такой тип крепления котлованов представляет собой стену в грунте. Технология возведения стен в грунте подробно представлена в разд. VIII «Автомобильные и городские тоннели».

Бетонирование фундаментов мелкого заложения осуществляют в опалубке. Опалубку выполняют из стальных или дощатых щитов. Стальные щиты обычно являются инвентарными конструкциями, которые используются многократно (рис. 21.5).

Предварительно по дну котлована устраивают слой подготовки из щебня, гравия, крупнозернистого песка или песчано-гравийной смеси. Назначение подготовки — укрепить верхний слой основания и предотвратить вытекание бетонной смеси из нижнего слоя бетона фундамента. Подготовку толщиной 10... 15 см укладывают ровным слоем и уплотняют.

Свежая кладка легко размывается водой, и поэтому при бетонировании фундамента воду из котлована постоянно выкачивают. После возведения фундамента шпунт выдергивают, а оставшиеся пазухи между стенками котлована и гранями фундамента заполняют грунтом или камнем.

Если бетонирование фундамента ведут в шпунтовом ограждении без откачки воды, то вначале укладывают слой бетона подводным способом. После затвердения бетона производят откачку воды, после чего бетонирование остальной части фундамента ведут насухо. Схема подводного бетонирования фундамента приведена на рис. 21.6. При этом способе трубы, опущенные в котлован, должны быть постоянно на всю высоту заполнены бетонной смесью, а нижнее отверстие должно находиться ниже верхней поверхности укладываемой смеси не менее чем на 1 м. При данном

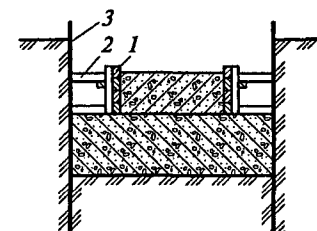


Рис. 21.5. Возведение фундамента мелкого заложения:

1 — щит из досок; 2 — распорка; 3 — ограждение котлована

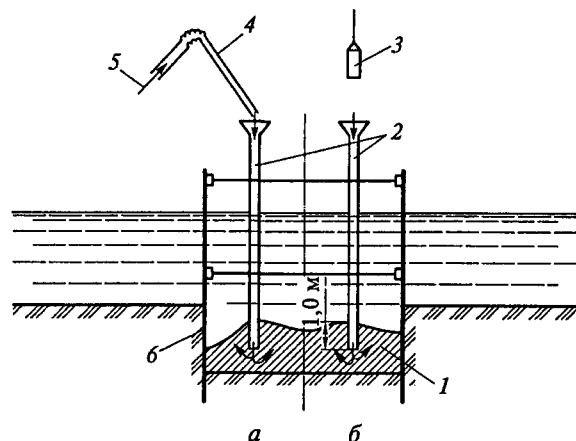


Рис. 21.6. Схема подводного бетонирования методом вертикально перемещающихся труб:

1 — подводный бетон; 2 — бетонолитные трубы с приемной воронкой; 3 — бадья с бетонной смесью; 4 — бетоновод; 5 — направление движения бетонной смеси; б — крепление котлована

способе бетонирования консистенция бетонной смеси должна быть пластичной с осадкой конуса 14...16 см. Укладывают смесь без перерывов с интенсивностью 0,3...0,4 м³/ч на 1 м².

Более 50 % территории России занимают вечномерзлые грунты, поэтому вопросы проектирования и строительства искусственных сооружений на них представляются очень важными. К таким грунтам и породам относят те, которые имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат замерзшую воду. Механические свойства мерзлых грунтов зависят от количества в них незамерзшей воды. При строительстве фундаментов в условиях мерзлых грунтов требуется учет влияния на устойчивость и эксплуатационную надежность физико-механических процессов, происходящих в слоях сезонного промерзания-оттаивания и вечномерзлого грунта. Промерзание в пределах деятельного слоя влажных пылевато-глинистых грунтов, пылеватых и мелких песков, как правило, сопровождается морозным пучением. Взаимодействие грунта, испытывающего морозное пучение, с фундаментом приводит к воздействию на него сил морозного пучения: нормальных и касательных.

При строительстве мостовых сооружений в условиях вечной мерзлоты котлованы под фундаменты опор разрабатывают после предварительного оттаивания или рыхления их взрывным способом. Для оттаивания грунтов используют пожоги, паропрогрев и электропрогрев. При взрывном способе разрыхления на площади будущего котлована в шахматном порядке пробуривают мелкие

скважины, в которые опускают взрывчатое вещество. Все заряды подрывают одновременно.

Мерзлые грунты разрабатывают без крепления, если котлован устраивается в зимний период. В летний период стенки котлованов в пределах деятельного слоя необходимо раскреплять, а в пределах вечной мерзлоты — раскреплять и защищать от оттаивания засыпкой влажным песком, шлаком или торфом в специальной опалубке. Бетонирование или монтаж сборных фундаментов производят сразу после разработки котлована, не допуская оттаивания котлована.

В период выполнения работ по устройству фундаментов на поверхности мерзлого грунта необходимо устроить канавы для отвода талых грунтовых вод.

21.3. Погружение свай и оболочек

На практике существуют несколько способов погружения свай и оболочек в основание фундаментов опор. Наиболее употребительны забивка и вибропогружение. Забивка свай производится молотами, смонтированными на копровых установках. Молоты подразделяются на следующие виды:

- подвесные (падающие);
- паровоздушные одиночного и двойного действия;
- дизельные.

Ранее применявшиеся малопроизводительные подвесные молоты представляют собой тяжелую чугунную отливку, имеющую сверху петлю для подвески к тросу и направляющую для движения молота вдоль стрелы копра. Сила удара создается падением молота с высоты направляющего устройства.

Более производительны паровоздушные молоты, приводящиеся в движение сжатым воздухом или паром. Паровоздушные молоты одиночного действия имеют вес ударной части от 1 до 6 т. Полный вес молота составляет около 9 т. Число ударов в минуту доходит до 30. Молоты одиночного действия применяют для забивки свай в тяжелые грунты. Паровоздушные молоты двойного действия имеют вес ударной части от 100 до 1500 кг. Давление пара или воздуха в паровоздушных молотах составляет 6...8 атм.

Достоинство молотов двойного действия — большое число ударов в минуту, что препятствует засасыванию свай в вязкие грунты. Недостаток паровоздушных молотов — необходимость в паровом котле или компрессоре, что создает громоздкость сваебойной установки.

В современной практике применяют в основном дизель-молоты, работающие по принципу двухтактного двигателя и приводящиеся в действие энергией взрыва горючего, взбрызгиваемого в

цилиндр. Существуют две разновидности дизель-молотов: штанговые и трубчатые. В штанговых молотах ударной частью служит подвижный цилиндр, а в трубчатых молотах — поршень. Схемы и характеристики применяемых на практике дизель-молотов можно найти в справочной литературе.

Энергия удара трубчатого молота больше, чем штангового, при равном весе ударных частей, и поэтому трубчатый молот может забивать более тяжелые сваи. Дизель-молоты отечественного производства имеют вес ударной части от 450 до 3 500 кг.

Достоинства дизельных молотов состоят в следующем: экономичность за счет применения дешевых сортов горючего, компактность и транспортабельность из-за отсутствия громоздких силовых установок, высокая производительность и быстрое приведение в работу.

Необходимая энергия удара молота может быть приблизительно определена по величине несущей способности сваи:

$$W \geq 25 P_{\text{lim}}; \quad (21.6)$$

$$P_{\text{lim}} = P_0 / (k m_2),$$

где W — энергия удара молота, принимаемая по таблицам технических характеристик свайных дизель-молотов, кг·м; P_{lim} — предельная несущая способность сваи; P_0 — расчетная несущая способность сваи по грунту, т; k — коэффициент однородности, равный 0,7; m_2 — коэффициент условий работы.

Подобранный молот необходимо проверить на соответствие его весу забиваемой сваи по формуле

$$K = (Q + q) / W, \quad (21.7)$$

где K — коэффициент применимости молота; Q — полный вес молота, кг; q — вес сваи с наголовником и надбавком, кг.

Величина коэффициента K не должна превышать 5 при использовании молотов двойного действия и трубчатых дизельных и 6 при использовании молотов одиночного действия и штанговых дизельных.

Для погружения стального шпунта, свай из двутавров и стальных труб, а также железобетонных свай используют вибромолоты.

В вибромолоте вибратор в виде закрепленных в литом корпусе двух электродвигателей с дебалансами на осях опирается через пружины на наголовник, жестко прикрепляемый к свае. При вращении дебалансов возбуждаются колебания вибратора, в ходе которых его литой корпус ударяет по наковальне, жестко соединенной с наголовником. Таким образом, свая подвергается как вибрационному, так и ударному воздействиям.

Если наковальню, жестко соединенную с закрепленным на свае наголовником, расположить над корпусом вибратора, то молот

будет выдергивать сваю. Такие вибромолоты называются шпунто-выдергивателями.

При затруднении погружения свай применяют подмыв струей воды. Сущность подмыва заключается в том, что к острию сваи при помощи трубок подают под большим давлением струю воды, размывающую грунт вокруг сваи. В результате свая, не встречая сопротивления, погружается значительно легче. Для того чтобы надежно обеспечит несущую способность сваи, погружение с подмывом заканчивают, не доходя 1...2 м до проектной отметки, после чего сваю добивают без подмыва.

Оборудование для подмыва состоит из насоса, напорного водопровода и подмывных трубок с наконечниками (рис. 21.7, а). Подмывные трубки располагают симметрично по граням сваи, прикрепляя их к свае хомутами или скобами (рис. 21.7, б).

Ориентировочно при подборе оборудования для подмыва можно пользоваться данными табл. 21.1.

В мостостроительных организациях находят применение копровые установки сборно-разборной конструкции, универсальные копры и навесное копровое оборудование к самоходным установкам на гусеничном ходу или пневмоколесах.

Простейшими сборно-разборными копрами погружают вертикальные сваи длиной до 12 м. Их используют, как правило, вместе с легкими и средними дизель-молотами (рис. 21.8, а).

В универсальных копрах платформа может поворачиваться относительно вертикальной оси, а стрела наклоняться вперед и назад. Универсальные копры используют с самыми тяжелыми ди-

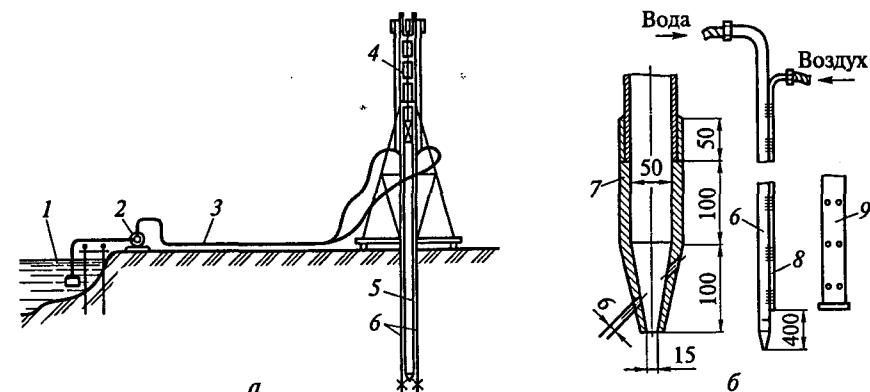


Рис. 21.7. Схемы (а, б) подмыва свай:

1 — водоем; 2 — насос; 3 — водонапорные трубы; 4 — копер; 5 — свая; 6 — подмывные трубки; 7 — наконечник подмывной трубы; 8 — воздуховодная труба; 9 — концевая часть воздуховода

Таблица 21.1

Необходимые данные для подбора оборудования для подмыва

Грунт	Глубина погружения сваи в грунт, м	Необходимый напор у наконечника, атм.	Расход воды на сваю, л/мин
Мелкий песок	5...10	2,5...5,0	300...400
Супесь, суглинок	5...10	4...7	400...800
Среднезернистые пески	5...10	5...8	600...1000
Крупнозернистые пески, гравий	5...10	7...12	800...1500

зельными и паровоздушными молотами для погружения наиболее длинных и массивных свай.

Наиболее производительным и совершенным является навесное копровое оборудование на современных транспортных средствах. В состав такого оборудования входят направляющая стрела и телескопическая распорка, обеспечивающая заданное наклонное или вертикальное положение направляющей стрелы (рис. 21.8, б).

Каркасы (рис. 21.8, в), применяемые для погружения свай и оболочек, представляют собой временные обустройства, в которых предусмотрены зафиксированные отверстия, соответствующие проектному положению свай в ростверке. Каркасы собирают на болтах из стального профильного проката. Чаще всего каркасы применяют при глубине воды более 3...4 м и закрепляют на месте с помощью маячных свай, устанавливаемых в направляющие отверстия каркаса.

Кондукторами называют бетонные и железобетонные конструкции, в которых устроены каналы или ячейки, обеспечивающие заданные положение и направление свай или оболочек при погружении (рис. 21.8, г). В качестве кондукторов обычно используют сборные конструкции плит ростверков сооружаемых фундаментов.

При проведении свайных работ необходимо соблюдать определенную последовательность их забивки. На рис. 21.9 показана последовательность забивки свай при различной форме свайного поля. В узких фундаментах используется синусоидальная траектория забивки (рис. 21.9, а), в близких к квадратным — спиральная от периферии к центру (рис. 21.9, б). При связных грунтах целесообразна секционная последовательность забивки свай (рис. 21.9, в). В этом случае сначала погружают сваи в отдельных рядах, обеспечивающих деление ростверка на секции, а затем погружают сваи в рядовой последовательности. Указанная технология позволяет

избежать уплотнения грунта в средней части свайного поля и тем самым обеспечивает приблизительно равные условия забивки всех свай.

Вибропогружатели используют для погружения свай и оболочек в несвязные грунты. В связных грунтах вибропогружатели неэффективны. Сущность вибрационного способа погружения свай

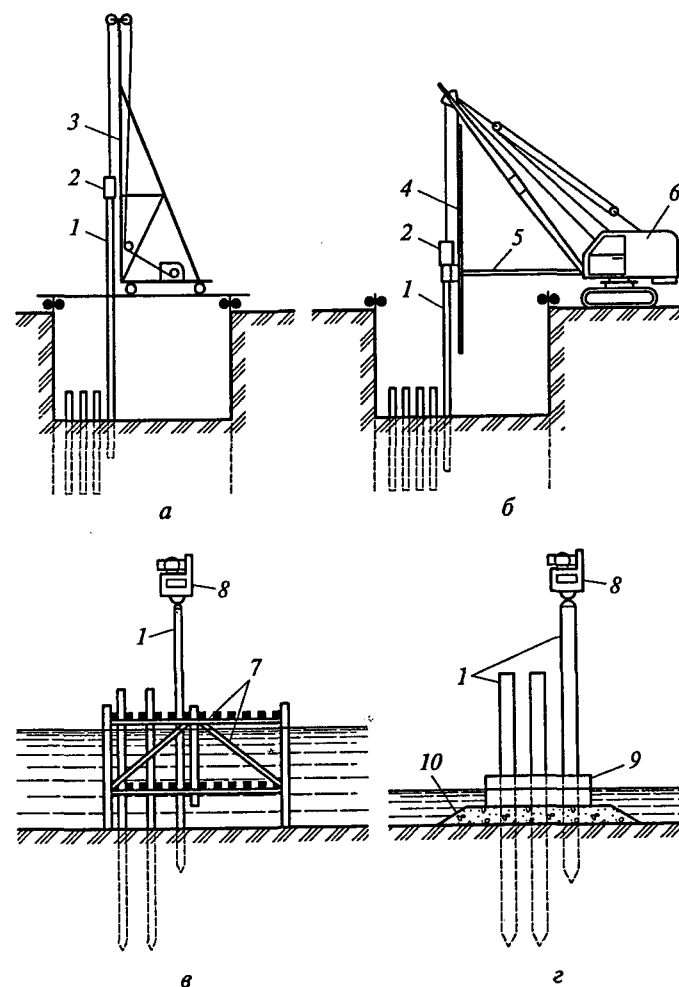


Рис. 21.8. Виды устройств для погружения свай и оболочек:

а — простейший копер; б — копровое оборудование на самоходном транспортном средстве; в — направляющий каркас для погружения свай; г — кондуктор-ростверк для погружения оболочек; 1 — сваи; 2 — молот; 3 — копер; 4 — направляющая стрела; 5 — распорка; 6 — транспортное средство на гусеничном ходу; 7 — каркас; 8 — вибропогружатель; 9 — кондуктор-ростверк; 10 — подсыпка

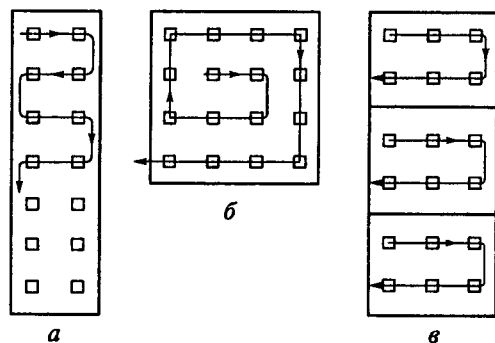


Рис. 21.9. Последовательность (а—в) погружения отдельных свай

заключается в том, что с помощью вибраций, сообщаемых свае и окружающему грунту, значительно уменьшаются силы трения, в результате чего свая легче погружается в толщу грунта.

Для погружения железобетонных свай применяют вибропогружатели с частотой 400...600 колебаний в 1 мин и возмущающей силой 20...30 т. Легкие сваи и шпунты целесообразно погружать вибропогружателями с более высокой частотой и меньшей возмущающей силой.

При погружении центрифугированных железобетонных оболочек вибропогружатель жестко закрепляют на оболочке болтами. При опускании оболочки в слабосвязных и песчаных грунтах для ускорения работ применяют, как и для свай, подмыв.

По мере погружения оболочки из внутренней полости извлекают грунт. Песчаные, супесчаные и размываемые глинистые грунты можно разрабатывать напором воды, выбрасывая их в виде пульпы эрлифтом или гидроэлеватором. Связные грунты, а также грунты с включениями в виде валунов размером до 25 см в вертикальных оболочках разрабатывают грейферами. Если грейфер не размещается внутри оболочки, а также в случаях грунтов со скальными включениями и плотных связных с коэффициентом консистенции $B < 0$, то применяют специальное оборудование для ударно-канатного или вращательного бурения, которое монтируется на транспортных средствах. После удаления грунта внутреннюю полость оболочки заполняют бетонной смесью. При сооружении фундаментов в воде бетонирование внутренних полостей ведут методом подводного бетонирования.

21.4. Сооружение свай и столбов в грунте

В современном мостостроении широкое распространение имеют буронабивные (или буровые) сваи и столбы. При их устрой-

стве минимизируется динамическое воздействие технологического оборудования, и по этой причине такие конструкции основной опор могут применяться в условиях тесной городской застройки, когда даже незначительные динамические воздействия могут привести к повреждению рядом расположенных зданий и сооружений.

Для устройства в грунте сваи или столба разбуривают скважину, в которую устанавливают арматурный каркас сваи или столба, после чего производят бетонирование. При этом условно к буронабивным сваям относят те, у которых диаметр не превышает 1 м, а к буронабивным столбам — при диаметре 1 м и более. Современные бурильные машины и оборудование позволяют быстро и экономично устраивать глубокие скважины в разнообразных геологических условиях и разбуривать в основаниях скважин уширения для увеличения несущей способности сооружаемых свай или столбов.

Различают ударное и вращательное бурение. При ударном бурении и грунт в забое скважины разрыхляют или раздробляют ударами рабочего органа, который сбрасывают с некоторой высоты. В качестве рабочего органа при малосвязных грунтах используют бур-грейфер, которым и рыхлят грунт, и выбирают его из скважины. Твердые грунты разрыхляют или раздробляют долотом и извлекают из скважины эрлифтом, гидроэлеватором, грейфером или желонкой.

Скальные грунты разбуривают трех- или четырехперыми долотами. При этом долото поднимают и сбрасывают на крученом тросе с высоты около 1 м. В момент удара долота о грунт трос ослабевает и упруго скручивается. Натягиваясь и раскручиваясь при подъеме долота, трос поворачивает его на небольшой угол в плане. Благодаря этому долото каждый раз разрыхляет новый участок забоя, что и обеспечивает равномерное по его площади разрушение грунта.

Если в процессе бурения дисперсных грунтов на пути бура-грейфера встречается валун, то его сдвигают в сторону с помощью конического долота. Для крепления стенок скважины обычно применяют обсадные трубы, погружаемые в скважину по мере углубления и извлекаемые после заполнения скважины бетонной смесью.

Современные бурильные установки виброударного действия с буром-грейфером монтируются на гусеничном ходу, они снабжены инвентарными обсадными трубами. Особенностью таких установок является применение бура-грейфера специальной конструкции, уширителя для создания утолщений по концам свай и столбов и механизма погружения обсадных труб, снабженного гидравлическими домкратами поступательного и возвратно-вращательного действия.

Вращательное бурение производят различными видами роторных буров или турбобурами, расположенных на гусеничном ходу. На рабочие органы бура вращение передается от ротора, обычно расположенного на поверхности, через жесткую штангу или колонну буровых труб. Применяются ковшовые и шнековые буры, которые не только режут и рыхлят грунт, но и выбирают его из скважины.

Устойчивость грунта на стенах скважин обеспечивают как обсадными трубами, так и избыточным гидростатическим давлением, создаваемым внутри скважины путем заполнения ее водой или глинистым раствором.

При роторном бурении приводная штанга обеспечивает достаточную прямолинейность скважины, а вращающийся рабочий орган: ковшовый бур, шнек или шарошечное долото — требуемую форму и размер ее поперечного сечения. Поэтому в данном случае можно обходиться без обсадных труб, если устойчивость стен скважины обеспечивается гидростатическим давлением воды или глинистого раствора. В плотных и средней плотности сухих или влажных глинистых грунтах допускается бурение скважин без крепления стен. При устройстве скважин вблизи существующих сооружений в напластованиях низкопрочных оплывающих грунтов применение обсадных труб обязательно.

Часто обсадные трубы применяют для разработки только верхнего небольшого участка скважины в пределах водонасыщенных неустойчивых грунтов, а далее бурение ведут, используя для предотвращения оползания грунта давление глинистого раствора или воды. Такие укороченные обсадные трубы называются патрубками.

На местности, покрытой водой, используют патрубки, необходимые для формирования стволов свай и столбов в воде. В качестве патрубков применяют стальные трубы или железобетонные оболочки. Стальные трубы обычно используют многократно, а железобетонные оболочки оставляют в составе изготавливаемой конструкции. Сваи и столбы, изготовленные с применением несъемных обсадных труб, называются буро-обсадными.

Современные буровые установки имеют механизм для погружения и извлечения обсадных труб и сменное рабочее оборудование, позволяющее вести как ударное, так и вращательное бурение. Диаметр устраиваемых буронабивных столбов достигает 2 м. Наиболее часто в практике строительства применяют буронабивные сваи диаметром 0,6 и 0,8 м, буронабивные столбы диаметром 1,2 и 1,5 м. Глубина погружения буронабивных свай и столбов достигает до 30 м и более.

Для устройства уширений по концам свай чаще всего применяют ромбовидный уширитель, который раскрывается под действием веса буровой штанги и закрывается при подъеме штанги

под действием собственного веса и веса ковша с разбуренным грунтом. Диаметр уширенной части составляет до 3,5 м.

Применение шнекового оборудования позволяет непрерывно извлекать разрыхленный грунт из скважин. Технологическая схема устройства буронабивного столба при бурении скважин шнеком представлена на рис. 21.10. Вначале производится центровка и установка шнека в вертикальное положение (рис. 21.10, а). Далее осуществляется бурение до проектной отметки (рис. 21.10, б). После этого начинается извлечение шнека с одновременным заполнением скважины пластичной бетонной смесью (рис. 21.10, в). Наиболее эффективно заполнение скважины можно выполнять с применением бетононасоса по бетоноводным трубам. После полного извлечения шнека из скважины и окончания заполнения ее бетонной смесью (рис. 21.10, г) производятся зачистка верха скважины и удаление извлеченного из скважины разрыхленного грунта (рис. 21.10, д). Последним этапом является погружение с помощью вибропогружателя арматурного каркаса в незатвердевшую бетонную смесь скважины (рис. 21.10, е).

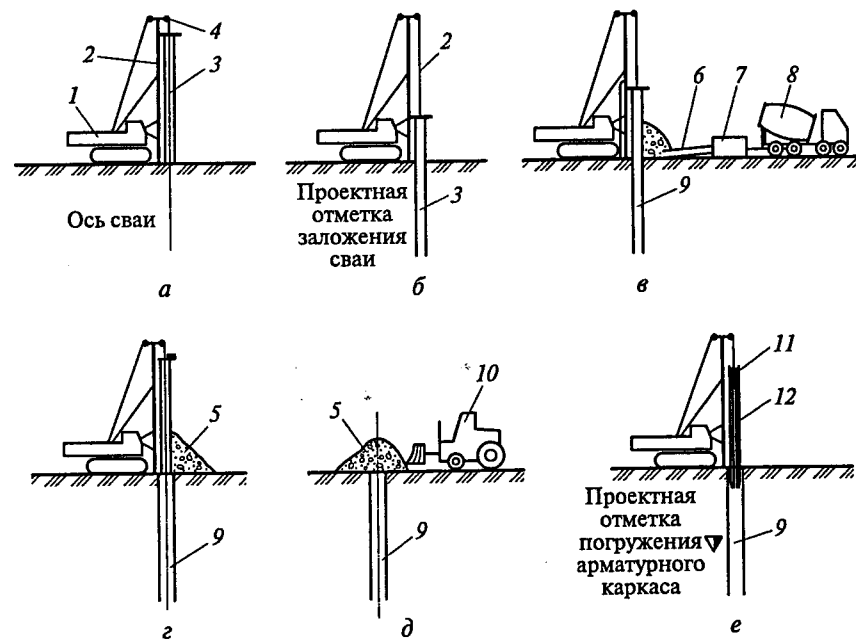


Рис. 21.10. Технология устройства буронабивных столбов с использованием шнекового оборудования:

1 — буровая машина на гусеничном ходу; 2 — направляющая мачта; 3 — непрерывный шнек; 4 — лебедка; 5 — извлеченный из скважины грунт; 6 — бетоноводные трубы; 7 — бетононасос; 8 — бетоновоз; 9 — подвижная бетонная смесь; 10 — погрузчик; 11 — вибропогружатель; 12 — арматурный каркас

В настоящее время разрабатывается оборудование для более экономичного колонкового бурения, при котором разбуривается кольцевая выточка по периметру скважины, после чего отделяется и извлекается kern неразрушенной скалы.

После бурения скважины тщательно очищают от наплывшего грунта и шлама. Размеры скважин, пробуренных без обсадных труб, проверяют специальными мерниками. Затем производят установку арматурного каркаса и укладку бетонной смеси.

В условиях вечной мерзлоты методы возведения оснований из монолитных столбов и свай, представленные ранее, малопригодны из-за низких температур, поэтому применяют столбы сборной конструкции, которые устанавливают в заранее пробуренные скважины. Основной принцип возведения столбчатых оснований опор состоит в предотвращении деградации мерзлого грунта. В этой связи большое значение имеет сохранение растительного покрова (мха, торфа, деревьев и кустарников). При бурении скважин должен быть обеспечен такой температурный режим, при котором не происходит оттаивания грунта стенок скважины. Наиболее просто этот принцип реализуется при скальных грунтах.

Существует несколько способов устройства свайных или столбчатых оснований в вечномерзлых грунтах:

- предварительно пробуривают скважину с поперечными размерами, превышающими размеры столба (свай), заполняют скважину грунтовым раствором и затем погружают столб, вдавливая его в скважину с заполнением, обеспечивая вмораживание столба в грунт;
- после пробуривания скважины погружают столб (сваю) и затем имеющиеся пазухи заполняют грунтом или песчано-цементной смесью;
- погружают столб (сваю) в предварительно оттаянный грунт с последующим его вмораживанием.

Для восстановления природной температуры вечномерзлых грунтов применяют различные способы. Один из таких способов предусматривает применение установки, работающей по принципу циркуляции незамерзающей жидкости (например, керосина) по петлевидному трубопроводу, погруженному в грунт.

21.5. Устройство плиты свайного ростверка

Котлован для заглубляемой в грунт плиты свайного ростверка, как правило, разрабатывают до погружения свай. Методы разработки грунта, конструкции креплений стен котлована и ограждений его от воды принимают в зависимости от местных условий точно так же, как и при сооружении фундаментов мелкого заложения (см. подразд. 21.2).

При образовании фундаментов из нескольких свай, оболочек или столбов приходится устраивать объединяющую их конструктивную часть опоры — плиту ростверка. Эта необходимость отпадает при устройстве безростверковых опор, образующих тело и фундамент из отдельных столбов.

В практике фундаментостроения применяются монолитные и сборные железобетонные ростверки. При устройстве монолитных ростверков используют различные типы инвентарной опалубки. В опалубку устанавливают арматуру и укладывают бетонную смесь, которую затем уплотняют глубинными вибраторами. После приобретения бетоном требуемой прочности опалубку демонтируют для повторного применения. При сложной форме ростверка опалубку изготавливают из деревянных щитов.

Трудоемкость работ по устройству монолитных ростверков снижает экономическую эффективность свайных фундаментов и усложняет производство работ, особенно в зимний период. Поэтому в ряде случаев могут быть успешно применены сборные свайные ростверки. При этом в плите предусматривают отверстия под сваи, что позволяет рассматривать такие сборные плиты одновременно как кондукторы для погружения свай (рис. 21.11). При сборной конструкции плиты ростверка не требуется ограждение котлована и обеспечивается качественная защита бетона плиты от агрессивного воздействия воды. Кроме того, максимально исключаются

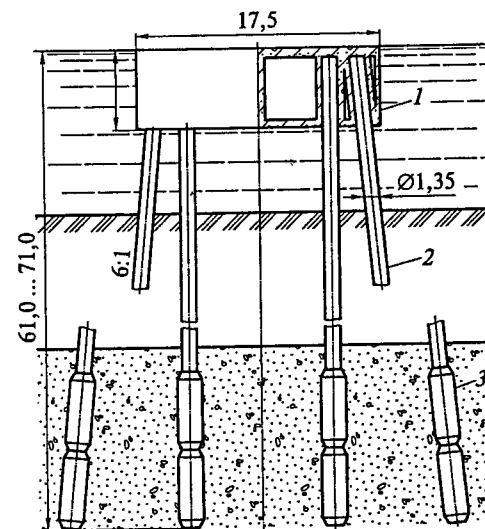


Рис. 21.11. Сборная плита ростверка опоры:

1 — полая сборная плита; 2 — железобетонная оболочка; 3 — уширение оболочки

арматурные и бетонные работы на месте, что способствует сокращению трудозатрат при возведении ростверка.

В котлованах сухих или со слабым притоком грунтовых вод после погружения забивных устройств или устройства буронабивных свай и срезки их на проектной отметке плиту ростверка укладывают непосредственно на выровненное дно котлована как в фундаментах на естественном основании (см. подразд. 21.2). Если приток воды через дно котлована значителен, то после устройства свай или столбов на дне котлована методом вертикально перемещающихся труб устраивают тампонажный слой бетона. Когда подводный бетон наберет требуемую прочность, котлован осушают, срезают излишки свай, очищают поверхность тампонажного слоя и ведут бетонирование плиты ростверка (рис. 21.12, а).

При устройстве плиты ростверка в воде, над поверхностью дна водотока, конструкцию ограждения, обеспечивающего выполнение работ насухо, назначают в зависимости от глубины воды. При глубине до 4...6 м ограждение устраивают из шпунта, забиваемого в дно водотока. В полость ограждения отсыпают грунтовую подушку до отметки подошвы ростверка (рис. 21.12, б). Если шпунт забить невозможно, ограждение выполняют в виде бездонного ящика с водонепроницаемыми стенками, который устанавливают на дно водотока и в полость которого отсыпают грунтовую подушку. Дальнейшие работы производят теми же методами и в том же порядке, как и при сооружении плиты ростверка в грунте.

При большой глубине воды плиты ростверков сооружают в ограждениях в виде ящиков с днищем. Ящики обычно представляют

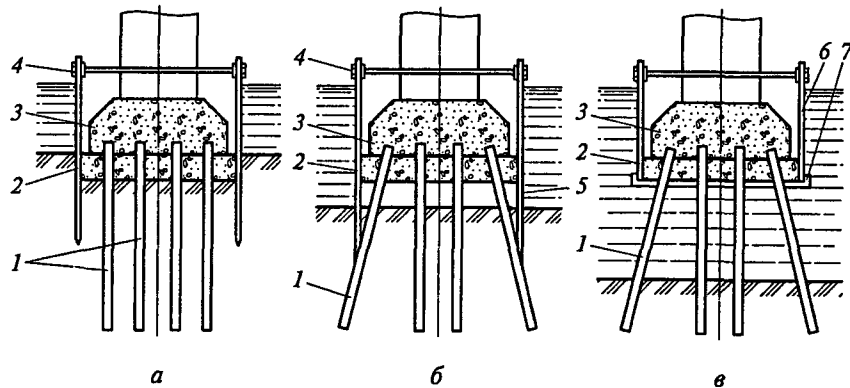


Рис. 21.12. Схемы сооружения монолитной плиты свайных ростверков:

а — при незначительном заглублении в грунт дна; б — при глубине воды до 4...6 м; в — при глубине воды более 6 м; 1 — свая; 2 — подводный бетон; 3 — плита ростверка; 4 — шпунтовое ограждение; 5 — песчаная подсыпка; 6 — инвентарные щиты; 7 — деревянное днище

собой единую конструкцию с каркасами для погружения свай. Ящики-каркасы делают из дерева, металла, а иногда из железобетона или из инвентарных понтонов. Ящик-каркас устанавливают в проектное положение и погружают сваи, оболочки или обсадные трубы буронабивных столбов. После погружения забивных или устройства буронабивных свай или столбов на днище ящика укладывают тампонажный слой бетона. В осушенном ящике производят весь комплекс работ по бетонированию или сборке плиты ростверка (рис. 21.12, в).

При глубине воды до 10...12 м в качестве ограждения целесообразно использование инвентарных понтонов, образующих ограждение-перемышку. Понтоны опускают на дно, балластируя их водой. Воду из ограждения до требуемой отметки откачивают вообще без тампонажного слоя или с тампонажным слоем из глины, уложенной на дно. Опалубку плиты ростверка в этом случае подвешивают на забитых сваях.

Все большее применение на практике находят свайные фундаменты с ростверками, располагаемыми над меженным уровнем воды. В этом случае работы по сооружению плит ростверков упрощаются и снижается трудоемкость их возведения.

В мостах больших пролетов ростверки опор имеют большие размеры, для их уменьшения применяют отдельные ростверки под несколько свай или столбов. Для восприятия ледовой нагрузки устраивается железобетонная льдозащитная оболочка, повторяющая контуры ростверка.

21.6. Возведение тела опор

Технология возведения тела опор зависит от их конструкции, месторасположения опоры и местных условий.

Монолитные опоры бетонировать в опалубке различной конструкции. На практике нашли применение стационарная, сборная щитовая, подвижная (скользящая) опалубки и опалубка-облицовка. Тип опалубки выбирают в зависимости от размеров и сложности формы тела опор, а также от количества однотипных опор.

Ранее для бетонирования тела опор применяли только деревянную щитовую опалубку, изготавливаемую на строительной площадке. В настоящее время чаще всего применяют щитовую сборно-разборную металлическую опалубку. В случае тела сложных геометрических форм применяют комбинацию разных типов опалубок.

К опалубкам предъявляют требования прочности, устойчивости, жесткости, соответствия проектным формам бетонированной конструкции, непроницаемости бетонной смеси, способам бетонирования.

Стационарную опалубку обычно применяют для тела опор, имеющих сложную индивидуальную форму. Такая опалубка состоит из каркаса и заполнения в виде строганных досок или фанеры. Щиты опалубки объединяются в пространственную систему с помощью стальных тяжей диаметром 16...22 мм.

Нижнюю обвязку опалубки крепят к плите ростверка или фундаменту анкерными болтами, оставляемыми в теле бетона. Внешнюю поверхность опалубки закрывают полимерной пленкой или жестью для ее непроницаемости. Внутренние плоскости опалубки перед бетонированием рекомендуется обмазывать растворами, позволяющими легко отделять ее от бетона.

Деревянные опалубки практически малопригодны для повторного применения, так как около 40...60 % исходного материала после демонтажа остается поврежденным.

Опалубка, изготовленная из щитов, используемых многократно, позволяет резко сократить расход материалов и трудоемкость опалубочных работ. Эффективность такой опалубки зависит от ее оборачиваемости. Стоимость работ по монтажу опалубки, как правило, составляет до 30 % от стоимости возведения опоры. Деревянно-металлическая щитовая опалубка образуется из листовой стали толщиной 2...5 мм и деревянных брусьев, играющих роль ребер жесткости. Размеры щитов назначают из условия транспортабельности и удобства монтажа. Обычно площадь щитов составляет 4...12 м², в отдельных случаях доходит до 20 м².

Цельнометаллическая опалубка образуется из плоских элементов или из секций, имеющих криволинейные поверхности. Так, для круглых столбчатых тел используют опалубку, каждая секция которой состоит из двух блоков, соединяемых на болтах. Цельнометаллическая опалубка монтируется с помощью кранов. После набора бетоном требуемой прочности секцию или несколько секций демонтируют и переставляют на более высокий уровень будущего тела опоры.

При сложной форме тела опор приходится компоновать опалубку из щитов разной конструкции. На участках постоянного сечения тело опоры бетонировать в опалубке из стальных щитов одинаковой формы, а в пределах, например, верхней части сложной конфигурации опалубку выполняют из дерева. При большом числе опор одинаковой формы, что характерно для мостов или эстакад большой длины, сложные по форме участки также могут бетонировать в стальной сварной опалубке (рис. 21.13, а). Для удержания верхних секций опалубки в рабочем положении используют специальное приспособление с держателями (рис. 21.13, б).

Скользкая металлическая опалубка применяется при бетонировании высоких опор с постоянным сечением. Такая опалубка состоит из стального каркаса и опалубочных щитов, перемещающихся вдоль тела опоры с помощью домкратов. Стальной кар-

кас в простейшем случае состоит из двух замкнутых горизонтально расположенных рам, к которым прикрепляются металлические щиты опалубки. Для уменьшения сил трения на контакте щитов с бетонной смесью внутренние поверхности щитов покрывают листами фторопласта.

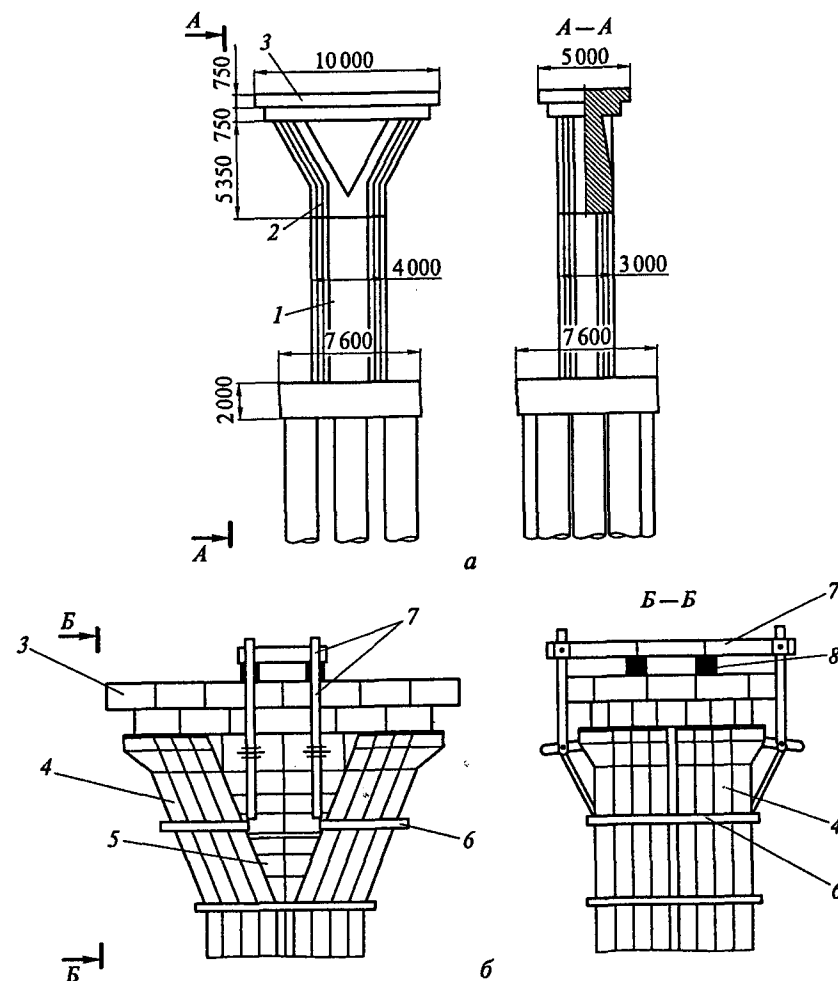


Рис. 21.13. Конструкция опалубки тела опоры сложной формы:

а — общий вид опалубки; б — опалубка верхушки опоры; 1 — металлическая опалубка участка постоянного сечения; 2 — деревянная опалубка участка оголовка; 3 — металлическая опалубка участка в уширенной части тела опоры; 4 — деревянные щиты опалубки на участке между наклонными столбами верхней части тела опоры; 5 — металлические щиты опалубки; 6 — ребро жесткости; 7 — приспособление для удерживания щитов опалубки; 8 — гидравлические домкраты

Тело опоры бетонируют в скользящей опалубке непрерывно. Скорость движения опалубки должна быть такой, чтобы уложенный бетон приобрел необходимую прочность для сохранения формы тела опоры. Скорость скольжения опалубки может быть определена по формуле

$$v = H/(t_{\text{схв}} + 2) \text{ при } Q = v\Omega, \quad (21.8)$$

где H — высота щита опалубки, м; $t_{\text{схв}}$ — время от начала приготовления до конца схватывания бетона, ч; Q — необходимая производительность бетононасоса, м³/ч; Ω — площадь бетонирования, м².

Бетонную смесь для бетонирования опор в настоящее время доставляют в автобеносмесителях. К русловым опорам автобетоносмесители доставляются плавсредствами или по монтажным эстакадам. Возможна транспортировка бетонной смеси по бетоноводным трубам, уложенным на наплавном понтонном мосту. Подача смеси осуществляется насосами.

Подача бетонной смеси к бетонируемой конструкции может осуществляться с помощью простейшего устройства — кубла, подвешенного к стреле крана. Современные конструкции таких устройств имеют коническую форму и представляют собой воронку с затвором, обеспечивающим регулирование отверстия подачи бетонной смеси. Используемые краны на пневмоходу имеют вылет стрелы до 30...35 м при грузоподъемности до 25...28 т.

Применяемые на практике автобетононасосы монтируются на автомобильном шасси; они снабжены манипулятором, приемным хоппером и бетоноводными трубами, а также насосом. Манипуляторы автобетононасосов могут подавать бетонную смесь на высоту до 50 м и по горизонтали до 45 м. Производительность автобетононасосов составляет 120...180 м³/ч. Бетоноводные трубы имеют диаметр 100...125 мм. Находят применение также автобетононасосы, укомплектованные бетоносмесителем с объемом 7...10 м³.

Автобетононасосы позволяют производить бетонирование при большой высоте и ширине опор. При этом основным фактором, влияющим на темпы укладки бетонной смеси, является производительность бетонных заводов и количество автобетоновозов для доставки смеси к месту строительства.

Чтобы ускорить процесс твердения уложенного бетона и предотвратить его неравномерную его усадку, поверхность бетона поливают водой и покрывают влагоемкими материалами, особенно в жаркое время. Перед возобновлением бетонирования после перерыва необходимо снять с поверхности уложенного бетона цементную пленку, очистить и промыть поверхность.

При бетонировании в зимних условиях необходимо учитывать, что замерзание бетона в процессе схватывания не допускается, так как это снижает его прочность. Только после приобретения

бетоном прочности не менее 79 % от проектной такое замораживание возможно.

На практике применяют несколько способов зимнего бетонирования. При бетонировании массивных опор применяют, как правило, способ термоса. Этот способ заключается в подогреве минеральных материалов и воды и использовании утепленной опалубки. Утеплитель размещается в этом случае между внешней и внутренней плоскостями щитов опалубки. Теплопроводность опалубки и начальная температура смеси должны обеспечивать условия схватывания и твердения до того, как температура бетона станет отрицательной. Продолжительность остывания бетонной смеси до 0 °С

$$X = (600 t_6 + \text{ЦЭ}) R_0 V / F(t_{6,c} - t_n) \beta; \quad (21.9)$$

$$R_0 = \sum h_i / \lambda_i, \quad (21.10)$$

где t_6 — температура свежееуложенного бетона; Ц — расход цемента; Э — экзотермия цемента при средней температуре твердения 15 °С; R_0 — общее термическое сопротивление опалубки; V — объем бетона; F — поверхность охлажденного бетона; $t_{6,c}$ — средняя температура бетона за время остывания; t_n — средняя температура наружного воздуха; β — коэффициент продуваемости; h_i — толщина слоев гидроизоляции и листов опалубки; λ_i — коэффициент теплопроводности материалов утепления опалубки.

При определении требуемой температуры бетонной смеси в период укладки необходимо учитывать тепловые потери при ее транспортировании, которые не должны превышать 30 % содержащегося в ней тепла.

Бетонирование тонкостенных тел опор производят в тепляках, которые представляют собой объемлющие конструкции, образованные из каркаса и покрытия. После бетонирования удаление тепляков возможно после того, как разность температур наружного воздуха и бетона в середине бетонируемой конструкции не достигнет 30 °С.

Еще одним способом зимнего бетонирования является такой, при котором применяют добавки, обеспечивающие незамерзание бетона при низких температурах.

В ряде случаев монолитные опоры мостов выше обреза фундамента облицовывают естественным камнем, бетонными блоками и железобетонными плитами в целях повышения сопротивления истиранию поверхностного слоя, повышения морозостойкости и по архитектурным соображениям (рис. 21.14).

Навесную облицовку подвешивают к телу опоры и затем омоноличивают с ней. Облицовку из железобетонных плит устанавливают перед бетонированием, она служит и опалубкой. Облицовку тела опор можно обрабатывать в грубый прикол, с чистой

