

## СООРУЖЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ НА ЗАБИВНЫХ СВАЯХ

При строительстве мостов наиболее широко применяют забивные сваи, обладающие, как правило, высокой несущей способностью в результате уплотнения окружающих сваи грунтов. Забивные сваи наряду с этим позволяют широко внедрять индустриальные методы в строительстве фундаментов.

Забивные сваи подразделяют по материалу и по конструкции. Деревянные сваи изготовляют из бревен или брусьев и применяют в основаниях временных подмостей, а иногда в фундаментах постоянных опор при условии их погружения ниже уровня грунтовых вод. При длине свай более 10 м обычно применяют пакетные сваи из трех или четырех бревен, скрепленных болтами. Широкие перспективы применения имеют клееные сваи из досок, склеенных водоупорными клеями и имеющих различные размеры сечений и длину до 16-20 м. Стальные сваи обычно изготовляют из труб прокатных профилей или шпунтин. Такие сваи в нашей стране почти вытеснены железобетонными сваями и оболочками.

Железобетонные сваи изготовляются преимущественно квадратного сечения, реже прямоугольного, круглого, двутаврового и других сплошных сечений. Наиболее употребительные размеры сплошных железобетонных свай: сечение от 25х25 до 45х45 см, длина от 5 до 25 м. Сваи армируют продольной и поперечной арматурой обычно из С5, бетона не ниже М-200.

Забивные сваи погружают в грунт сваебойными молотами и вибропогружателями. Для облегчения погружения часто используется подмыв свай напорной водой.

Погружение свай молотами. Свайные молоты применяют механические (подвесные), паровоздушные и дизельные.

Механические молоты, которыми сваи забивают за счет энергии свободного их падения, имеют небольшую производительность. Их применяют редко и для погружения свай небольших размеров.

Паровоздушные молоты широко используют для забивки железобетонных и стальных свай, в том числе для забивки тяжелых свай в плотные связные грунты. Работают такие молоты при помощи пара или сжатого воздуха; по своей конструкции и принципу действия их подразделяют на молоты одиночного и двойного действия.

Молоты одиночного действия бывают с ручным, с полуавтоматическим и с автоматическим управлением. Молоты с ручным управлением просты и надежны в работе, но имеют малую частоту ударов (до 25 в мин). Вес ударной части в молотах одиночного действия достигает 8000 кг.

Молоты двойного действия более производительны и работают автоматически, но имеют меньший вес ударной части, что ограничивает их применение для забивки тяжелых свай. Существуют паровоздушные молоты двойного действия, приспособленные для работы под водой.

В зимних условиях в паровоздушных молотах лучше применять не сжатый воздух, а пар, так как при пневматическом способе в механизмах конденсируется и замерзает вода.

Дизель-молоты находят широкое применение главным образом для забивки относительно небольших свай и подразделяются на штанговые, трубчатые и с воздушным буфером. В штанговых молотах ударной частью служит цилиндр, а в трубчатых - поршень. Вес ударной части от 400 до 2500 кг.

К недостаткам дизель-молотов относятся:

- низкий коэффициент полезного действия - до 60% кинетической энергии тратится на сжатие воздуха в цилиндре;
- неполноценность работы в начальный период и при слабых грунтах - при небольшом сопротивлении погружению не происходит достаточного сжатия горючей смеси и поэтому прекращается работа молота;
- неполноценна работа при низких температурах воздуха.

Общая организация свайных работ на мостостроительном объекте зависит от выбора механизмов для погружения свай. Выбор сваебойных агрегатов, в том числе свайных молотов, зависит от свойств грунтов, а также от веса сваи, ее конструкции, требуемой глубины погружения и несущей способности.

При этом исходят из необходимой энергии  $W_n$  удара молота, которую определяют по формуле:

$$W_n = 25P_{np}$$

$R_{np}$ 

где  $R_{np}$  - несущая способность сваи по грунту.

Кроме того, проверяют соответствие веса молота и веса сваи по коэффициенту применимости молота:

$$K = \frac{Q + q}{W_n}$$

 $Q$ 

где  $Q$  - вес молота;

$q$  - вес сваи;

 $W_n$ 

$W_n$  - паспортная энергия выбранного молота

Вес ударной части молота одиночного действия (включая дизель-молот) должен быть больше веса сваи при ее длине более 12 м. При длине сваи менее 12 м вес ударной части молота должен превосходить вес сваи более чем в 1,25 раза - при погружении в грунты средней плотности.

В различных грунтовых условиях эффект погружения свай может зависеть как от энергии удара молота, так и от частоты его ударов. Только при оптимальном соотношении всех параметров сваебойного агрегата, соответствующем конкретным грунтовым условиям, можно успешно погружать сваи в грунт.

Погружение свай молотами в песчаные грунты, полностью насыщенные водой, в некоторых случаях оказывается затруднительным. Увеличение веса ударной части молота не дает при этом эффекта. Интенсивнее вытесняется вода и, следовательно, увеличивается скорость погружения сваи также подмыв грунта, при котором возникает поток воды вдоль стен свай, уменьшается трение и открывается путь для выхода свободной воды из пор грунта. При водонасыщенных песчаных грунтах предпочтительнее вибропогружение свай и забивка молотами с большой частотой ударов и с применением подмыва.

При погружении свай в глинистые грунты происходит их уплотнение, нарушаются структурные связи и как следствие часть связанной воды переходит в свободную, т.е. грунт разжижается (явление тиксотропии). Это явление облегчает погружение свай, причем происходит оно интенсивнее при относительно большей частоте ударов молота. Кроме того, возможность успешного погружения свай в глинистые грунты зависит от многих других причин и главным образом от консистенции и влажности грунта. Большие силы сцепления глинистых грунтов со сваем резко снижают эффект погружения; в водонасыщенных глинистых грунтах погружение затруднено даже при небольшой их плотности; в плотных глинистых грунтах сопротивление погружению возрастает. Подмыв свай в глинистых грунтах редко дает положительные результаты. В плотные глинистые грунты сваи лучше погружать свайными молотами с большим весом ударной части - паровоздушными молотами одиночного действия. Для облегчения погружения в глину трубчатых свай их иногда погружают с открытым концом и с извлечением грунта из их полости.

В супеси или в слабые суглинки сваи можно успешно погружать свайными молотами с применением в необходимых случаях подмыва.

Сваи необходимо забивать в грунт до тех пор, пока величина погружения от одного удара не достигнет расчетного значения, называемого отказом (среднее арифметическое значение осадки от нескольких ударов). Расчетный отказ косвенно характеризует несущую способность сваи по грунту, т.е. является динамическим эквивалентом предельной статической нагрузки на сваю. Первоначальный отказ, полученный после завершения забивки сваи, обычно не является истинным, так как после некоторого перерыва величина отказа изменяется. В маловлажных песчаных грунтах отказ возрастает (сопротивление уменьшается), а в глинистых грунтах уменьшается.

Производительность свайных работ зависит как от правильного выбора сваебойного агрегата, так и от вспомогательных операций по забивке, которые занимают до 80% времени. Для свайных работ применяют копры или краны. Стреловые и порталные краны снабжают направляющими стрелами и другим вспомогательным оборудованием. Для направления свай при погружении, особенно для направления наклонных свай, применяют также направляющие приспособления в виде каркасов из инвентарных элементов УИКМ или переносных устройств, устанавливаемых на распорных креплениях котлованов.

Копры и краны, применяемые для забивки свай, должны обладать маневренностью и позволять быстро перемещать их, а также проводить все вспомогательные работы. Копры должны быть легкими, достаточно жесткими, просты в сборке и по возможности универсальны. Размеры копра и его конструкцию подбирают в зависимости от размеров свай, условий их погружения, а также от применяемого сваебойного агрегата. Если копры предназначены для забивки относительно коротких и легких свай или шпунта, то их можно изготавливать на строительстве.

Деревянные сборно-разборные копры можно изготовлять высотой до 15 м; находят применение деревянные копры с двумя стрелами, позволяющими забивать одновременно по две сваи. Чаще применяют металлические инвентарные копры. Среди них копры для дизель-молотов, выполненные из различных прокатных профилей и труб и снабженные колесами для передвижения по рельсам. Для забивки тяжелых длинных свай, в том числе и наклонных, применяют универсальные копры, перемещаемые по рельсам. Таким копрам можно придавать наклон в пределах до 5:1 с помощью длинных винтов, установленных между вышкой и платформой. Большинство универсальных копров полноповоротные в горизонтальной плоскости, а на платформе обычно размещены паровой котел, лебедка и механизмы поворота. При перестановке тележки и установке на рельсы другого направления станину копра поднимают домкратами, укрепленными под платформой. На местности, покрытой водой, сваи целесообразно забивать с помощью плавучих копров, которые располагают на плашкоутах из металлических понтонов (обычно на инвентарных понтонах КС) и закрепляют якорями.

Наряду с копрами в мостостроении для забивки свай широко используют различные краны: стреловые стационарные деррик-краны, стреловые на гусеничном или автомобильном ходу и порталные. На местности, покрытой водой, для этой цели применимы плавучие краны.

Применение крана для забивки свай особенно целесообразно, если его используют на всех работах по сооружению опоры, т.е. для забивки шпунта, извлечения грунта и бетонирования тела опоры, и, кроме того, для монтажа пролетных строений. Так универсальные краны, имеющие сменное оборудование, позволяют забивать шпунт и сваи, разрабатывать и извлекать грунт из котлованов или опускных колодцев, подавать бетонную смесь, поднимать скользящую опалубку или подавать под сборку опалубочные щиты, собирать опоры из блоков, монтировать сборные металлические и железобетонные пролетные строения и т.д.

Краны, используемые для забивки свай, снабжают направляющими стрелами. Находят применение короткие направляющие, подвешенные к крану, которые по мере забивки сваи периодически опускают с таким расчетом, чтобы молот при работе не выходил за их пределы. Чаще применяют длинные направляющие, подвешенные к стреле крана, в нижней части жестко присоединенные к корпусу крана при помощи соединения, позволяющего изменять наклон направляющей и вылет стрелы крана.

В тех случаях, когда проектные отметки голов свай находятся ниже уровня воды, применяют свайные молоты, способные работать под водой, или используют так называемые "подбабки", устанавливаемые между концом сваи и молотом. Подбабки представляют собой отрезки свай или соответствующие инвентарные конструкции.

Последовательность погружения свай зависит от формы фундамента, свойств грунта, количества свай и применяемого оборудования. При небольшом количестве рядов сваи забивают последовательно по рядам, начиная от крайнего. В многорядных фундаментах применяют спиральную последовательность, начиная от центральных свай во избежание переуплотнения грунта, препятствующего погружению последующих свай.

## **ВИБРОПОГРУЖЕНИЕ СВАЙ**

В настоящее время для забивки свай наряду с сваебойными молотами широко применяют вибропогружатели и виброударные механизмы. Принцип действия вибрационных машин основан на направленных колебаниях, возникающих в результате синхронного и противоположно направленного вращения нескольких пар дебалансов. Основные параметры вибропогружателей высокочастотных и низкочастотных - момент эксцентриков и частота колебаний; их работу характеризуют также по возмущающей силе и амплитуде холостого хода.

Высокочастотные вибропогружатели (ВПМ; Б1-5 и др.) с частотой колебаний более 1500 об/мин имеют малую возмущающую силу (до 7 т), небольшую амплитуду колебаний, и их применяют главным образом для забивки шпунта.

Значительно чаще в мостостроении применяют низкочастотные вибропогружатели, имеющие большие амплитуды и относительно небольшие частоты колебаний. Особенность таких вибрационных машин - их виброударное действие, которое происходит вследствие значительной разницы между величинами амплитуд колебаний системы "свая-вибратор" и величинами амплитуд колебаний грунта, окружающего основание сваи, которые вызываются вибрацией системы. Это приводит к отрывам системы от грунта в основании сваи и ударам сваи о грунт.

Большинство вибрационных машин работает на электрическом приводе. Однако в настоящее время успешно применяют вибропогружатели с гидравлическим или пневматическим приводом; эти вибропогружатели имеют ряд преимуществ, так как их двигатели не подвергаются такому быстрому износу в условиях вибрации, как электродвигатели.

В мостостроении применяют четыре класса низкочастотных вибрационных машин:

- вибропогружатели продольно-направленного действия;
- вибропогружатели с подрессоренной нагрузкой,
- вибромолоты,
- вибропогружатели крутильно-поступательного действия.

К вибропогружателям продольно-направленного действия относятся вибропогружатели ВП и ВПУ с частотой колебаний до 800 об/мин. Простейший такой вибропогружатель состоит из электродвигателя, эксцентриков и передачи. Корпус электродвигателя жестко соединен со сваей через наголовник и вибрирует с ней как одна система. Электродвигатели работают в тяжелых условиях и часто выходят из строя. Поэтому в последних модернизированных конструкциях вибропогружателей этого типа оси электродвигателей устанавливаются не горизонтально, как прежде, а вертикально. Это увеличивает их износостойкость.

Особенность вибропогружателей с подрессоренной нагрузкой типа ВПП - гибкое соединение электродвигателя и пригрузочной плиты с корпусом через пружины рессор, избавляющее двигатель от вибраций, а также возможность регулирования величины амплитуды. Применимы они для забивки свай небольших размеров.

В вибромолотах корпус с дебалансами соединен с наголовником сваи через пружины. Возможности изменения величины возмущающей силы, частоты и амплитуды колебаний, а также жесткости пружин и зазора между корпусом и наголовником позволяют регулировать вибрационно-ударный режим работы таких агрегатов в широких пределах.

Широкие перспективы имеют вибропогружатели, в которых наряду с поступательным вибрированием возбуждаются и направленные возвратно-крутильные колебания. Крутильные колебания возникают в таких вибропогружателях благодаря размещению дебалансов в двух различных плоскостях так, чтобы могли создаваться только продольные или крутильно-продольные колебания. Внедряются вибропогружатели продольно-вращательного действия типа ВДД, предназначенные для погружения оболочек среднего и большого диаметров.

Вибропогружатели жестко соединяют со сваями через стальные сварные наголовники. К железобетонным призматическим сваям наголовники крепят за выпущенные из бетона стержни арматуры или закладные упоры. Более удобны заклинивающиеся наголовники.

Направление свай при вибропогружении можно обеспечивать теми же средствами, что и при забивке молотами. С направляющими стрелами вибропогружатели следует соединять через ролики, уменьшающие трение, но препятствующие отклонениям.

Эффект погружения зависит от оптимального соотношения всех параметров вибропогружателя при соответствующих грунтовых условиях. Возмущающая сила вместе с другими параметрами определяет эффективность погружения свай-оболочек, но превышение ее оптимальной величины может оказаться бесполезным и опасным, так как не приведет к улучшению условий погружения и только увеличит возможность разрушения оболочки. Наряду с возмущающей силой, призванной преодолевать главным образом сопротивление грунта срыву сваи, погружению оболочек способствует оптимальная амплитуда, определяющая ударный эффект погружения и оптимальная частота колебаний, влияющая в основном на преодоление сопротивления трения стенок оболочки. Величина амплитуды зависит от момента эксцентриков и сопротивления грунта при погружении. Следовательно, эта величина при постоянном моменте эксцентриков изменяется по мере увеличения сопротивления грунта.

В колебаниях при вибропогружении участвуют не только вибросистема, т.е. вибропогружатель и свая (или оболочка), но и окружающая сваю (оболочку) грунтовая масса, имеющая собственную частоту колебаний. Совместных синхронных колебаний вибропогружателя, сваи и грунта обычно не происходит, если не принимать мер к искусственной их синхронизации. Оптимальные условия погружения могут быть созданы только при возможности регулирования параметров вибропогружателя непосредственно в процессе погружения оболочек, причем разнообразие свойств грунтов обуславливает потребность в автоматическом регулировании величин параметров вибропогружателей и в самонастраивании оптимальных режимов.

При выборе вибропогружателей следует помнить, что для погружения свай и оболочек в несвязные песчаные грунты частота вибрации должна быть относительно большой, т.е. 600-1000 циклов в минуту, а для погружения в суглинистые и глинистые - не более 400 циклов в минуту. При глинистых грунтах момент эксцентриков, а, следовательно, амплитуда и возмущающая сила должны быть относительно большими. При плотных глинистых грунтах следует, как правило, отказываться от вибропогружателей и применять паровоздушные молоты одиночного действия, если вес ударной части их позволяет забивать сваи и оболочки.

Вибропогружатели нужно выбирать с учетом веса вибросистемы (свая или оболочка, наголовник, вибропогружатель) и величины расчетной нагрузки на сваю (или оболочку).

Рекомендуется выполнять следующие условия:

1) возмущающая сила должна преодолевать сопротивление грунта срыву сваи, т.е.

$$T = \frac{K\omega^2}{g} \geq u \sum_1^n \tau_i h_i$$

2) амплитуда вибрации сваи должна превышать значение, необходимое для эффективного погружения сваи в грунт, т.е.

$$\frac{0,8K}{Q} \geq A_0$$

3) вес вибросистемы должен быть достаточным для обеспечения требуемой скорости погружения, т.е.

$$Q \geq pF \quad \text{и} \quad 0,2 < \frac{Q}{T} < 1,0$$

В приведенных формулах:

K - момент эксцентриков, т/м;

$\omega$

- угловая скорость вращения эксцентриков, 1/сек;

$$\omega = \frac{n}{9,55}$$

n - частота колебаний, об/мин;

g - ускорение свободно падающего тела, равное 9,81 м/сек;

u - периметр сваи, м;

hi - высота слоя грунта, м;

$$\frac{m}{m^2}$$

fi - удельное сопротивление грунта срыву сваи, ;

Q - вес вибросистемы (вибропогружатель, свая, наголовник, пригрузка), т;

$A_0$

- амплитуда вибрации, необходимая для эффективного погружения сваи в грунт, м;

p - требуемое для эффективного погружения удельное давление на подошву сваи, принимаемое

$$\frac{m}{m^2}$$

равным 70 ;

$$m^2$$

F - площадь подошвы сваи или площадь кольцевой подошвы оболочки, .

Рекомендуемые значения fi при погружении железобетонных свай и оболочек с открытым концом приведены в табл. 5, а значения A0 низкочастотных вибропогружателей (300-800 об/мин), необходимые для эффективного погружения железобетонных свай и оболочек с открытым концом, - в табл. 6.

Грунты	$m/m^2$	
	ф,	
	оболочки	сваи
Водонасыщенный песчаный и слабoplastичный глинистый	0,7	0,5
То же, с прослойками гравелистых или плотных глинистых грунтов	1,0	0,7
Глинистый пластичный	1,8	1,0
Глинистый полутвердый	3,0	2,0

Таблица 6

Типы свай	$A_0$	
	, см	
	Песчаные грунты	Глинистые грунты
Сплошного сечения	1,2-1,5	1,5-2,0
Оболочки	0,6-1,0	0,8-1,2

При подборе вибропогружателя вначале следует определить сопротивление грунта срыву свай, затем  $A_0$  приблизительно назначить величину веса вибросистемы Q, выбрать по табл. 6 значение  $A_0$ , вычислить величины возмущающей силы T, момента эксцентров K и частоту колебаний n. По соответствующим параметрам подобрать вибропогружатель. Вибропогружатели и вибромолоты можно также выбирать, пользуясь специальной сводной таблицей.

Несущую способность свай и оболочек, погружаемых вибрированием, можно приблизительно определять в зависимости от скорости погружения за последнюю минуту по формуле

$$P = A \left( \frac{150N}{A_n} + Q \right)$$

где A - амплитуда колебаний оболочки в последнюю минуту погружения (половина полного размаха), см;

N - приведенная мощность двигателя вибропогружателя, кВт;

л - коэффициент, зависящий от отношения статического сопротивления грунта динамическому и принимаемый, равным от 2 до 8 в зависимости от свойств грунта (таблицы значений л приводятся в справочниках).

Остальные обозначения прежние.

При встрече ножа оболочки с различными твердыми включениями нормальный режим погружения может быть внезапно нарушен. Нарушения режима определяют прибором ЦНИИСа, который в этих случаях сигнализирует или автоматически отключает двигатель вибропогружателя.

## ПОГРУЖЕНИЕ СВАЙ С ПОДМЫВОМ. УСТРОЙСТВО КАМУФЛЕТНЫХ УШИРЕНИЙ. ПОГРУЖЕНИЕ СВАЙ ЗАВИНЧИВАНИЕМ

Погружение свай с подмывом. Подмыв свай напорной водой значительно облегчает их погружение молотами и вибропогружателями, если грунты способны размываться. Вода подводится к нижнему концу свай под давлением 5-25 ат в зависимости от свойств грунта и глубины погружения. Расположение подмывных труб может быть наружным или внутренним. При наружном размещении подмывные трубы присоединяют к свае при помощи поддерживающих хомутов, позволяющих периодически перемещать трубы в продольном направлении, а после погружения свай извлекать для дальнейшего использования. Неподвижно закрепляют трубы только у верхнего хомута. Подмывные трубы при внутреннем расположении закладывают внутрь в период изготовления свай, вместо труб можно также устраивать каналы.

В качестве подмывных используют стальные газовые трубы диаметром от 30 до 80 мм. В стенках труб можно устраивать отверстия. Диаметр выходного сечения трубы обычно меньше диаметра самой трубы примерно в два раза. Существуют также инвентарные съемные наконечники подмывных труб.

В плане трубы размещают симметрично, чтобы на 1 пог. м периметра сечения сваи было не менее одной. а на одну сваю должно быть установлено не менее двух труб. Подмывные трубы перемещают и извлекают из грунта при помощи тросов, прикрепленных к концам труб и лебедок. Подмыв прекращают, когда до проектной глубины погружения сваи остается не менее 1 м. Интенсивность погружения свай увеличивается, если наряду с напорной водой к основанию сваи подавать сжатый воздух с помощью так называемой пневмоиглы, состоящей из двух соединенных газовых трубок; по одной из них подают воду, а по другой воздух.

Расход воды на одну подмывную трубу в зависимости от требуемого давления и свойств грунтов может изменяться от 300 до 3000 л в мин. Для подмыва обычно используют многоступенчатые центробежные насосы.

Погружение свай в слабаразрыхаемые глинистые грунты можно облегчить при помощи электроосмоса. При этом возникают тиксотропные процессы переувлажненного грунта на контакте со свайей в результате пропускания постоянного тока от забитой сваи (отрицательный электрод) к забиваемой (положительный электрод).

Устройство камуфлетных уширений в основаниях забивных свай. Несущая способность сваи, как известно, заметно возрастает, если в основании ее устраивают уширения способом камуфлетирования (взрывом).

При камуфлетировании заряд взрывчатого вещества в водонепроницаемой упаковке опускают в основание трубчатой сваи. Нижнюю часть сваи заполняют литым бетоном. Образованное взрывом пространство заполняется бетонной смесью, проникающей из сваи. После заполнения камуфлетной полости в свае должен оставаться столб бетонной смеси высотой не менее 2 м.

Несущая способность свай с камуфлетным уширением возрастает благодаря увеличению площади опирания сваи и уплотнения прилегающего к свае грунта. Однако в связных и водонасыщенных грунтах уплотнение грунта может не происходить. В результате взрыва могут быть в значительной зоне нарушены структурные связи грунта, что может способствовать увеличению деформаций основания, особенно при длительных процессах осадок. Поэтому сваи с камуфлетным уширением следует применять лишь с учетом грунтовых условий.

Вес заряда ВВ зависит от глубины погружения сваи, свойств грунта и величины необходимого уширения и составляет от 5 до 15 кг.

Объем созданного уширения проверяют по размещенному в нем объему бетона. Диаметр камуфлетного уширения можно приблизительно определить по формуле:

$$D = 1,3\sqrt[3]{V}$$

где V - объем бетона, проникшего в уширение.

В качестве ВВ применяется тол, экрозин, пироксилин и другие подобные взрывчатые вещества. В целях предосторожности в каждый заряд нужно помещать не менее двух детонаторов, а провода от зарядов выводить в резиновых шлангах.

Погружение свай завинчиванием. Винтовые сваи, как правило, изготавливают из стальных труб, а иногда из железобетонных оболочек круглого сечения. Такие сваи имеют на концах башмаки с винтовыми лопастями.

Башмаки бывают:

- чугунными литыми,
- сварными из листовой стали с лопастями сплошного сечения
- или заполненными бетоном

Лопасты имеют круглое в плане очертание, число витков - не более 1,25. Шаг винтовой лопасти зависит от предельной величины крутящего момента и обычно принимается равным от 0,2 до 0,3 диаметра лопасти. Конец башмака, как правило, заостренный. Применяют также башмаки с открытым концом.

Стальные стволы свай соединяют с башмаком сваркой встык или с накладками. Железобетонные сваи изготавливают диаметром несколько меньшим внутреннего диаметра башмака. Чтобы передать крутящий

момент башмаку на конце ствола устраивают выступы, которые входят в пазы в стенках башмака. Крутящий момент от роторной установки передается на ствол сваи через приваренные к нему накладки, расположение которых должно соответствовать расположению упоров муфты ротора.

Если прочность ствола сваи на кручение недостаточна, то крутящий момент от роторной установки может передаваться непосредственно на башмак при помощи инвентарного ключа, представляющего собой стальную трубу с прорезами и упорами для присоединения башмака.

Сваи завинчивают роторным механизмом, называемым кабестаном.

В мостостроении применяют кабестаны различных систем (МЗС-25; МЗУ-75; МЗС-150; ЦНИИС-25; ЦНИИС-50) с крутящим моментом от 25 до 150 тм и общей мощностью двигателей до 80 квт. Скорость вращения сваи при погружении составляет от 0,4 до 1,2 об/мин.

Сваи можно завинчивать вертикально и наклонно. Наклонные сваи вначале завинчивают вертикально только с помощью расчалок. На глубине до 2 м в плотных грунтах и до 4 м в рыхлых свае придают требуемый наклон, который фиксируют расчалками. При завинчивании в плотные грунты можно одновременно применять подмыв через трубы, выведенные к лопастям.

Крутящий момент кабестана должен преодолевать сопротивление грунта, возникающее на контакте со стволом сваи и с ее лопастью. Величину момента (в кг·м) определяют по формуле

$$M_{\text{зр}} = 1,6d^2 \sum h_i \tau_i + kaD$$

где  $d$  - диаметр ствола сваи, м;

$\tau_i$  - сопротивление трения в слоях грунта,  $\text{кг/м}^2$ ;

$h_i$  - толщины слоев грунта, м;

$a$  и  $D$  - шаг и диаметр лопасти, м;

$k$  - коэффициент, учитывающий плотность грунта,  $\text{кг/м}$ .

Величины  $\tau_i$  и  $k$  принимают по результатам пробных испытаний или по опытным данным, приведенным в справочниках.

## СООРУЖЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ НА БУРОВЫХ СВАЯХ

При создании буровых свай нужно пробуривать скважины.

На местности, покрытой водой, предварительно устраивают грунтовые островки при глубине воды до 8 м или плавучие подмости из понтонов. В устье скважины во всех случаях устанавливают инвентарную обсадную трубу, заглубляемую в грунт ниже дна водоема на 1,5-2,0 м, или железобетонную оболочку, входящую в конструкцию сваи.

Часто буровые сваи устраивают с уширенными пятями, что повышает их несущую способность.

Современные приемы бурения позволяют быстро и экономично разрабатывать и удалять грунт в разнообразных геологических условиях и на очень большую глубину.

Различают два основных способа бурения скважин: ударный и вращательный.

При ударном породе разрушают или разрыхляют ударами сбрасываемого с некоторой высоты долота, бура-грейфера или желонки, а удаляют из скважины желонками, бурами-грейферами, а также эрлифтами и гидрозелеваторами; разновидностью ударного бурения является ударно-канатное бурение, при котором долото или бур-грейфер подвешивают на стальном тресе.



При вращательном (ротаторном) бурении породы в забое скважины разрушают вращающимся буром или фрезой и извлекают при помощи глинистого раствора, эжекторами или другими приспособлениями. В местостроении находят большее применение ударно-канатное и ротаторное бурение скважин.

Ударно-канатное бурение широко применяют для разбуривания скальных пород в основаниях фундаментов из оболочек. В забой с высоты до 1 м периодически сбрасывают литое или клепаное тяжелое долото весом до 10 т и с диаметром от 0,5 до 3 м. Долото подвешивают на тросе к ударно-канатному станку (УКС), при помощи которого его поднимают и сбрасывают. Благодаря упругому раскручиванию троса при каждом падении долото поворачивается на угол до 10°, что обеспечивает равномерное разрушение породы в забое. Станками УКС можно бурить вертикальные скважины диаметром до 3 м и наклонные диаметром до 2 м.

Для бурения наклонных скважин долота оборудуют направляющими роликами, уменьшающими сопротивление трения его о стены скважины. При бурении скальной породы скважину промывают напорной водой, шлам извлекают эрлифтом, а крупные осколки удаляют желонками механическими или эжекторными.

При ударно-канатном бурении нескальных (дисперсных) грунтов для крепления стенок скважины обычно применяют стальные обсадные трубы, которые погружают в скважину забивкой по мере ее углубления, а извлекают полиспастом или другими способами по мере заполнения скважины бетоном. Для бурения скальных пород можно применять трехперые или четырехперые долота с победитовыми режущими вставками. Для бурения плотных глин лучше применять двутавровые долота. Бурение дисперсных грунтов осложняет наличие крупных валунов. В этих случаях, там где это возможно, лучше сдвигать валуны в стороны коническим долотом, не разрушая их.

Преимущество описанного способа бурения - простота и надежность его использования в любых грунтах, недостаток - низкая производительность, что объясняется применением одного инструмента для бурения, а другого для извлечения грунта.

Буровая установка состоит из бурового станка, бура-грейфера и инвентарных обсадных труб, погружаемых в скважину и извлекаемых из нее по мере бурения такой установкой заключается в применении как для разработки, так и для извлечения породы одного агрегата - одноканатного бура-грейфера, а также в оригинальном способе погружения и извлечения стальной обсадной трубы при помощи гидравлических домкратов, сообщающих ей поступательное движение, и домкратов, сообщающих возвратно-вращательное движение. Установкой можно бурить скважины с наклоном до 6:1. Бур-грейфер установки имеет удлиненную форму. В его нижней части находятся несколько раскрывающихся лопастей со съёмными бурами. Внутри корпуса помещен механизм открывания и закрывания лопастей. Бур-грейфер с раскрытыми лопастями сбрасывают с некоторой высоты, и он врезается в грунт. Затем грейфер поднимают, закрывая лопасти, и захваченный ими грунт извлекается из скважины. После опорожнения бура-грейфера процесс повторяют.

Буровой станок общим весом 32 т смонтирован на станине, снабженной колесами и аутригерами. На станине размещены мачта, механизмы управления, две лебедки, 12 гидравлических домкратов, хомут для захвата обсадной трубы, бункер для извлекаемой породы и другое вспомогательное оборудование. Инвентарные двухстенчатые обсадные трубы с внутренним диаметром 600-1000 мм состоят из отдельных секций длиной по 6 м, которые стыкуют пробками-болтами. Пробка имеет полость, в которую входит сердечник, и сквозные прорезы в стенках. Полость пробки и сердечник с одной стороны имеют коническую форму и гладкие поверхности, а с другой стороны цилиндрическую форму с нарезкой. В торце сердечника имеется квадратное гнездо для ключа. При завинчивании сердечника он расширяет трубчатую пробку и заклинивает ее в гнезде.

Станок имеет электрогидравлический уширитель, состоящий из цилиндрического ствола и трех раскрывающихся ножей. После окончания бурения скважину заполняют бетонной смесью или несущими железобетонными секционными оболочками с последующим заполнением их полости тоже бетонной смесью. По мере заполнения скважины смесью обсадные трубы извлекают при помощи тех же гидравлических домкратов.

При вращательном (ротаторном) бурении породы в забое скважины разрабатывают режущим или шарошочным долотом, вращаемым ротором через жесткие штанги (буровые колонны). Стены скважины при роторном бурении в большинстве случаев крепят не обсадными трубами, а при помощи глинистого раствора, основное назначение которого - удерживать стенки скважины от обрушений путем искусственного уравновешивания давлений. Кроме того, раствор, постоянно циркулируя, очищает забой от разбуренной породы, выносит ее из скважины и охлаждает долота, нагревающиеся при бурении. В турбобурах глинистый раствор участвует еще в одной важной функции - вращает турбины бура.

Принудительная циркуляция глинистого раствора по скважине (промывка) может быть прямой и обратной. При прямой промывке раствор насосом нагнетают в буровую колонку (трубчатую штангу). Выходя из колонки, раствор омывает забой и вместе с разбуренной породой поднимается вверх в пространстве между колонкой и стенками скважины, а затем поступает в лотки циркуляционной системы. После очистки раствора процесс повторяют. При обратной промывке, как правило, применяют эрлифт, установленный в основании буровой колонны. Глинистый раствор в этом случае самотеком поступает в скважину, омывает забой и вместе со шламом выносится эрлифтом по колонне в виде глинистой пульпы, насыщенной воздухом. Затем такая

пульпа поступает на очистку в циркуляционную систему. При обратной промывке обычно достигается большая скорость циркуляции раствора.

Для создания буровых свай диаметром до 1,5 м с уширением до 3 м применяют буровую установку ЦНИИС, позволяющую бурить скважины глубиной до 30 м с наклоном до 3:1. Уширения в основании скважины образуют ножами, раздвигающимися по мере вращения при помощи гидравлических домкратов.

В связных грунтах, когда затруднительно использование эрлифта, применяют бур-фрезу из четырех раскрывающихся лопастей. Заполнение фрезы грунтом происходит через щели при закрытых лопастях в процессе ее вращения. Для бур-фрезы не нужен эрлифт, нет необходимости в очистке глинистого раствора, а буровая колонна служит только как жесткая штанга для подъема и вращения фрезы. После заполнения фрезы грунтом ее поднимают и освобождают при раскрытых челюстях. Основание уширяют после окончания бурения скважины.

За рубежом при сооружении свайных оснований успешно применяют всасывающее бурение, представляющее собой разновидность роторного бурения с обратной промывкой. Особенность такого способа - использование обычной воды вместо глинистого раствора. Воду, поступающую в скважину самооттеком, откачивают через полость буровой колонны центробежными насосами или эрлифтом. Роль воды здесь аналогична роли, выполняемой глинистым раствором. Буровой раствор имеет гидравлический привод и специальные долота. Всасывающие насосы установлены на шасси буровой установки и способны откачивать воду из скважины на глубину 7-8 м, создавая тем самым разность градиентов, достаточную для циркуляции воды и пульпы по всей скважине глубиной до 500 м.

Для бурения глубоких скважин можно применять реактивно-турбинные буры, представляющие собой гидравлические много ступенчатые турбинные двигатели с шарошечными фрезами, которые вращаются от движения нагнетаемого в забой скважины глинистого раствора или воды.

Обычно бетонной смесью скважины заполняют способом ВПТ. Если при этом бетонирование выполнено тщательно, глинистый раствор не снижает качества бетонной кладки.

За рубежом широко применяют самоходные буровые установки на гусеничном или на колесном ходу. Бурение производится винтовыми бурами или грейферами. Устройство уширений осуществляется съемными агрегатами с роторными приводами.

Уширения в основаниях трубчатых свай или оболочек можно устраивать способом разбуривания, если эти сваи погружены забивкой или вибрированием.

Для устройства набивных свай, формируемых в обсадных трубах, существуют механизмы, позволяющие бетонировать сваи с применением сжатого воздуха, например шлюзовой аппарат Мостотреста. Такой аппарат состоит из двух патрубков, верхней и нижней воронок и клапанов. Сжатым воздухом отжимают воду из скважины и создают лучшие условия для уплотнения бетонной смеси.

## **СООРУЖЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК**

Фундаменты из сборных железобетонных оболочек, погружаемых вибрированием, находят широкое применение, что в ряде случаев позволяет избежать кессоны.

Для фундаментов опор используются оболочки диаметрами от 0,4 до 6,0 м; но более целесообразны диаметры от 0,6 до 3,0 м. Оболочки диаметром от 0,4 до 1,0 м принято называть сваями-оболочками, от 1,0 до 2,0 м - просто оболочками, а более 2,0 м - колодцами-оболочками, которые, как правило, погружают вертикально.

Секции оболочек соединяют между собой при помощи фланцевых стыков на болтах, фланцевых с нарезными наконечниками, сварных с кольцевидными патрубками (обечайками) и с лобовым швом. Иногда применяют сварные стыки с накладками, со сваркой выпущенных арматурных стержней внахлестку и др.

Наиболее надежным и удобным считают стык на болтах со сварными или литыми фланцами. Такие стыки с нарезными наконечниками применяют главным образом для соединения секций предварительно напряженных оболочек. Недостаток фланцевых стыков - большая металлоемкость и сложность изготовления. Сварные стыки требуют меньше металла, но они менее удобны при монтаже, чем литые. Сварной стык арматуры внахлестку применяют только при укрупнительной сборке оболочек на стеллажах.

Секции напрягаемых оболочек при укрупнительной сборке соединяют путем натяжения длинных арматурных стержней, пропущенных через отверстия или пазы в теле секций оболочек, с последующим монолитизацией этих отверстий и стыков.

Для уменьшения лобового сопротивления при погружении оболочек с открытым концом применяют ножи-наконечники, обычно сварные. В зависимости от плотности грунтов необходимы разные конструкции ножей. Фланцевый нож имеет большое лобовое сопротивление и пригоден для погружения в слабые грунты, сварной заостренный нож - для погружения в плотные грунты, тонкостенные ножи применяют при наличии в основании скальных грунтов.

Сваи-оболочки диаметром до 1,2 м можно погружать с открытым концом или с закрытым наконечником.

Сооружение фундаментов из сборных железобетонных оболочек включает в себя следующие технологические операции: укрупнительную сборку секций оболочек (при необходимости); погружение оболочек; разработку и извлечение грунта из их полости; разбуривание скального основания (при необходимости); заполнение полостей оболочек бетонной смесью или грунтом, сооружение плиты ростверка.

Железобетонные оболочки всех размеров погружают главным образом вибрационным или виброударным способом. Оболочки малого и среднего диаметра (до 1,3 м) в глинистые грунты можно погружать тяжелыми свайными молотами - чаще паровоздушными молотами одиночного действия. Находит применение способ свободного погружения оболочек в предварительно пробуренные скважины.

Приближенные значения параметров вибропогружателей можно принимать: при диаметрах оболочек до 0,6 м - возмущающая сила 27-50 т, момент эксцентриков 100-200 кГм; при диаметрах оболочек до 1,0 м - возмущающая сила 50-75 т, момент эксцентриков 200-250 кГм; при диаметрах оболочек до 2,0 м - возмущающая сила 100-150 т, момент эксцентриков 300-500 кГм и при диаметрах до 3,0 м - возмущающая сила 150-300 т, момент эксцентриков 500-600 кГм.

Железобетонные оболочки больших диаметров погружают спаренными вибропогружателями, работающими с электромеханической синхронизацией (ВП-80; ВП-160; ВУ-1,6; ВП-250, а также ВДД-2 и ВДД-3). Для питания электродвигателей при вибрационном погружении оболочек требуются источники питания значительной мощности.

Например, для работы только двух вибропогружателей ВП-250 требуется источник электроэнергии мощностью не менее 500 квт, а энергоемкость всего мостостроительного объекта, применяющего модные вибропогружатели может достигать в этих случаях 1000 квт и более.

Оболочку с вибропогружателем соединяют при помощи наголовника, представляющего собой переходный патрубок сварной конструкции с ребрами жесткости и имеющий фланцы для болтовых соединений с оболочкой и с вибропогружателем. Если грунт из полости оболочки извлекают при помощи эрлифта без перерывов погружения, то для пропуска пульповода и нагнетательных труб в стенке наголовника оставляют отверстие соответствующих размеров. На установку и отсоединение наголовника с болтовыми соединениями требуется много времени.

В настоящее время применяются автоматически самозакрепляющиеся и самораскрепляющиеся наголовники, прикрепляемые к свае при помощи клиньев, размещенных между конусной частью его корпуса и оболочкой.

Для крепления вибропогружателей к оболочкам находят также применение гидро- и пневмопояса, представляющие собой полые резиновые пояса, охватывающие оболочку и сжимающие ее при нагнетании воды или воздуха.

При погружении оболочек с особой тщательностью нужно обеспечивать их проектное положение в начальный период погружения. Для погружения вертикальных оболочек на суходолах или при небольшой глубине воды (до 2 м) применяют простейшие направляющие средства в виде трех гибких расчалок с лебедками; в более сложных условиях, для вертикальных и наклонных оболочек малого и среднего диаметров применяют универсальные копры порталные краны с направляющими стрелами и другие направляющие устройства, которые обычно собирают из инвентарных элементов (ИМИ-60 или УИКМ) в виде передвижных направляющих стрел или каркасов.

Передвижные направляющие стрелы, применяемые для погружения наклонных оболочек, состоят из стрелы, передвижной станины с противовесом, винтовой распорки, при помощи которой стреле придают необходимый наклон, и направляющих аппарелей. Вибропогружатель перемещают вдоль аппарелей по роликовым приспособлениям, препятствующим его отклонениям. Станину - перемещают по рельсовому пути.

Направляющие каркасы, собираемые из инвентарных элементов, используют, как правило, многократно. Эти каркасы, кроме того, используют в качестве распорных креплений котлованов и подмостей для строительного оборудования.

Направляющие каркасы в зависимости от глубины реки и других условий погружения оболочек можно располагать ниже или выше горизонта воды. Каркасы обычно монтируют при помощи плавучих кранов на плашкоутах из инвентарных понтонов или с опиранием на шпунтовые стенки и на свайные подмости, а устанавливают при помощи плавучих кранов или полиспастов, подвешенных к вышкам на понтонах; при этом предварительно забитые маячные сваи позволяют направлять при опускании и закреплять каркас в

проектном положении. Плашкоут собирают П-образной формы в плане, позволяющей выводить его после установки каркаса и размещать крановое оборудование.

При погружении большого количества оболочек среднего диаметра и большой глубине воды можно применять плавучие направляющие кондукторы, представляющие собой плашкоуты из закрытых понтонов с жестко прикрепленными направляющими ячейками в виде обойм.

Направляющие кондукторы и каркасы, располагаемые над водой, устанавливают на верхнем обресе шпунтовых стенок или, если глубина воды небольшая, на подмостях из свай, а также на плашкоутах при отсутствии больших волнений.

Каркасы на плашкоутах надежно закрепляют в проектном положении якорными расчалками. После погружения вертикальных маячных свай к ним крепят каркас. В его ячейках устанавливают направляющие деревянные брусья по образующим поверхности погружаемой оболочки. Необходимые зазоры между брусьями и оболочкой принимают от 2 до 5 см, наименьшую длину направляющих брусьев - 4 м для вертикальных оболочек и 6 м для наклонных.

Перед погружением оболочки доставляют, поднимают и устанавливают в требуемое положение. При относительно небольших размерах и малой глубине погружения оболочки можно предварительно собрать на полную их длину и в готовом виде доставить и установить на место. Хотя такой способ упрощает технологию погружения, особенно если оболочки погружают с закрытым концом или с непрерывным извлечением грунта эжекторами, однако возможности укрупнительной сборки ограничены грузоподъемностью кранов и транспортных средств. Секции оболочек среднего и большого диаметров наращивают по мере погружения. Перед установкой каждой секции снимают вибропогружатель вместе с наголовником. В перерывах погружения, вызываемых необходимостью наращивания секции оболочки, обычно извлекают грунт из ее полости.

Секции оболочек больших диаметров (более 4 м) весом 20-35 т доставляют к месту работ обычно с помощью плавучих кранов. При наличии мощных кранов удается предварительно укрупнить до трех секций общим весом до 70 т. При глубине воды, превышающей 12-15 м, общий вес всех собранных секций в пределах глубины воды даже с учетом их взвешенности в воде может значительно превышать грузоподъемность кранов. Опускать такую оболочку на дно приходится при помощи тросов и полиспастов, прикрепленных к установленным на плашкоутах башенным подмостям из инвентарных элементов и к ношу оболочки. Погружать тяжелые оболочки на дно при большой глубине воды можно путем придания им плавучести устройством временных днищ или потолков. Можно также использовать рельеф дна водоема с тем, чтобы последовательно наращивать секции плавучим краном на разных глубинах, а затем перемещать собранную часть оболочки под водой, используя при этом их взвешенность в воде.

Разработка и извлечение грунта из полости оболочек - одна из основных технологических операций, определяющих общие сроки сооружения фундамента.

Пески, супеси и слабые суглинки обычно успешно разрабатывают и извлекают гидромеханическими способами. Слабосвязные грунты удается извлекать пневматическими и гидравлическими эжекторами (эрлифтами и гидрозлеваторами) без предварительного образования пульпы путем размыва или механического рыхления грунтов. Связные супесчаные и суглинистые грунты размывают напорной водой или разрыхляют механическими рыхлителями. Приспособления для размыва грунтов - подмывные иглы, как правило, присоединяют к эжектору. Встречающиеся при погружении оболочки препятствия в виде крупных валунов обычно сдвигают в сторону коническим долотом или разбивают.

Извлекать грунт из оболочек эжекторами в ряде случаев можно не периодически, а непрерывно в процессе погружения оболочки. При этом гибкие трубопроводы пропускают в отверстия, образованные в стенках наголовника. Так как скорость погружения оболочки и скорость извлечения грунта из ее полости не одинаковы, нужно предусматривать приспособления, позволяющие перемещать эрлифт относительно оболочки, и закреплять его в требуемом положении.

Связные грунты, в том числе и плотные глины можно извлекать из оболочки эжектором, если предварительно их разрыхлить и превратить в пульпу. Разрыхлять глинистые грунты можно механическими рыхлителями с вращающимися шарошками, приводимыми в движение турбинами (турбобурами) или роторами через жесткие штанги. Находят применение долота ударного действия с радиальным расположением ножей, снабженные эрлифтом для извлечения пульпы.

Для разработки плотных грунтов и твердых включений, а также для создания уширений в основании оболочек применяют универсальные рыхлители РУ, представляющие собой турбобуровые станки с шарошечными долотами. Станок РУ-4, предназначенный для разработки любых грунтов, состоит из турбобура Т-12-М, ручной лебедки для его перемещения (что позволяет разрабатывать грунт во всех частях забоя и делать уширения оснований), лебедки для подъема колонны, лебедки для поворота колонны, насосной

$M^3 / ч$

установки, эрлифта, направляющего фонаря и другого оборудования. Производительность РУ-4 до 6

плотных грунтов. Грунт разрабатывают последовательной проходкой штраб шириной, соответствующей диаметру долота. Штрабы могут быть кольцевыми или диаметральными.

Недостатки станка РУ:

- конструкция его громоздка и требует много времени для монтажа и демонтажа,
- тросовая система отклонения турбобура недостаточно надежна и удобна;
- долота работают только боковыми частями и часто выходят из строя.

Связные плотные грунты можно разрыхлять размывом при условии увеличения напора воды до 20-60 ат; большой напор создают мощными многоступенчатыми центробежными насосами при последовательном их включении.

Более производительной оказывается разработка и извлечение связных грунтов из оболочек малогабаритными грейферами одноканатными, двухканатными и четырехканатными. Размеры грейфера должны быть меньше внутреннего диаметра оболочки на 15-30 см.

Плотный грунт может захватываться лопастями грейферов, если создается необходимое усилие для углубления челюстей в грунт. При обычной конструкции грейфера это усилие создается собственным его весом. У малогабаритных грейферов вес невелик и оказывается для этой цели недостаточным. Искусственное увеличение веса грейфера часто нецелесообразно, так как это снижает коэффициент его полезной работы. Более целесообразным и производительным следует считать применение одноканатного грейфера-долота, сбрасываемого в забой с некоторой высоты с помощью станка УКС или другого приспособления. При таком режиме работы дополнительное усилие создается благодаря ударному эффекту без увеличения веса грейфера.

Для разработки связных грунтов в оболочках перспективно вибродолото на жесткой штанге.

Для извлечения связных грунтов из оболочек применяют и другие способы. Например, извлечение мягкопластичных грунтов при помощи винтового бура на жесткой штанге (типа завинчивающейся сваи), который периодически погружают в грунт роторной установкой и извлекают из оболочки краном; подобные приспособления могут иметь особую форму лопасти в виде ложки. Однако такие способы, как правило, малопродуктивны.

Эффект вибропогружения оболочек в большой степени зависит от своевременного извлечения грунта из их полостей и от того, на какую глубину оболочка освобождается от грунта. Несвязные грунты можно разрабатывать не на всю глубину оболочки, а в тяжелых глинистых при необходимости прибегать к опережающей разработке грунта в забое на глубину, равную иногда трем диаметрам оболочки. При всех условиях разработку грунта нужно заблаговременно прекращать с тем, чтобы в оболочке после завершения погружения оставалась уплотненная грунтовая пробка высотой, равной 1-2 диаметрам.

Вибропогружение железобетонных оболочек средних и больших размеров вследствие большого их веса требует мощных двигателей и оказывается очень энергоемким, что снижает экономические показатели. Применение оболочек из стальных тонкостенных труб позволяет уменьшить энергоемкость вибропогружения и заметно повысить его эффективность, особенно в связных грунтах; такие оболочки целесообразно использовать как инвентарь только для крепления стенок скважины. Грунт из полости стальных оболочек извлекают одним из описанных ранее способов. После погружения оболочки до проектной отметки и извлечения грунта ее полость можно заполнять цилиндрическими бетонными блоками, железобетонными оболочками или бетонной смесью. По мере заполнения скважины стальную оболочку извлекают вибрационным способом, и при этом раствор значительно уплотняется. Не исключена возможность применения инвентарной стальной оболочки в сочетании с тиксотропной рубашкой.

Скальные грунты в основании железобетонных и стальных оболочек разбуривают одним из способов, описанных ранее; чаще применяют ударно-канатный способ бурения.

Скважину после бурения промывают струей воды, а шлам извлекают эрлифтом.

Оболочки после их погружения до скальных грунтов могут опираться на них только одной стороной ножа, а с противоположной стороны между ножом и скальным грунтом образуется зазор. При мелкодисперсных слабосвязных грунтах через этот зазор и трещины в скале может постоянно выноситься грунт и заполнять скважину. Чтобы избежать этого в оболочку перед бурением породы опускают замес бетонной смеси, которая от ударов долота проникает в щель, схватывается и препятствует выносу грунта. С этой же целью создают обратный напор путем заполнения оболочки водой выше уровня воды в реке. При разности уровней до 2-4 м происходит инфильтрация и грунт удерживается благодаря гидродинамическому эффекту.

В дисперсных грунтах для увеличения несущей способности оболочек часто устраивают уширения оснований при помощи:

- модернизированной буровой установки ЦНИИС;
- камуфлетирования взрывом кольцевых зарядов ВВ, расположенных по периметру ножа;
- вибротрамбования.

Возможны и другие приемы создания уширений, например электрохимический способ.

Полости оболочек после их погружения частично или полностью заполняют бетонной смесью, как правило, без водоотлива методом ВПТ. Перед бетонированием в скважину предварительно погружают арматурный каркас высотой, обычно равной удвоенной глубине скважины. Оболочки больших диаметров заполнять смесью полностью нецелесообразно, их бетонируют частично, только в местах, где это необходимо; в таких оболочках вместо заполнения устраивают несущие перегородки. При этом после укладки тампонажной подушки откачивают воду, устанавливают опалубку и арматуру, а затем бетонируют перегородки. В некоторых случаях утолщают стенки оболочки, устанавливая для этого опалубку. Пустоты между несущими перегородками, особенно в местах изменения горизонта воды, иногда заполняют гидрофобным грунтом (грунтом, пропитанным нефтяными отходами).

## **СООРУЖЕНИЕ ВЫСОКИХ СВАЙНЫХ РОСТВЕРКОВ**

Высокие свайные ростверки опор возводят из деревянных, металлических или железобетонных свай, а также из железобетонных и стальных оболочек диаметром от 0,4 до 3,0 м. Наиболее распространены ростверки на сваях и оболочках, объединенных железобетонной плитой. Особенностью сооружения высоких ростверков в русле реки является ограждение от воды пространства, ограниченного контурами плиты.

При относительно небольшой глубине воды (до 4-5 м) плиту сооружают в шпунтовом ограждении из деревянного или металлического шпунта, если грунтовые условия благоприятны для его забивки. Основанием для опалубки днища плиты может служить грунтовая подсыпка, которую после забивки свай намывают землесосным снарядом или другим способом. Перед бетонированием плиты ростверка при малодренующих грунтах насосами откачивают воду до уровня основания плиты, устраивая зумфы ниже этого уровня. При дренирующих грунтах, когда водоотлив затруднителен, создают тампонажный слой ниже основания плиты, препятствующий проникновению воды или резко снижающий ее приток.

В зависимости от фильтрационной способности грунтов и гидростатического давления в уровне основания плиты тампонажный слой создают или одним из способов подводного бетонирования (чаще способом ВПТ), или укладкой слоя глины ниже засыпки. При всех условиях бетонный тампонажный слой должен быть расположен ниже проектной отметки основания плиты.

После устройства тампонажного слоя и откачки воды устанавливают опалубку и арматуру, а затем бетонируют плиту или собирают ее из отдельных блоков.

Если забивка шпунта затруднительна или нерентабельна, то при такой же глубине воды может быть применено ограждение в виде бездонного ящика с наружным обвалованием. Успешное применение находят ограждения из понтонов, например из понтонов КС, соединенных болтами и образующих бездонный ящик. Погружают и извлекают ящики из понтонов водной балластировкой самих понтонов. В качестве водонепроницаемого ограждения при сооружении высоких ростверков можно применять бездонный ящик из железобетонных (шандорных) плит, закладываемых в пазы между полками двутавровых стоек его каркаса.

Когда прочность бетона плиты достигает проектного значения, извлекают шпунт или демонтируют ящик; грунт засыпки течением воды размывается и сносится.

Ограждение для устройства плиты ростверка при небольшой скорости течения можно устанавливать не на дно водоема, а на предварительно отсыпанную песчаную призму с естественными откосами.

При большой глубине воды (более 6-8 м) высокий ростверк целесообразнее сооружать с применением ящиков с днищем. Такие ящики-каркасы обычно изготавливают на берегу и перемещают к месту установки на плаву. Ящики можно изготавливать так, чтобы они обладали собственной плавучестью или поддерживались понтонами при перемещении и установке в проектное положение. Можно также изготавливать ящик на месте на вспомогательных свайных подмостях с последующим его погружением на проектную отметку и закреплением.

Ящики делают деревянными или железобетонными, а также с деревянным или железобетонным днищем и со стенками из инвентарных металлических щитов. Конструкция ящика-каркаса должна обеспечивать изоляцию сооружаемой плиты ростверка от воды, а также проектное направление свай при их погружении. Так как внутренние распорки ящиков трудно извлекать обратно в процессе бетонирования плиты, то их используют в качестве жесткой арматуры плиты ростверка и оставляют в бетоне. Если применяют каркас ящика из инвентарных элементов, и он должен извлекаться по мере бетонирования плиты, то в плите устанавливают гибкую арматуру.

Если в пределах высоты ящика длина направляющих приспособлений недостаточна, то дополнительный направляющий каркас или другие направляющие устройства размещают над ящиком.

Чаще для возведения ростверков применяют деревянные ящики, не обладающие собственной плавучестью; при перемещении и установке они наполняются водой, так как ячейки для свай в днище остаются открытыми. Такие ящики поддерживают понтонами или подвешивают к П-образным плашкоутам из понтонов КС.

Ростверк сооружают в следующей последовательности: вначале ящик вместе с поддерживающими его плавучими средствами устанавливают в проектное положение в плане и закрепляют гибкими расчалками к якорям. Затем забивают не менее четырех вертикальных свай (возможно ближе к углам ящика), используя ячейки каркаса-ящика как направляющие. Если в ростверке все сваи наклонны, то забивают дополнительные (маячные) вертикальные сваи, обычно деревянные. Затем водной балластировкой "глухих" понтонов или загрузкой твердым балластом ящик погружают по вертикальным сваям до проектной отметки и прикрепляют к ним. После закрепления ящика-каркаса погружают все сваи, включая наклонные, по соответствующим направляющим в ячейках каркаса.

Для устранения или уменьшения щелей между сваями и днищем с помощью водолаза опускают по сваям деревянные кольцевидные заглушки. Водонепроницаемость днища ящика обеспечивают укладкой тонкого слоя подводного бетона. После откачки воды из ящика армируют и бетонируют плиту ростверка; затем разбирают ящик и все вспомогательные устройства.

Ящики, обладающие собственной плавучестью, изготавливают на берегу на стапелях и перемещают к месту установки буксиром. Стенки, внутренние перегородки и днище ящика могут быть железобетонными сборными; стенки, кроме того, могут быть сборными из инвентарных металлических щитов. Каркас ящика можно сваривать из уголков или других профилей и оставлять его в теле бетона плиты ростверка в качестве жесткой арматуры. В днище ящика оставляют отверстия, над которыми укрепляют патрубки из металлических или железобетонных труб, выведенные выше обреза стен и прикрепленные фланцевыми соединениями к днищу и каркасу.

Патрубки сохраняют плавучесть ящика и обеспечивают направления свай при погружении. Диаметр патрубков должен быть на 2-3 см больше диаметра пропускаемой через них сваи-оболочки, чтобы лучше обеспечивалось ее направление при погружении. К сваям ящик закрепляют соединением их голов с верхними фланцами патрубков, а также заполнением зазоров между сваями и патрубками расширяющимся цементом.

Головы свай можно соединять с патрубками при помощи опорных устройств, сваренных из листовой стали. Если головы свай оказываются внутри патрубка, то зазор между верхом сваи и крышкой патрубка заполняют прокладками. После погружения и закрепления свай бетонируют плиту ростверка.

Применяют в мостостроении конструкции ящиков, у которых направляющие патрубки устанавливают только для четырех вертикальных свай, а отверстия в днище в местах расположения остальных свай закрывают заглушками из просмоленных досок. После установки в проектное положение и закрепления на вертикальных сваях такого ящика забивают остальные сваи; выбивая заглушки, ящик заполняют водой. Направляющими для свай служат ячейки каркаса ящика или направляющие приспособления, расположенные выше ящика. После забивки всех свай на дно ящика укладывают тампонажный слой бетона, откачивают воду, армируют и бетонируют плиту насухо.

При сооружении столбчатых фундаментов из оболочек большого диаметра способы устройства плиты ростверка имеют некоторые особенности. Вертикальные оболочки погружают до устройства водонепроницаемого ограждения, а направляющими для них служат специальные каркасы. Ящики или перемишки для бетонирования плиты собирают и устанавливают на проектную отметку с опиранием на вершины уже погруженных оболочек. Верх оболочек должен быть выше рабочего горизонта воды, для этого их собирают с дополнительными секциями.

Для устройства плит ростверка применяют также металлические инвентарные перемишки, изготовленные из швеллеров № 30 и листовой стали толщиной 6 мм. Перемишку подвешивают к опорным балкам, опертым на оболочку фундамента с помощью тросов. Деревянное днище из брусьев, прикрепленное к перемишке при помощи тросов, имеет круглые отверстия, диаметр которых на 10 см больше диаметра оболочек. После погружения перемишки вместе с днищем на проектную отметку и закрепления ее на оболочках устраивают тампонажную подушку для устранения притока воды снизу через щели дна. Перед подводным бетонированием подушки зазоры между днищем и оболочками закрывают (с помощью водолазов) деревянными кружалами.

Чтобы обеспечить возможность отрыва перемишки от тампонажной бетонной подушки, ей в нижней части придают уклон 5:1. После укладки подводного бетона и откачки воды бетонируют плиту ростверка и надфундаментную часть опоры. Когда прочность бетона позволяет снимать опалубку, перемишку отделяют от тампонажного бетона двумя гидравлическими домкратами и снимают с опоры плавучим краном.

Фундаменты опор мостов в условиях многолетне-мерзлых грунтов или при наличии просадочных грунтов сооружают с учетом особенностей технологии, свойственной таким условиям.

При производстве работ по сооружению фундаментов необходимо выполнять требования техники безопасности, изложенные в СНиП и в специальных инструкциях.

## **СООРУЖЕНИЕ ОПОР ВЫШЕ ОБРЕЗА ФУНДАМЕНТА**

### **КОНСТРУКЦИЯ ОПАЛУБКИ МОНОЛИТНЫХ ОПОР**

Конструкция опалубки опоры должна удовлетворять требованиям достаточной прочности, жесткости и неизменяемости форм. Кроме того, она должна быть непроницаемой для цементного раствора и иметь плотные соединения, обеспечивающие гладкую лицевую поверхность бетонной кладки. Конструкция опалубки должна соответствовать принятому способу бетонирования. Например, для качественного бетонирования тонкостенных конструкций (крылья устоев и др.) необходимо предусматривать закладные доски, устанавливаемые по мере бетонирования. Элементы опалубки проверяют расчетом.

В зависимости от размеров и сложности конструкции опор, а также от количества однотипных опор применимы различные типы опалубки:

- стационарная,
- сборная щитовая,
- подвижная (скользящая)
- опалубка-облицовка.

В некоторых случаях оказывается целесообразной комбинированная опалубка, например стационарная для сложных элементов и сопряжений и щитовая для более простых частей опоры.

Элементы деревянной стационарной и щитовой опалубки обычно изготавливают в деревообделочной мастерской строительства.

Стационарная опалубка. Стационарную опалубку применяют для опор, форма которых не имеет повторений. Такая опалубка может быть с вертикальным или с горизонтальным расположением досок.

Расположение досок зависит от формы опоры и других особенностей ее конструкции; например, в опалубке цилиндрической формы опоры доски нужно располагать вертикально. В опалубке тонкостенных прямолинейных конструкций предпочтительнее горизонтальное расположение досок. Толщину досок опалубки обычно применяют 30-60 мм. Расстояние между осями горизонтальных ребер (пролет доски) зависит от интенсивности давления бетонной смеси и толщины досок. Пролет доски принимают от 0,7 до 1,5 м.

Горизонтальные ребра каркаса представляют собой брусья с размерами сторон сечения от 10 до 16 см. Расстояние между осями стоек (пролет горизонтального ребра) назначают от 1,2 до 2,0 м. Стойки в виде бревен или брусьев имеют сечения от 16 до 20 см. Тяжи с нарезкой на концах изготавливают из металлических круглых стержней диаметром от 14 до 22 мм.

В опалубке с горизонтальным расположением досок размеры сечений и длины пролетов элементов (доски и вертикального ребра) принимают в тех же пределах, как и для опалубки с вертикальным расположением. Элементы горизонтальной обвязки обычно представляют собой брусья с размерами сторон сечения от 14 до 18 см.

Ребра опалубки можно скреплять со стойками болтами или тяжами, пропущенными через узлы соединений и гаек.

Каркас опалубки закругленных частей опоры выполняют из кружальных ребер, которые обычно изготавливают из досок, скрепленных в два или три слоя гвоздями. Толщину кружальных досок принимают от 40 до 60 мм. При цилиндрической поверхности опоры опалубочные доски устанавливают вертикально, а при конической - наклонно по направлению образующих поверхности; доскам (через 2-3) придают клиновидную форму. Горизонтальные ребра плоской опалубки соединяют с кружалами при помощи болтов или гвоздей.

Пример стационарной опалубки с вертикальным расположением досок показан. Каркас опалубки состоит из горизонтальных ребер, объединенных в замкнутые обвязки-рамы с кружалами, монтажных стоек и тяжей. Нижнюю обвязку крепят к фундаменту анкерными болтами, оставляемыми для этой цели в теле бетона фундамента. На закругленных участках опалубки устанавливают радиальные тяжи, соединенные через проушины с продольными тяжами; тяжи пропускают через установленные для этой цели стойки.



При относительно небольшой ширине опоры (до 5-6 м) вместо радиальных тяжей иногда применяют гибкие бандажи из полосовой стали или арматурных стержней, опоясывающие закругленную часть опоры и прикрепленные своими концами к горизонтальным ребрам плоской части опалубки.

Элементы временных креплений и из досок, которые обеспечивают жесткость и неизменяемость формы порожней опалубки, по мере укладки бетонной смеси удаляют.

Тяжи, соединяющие плоские стенки опалубки, можно располагать в каждом узле, т.е. в каждом пересечении ребер и стоек, или через узел в шахматном порядке. Чтобы избежать ржавых потеков на бетоне у концов тяжей, на них при установке опалубки надевают коротыши из досок, выступающие за лицевую грань опалубки и образующие после раскруживания углубления в бетоне. Концы тяжей обрезают внутри этих углублений, а углубления заделывают впоследствии бетоном.

Применяют также инвентарные наконечники для тяжей. Такой наконечник пропускают через отверстия в элементах опалубки и навинчивают на нарезной конец тяжа. На каркас опалубки наконечник опирается через гайку и шайбу. Чтобы при разопалубливании наконечник можно было легко вывернуть, его поверхность перед бетонированием смазывают солидолом.

Чтобы поверхность бетона была гладкой и ровной, нужно для опалубки применять строганные доски и сплачивать их в четверть или в шпунт. Полезно лицевую поверхность опалубки обшить фанерой или жостью. Швы между досками, особенно если доски сплачивают впритык, нужно конопатить. Внутреннюю поверхность опалубки перед бетонированием рекомендуется обмазывать раствором извести, мела или глины, чтобы доски легко отделялись от бетона при снятии опалубки. Для этой же цели можно применять обмазку или покрытия из синтетических материалов.

Во избежание скалывания бетона углы опалубки устраивают скошенными (делают фаски из реек треугольного сечения).

Опалубку высоких опор возводят обычно частями (ярусами) последовательным бетонированием.

Недостатки стационарной опалубки - трудоемкость возведения и большой расход лесоматериалов. На 1  $\text{м}^2$  поверхности бетона расходуется от 0,06 до 0,12  $\text{м}^3$  лесоматериалов, причем возвращенный материал обычно оказывается малопригодным для повторного использования.

Щитовая опалубка. Применение опалубки из заранее изготовленных инвентарных щитов, используемых многократно, позволяет резко сократить расход материалов и трудоемкость опалубочных работ. Экономия лесоматериалов и металла зависит от числа повторных применений опалубочных щитов, т.е. от их оборачиваемости. Стоимость опалубочных работ составляет иногда 30% от общей стоимости сооружения опоры, поэтому экономия лесоматериалов при многократном использовании щитовой опалубки позволяет значительно снизить общие расходы. Наиболее часто применяют деревянные опалубочные щиты, изготавливаемые из досок и брусьев, реже деревометаллические и металлические из листов толщиной 2-5 мм и уголков.

Щиты опалубки должны быть транспортабельны, а их форма и конструкция удобны в сборке при помощи простых грузоподъемных средств. Следует стремиться к наименьшему числу марок щитов. Так для опалубки плоских граней опоры обычно удается ограничиться одним типом щита, т.е. одной маркой, а для опор с коническим очертанием поверхности количество марок щитов зависит от принятой высоты щита и высоты опоры.

Опалубка из щитов может быть возведена сразу на всю высоту опоры или на значительную ее часть. Оборачиваемость щитов в этом случае соответствует количеству последовательно бетонлируемых опор. Большая оборачиваемость опалубочных щитов достигается при ярусном бетонировании опоры, при котором щиты многократно оборачиваются в процессе бетонирования одной опоры. Здесь надо применять щиты, соединяемые между собой наименьшим количеством тяжей, или так называемые универсальные щиты.

Плоские опалубочные щиты имеют форму прямоугольников, причем если большая его сторона расположена горизонтально, то такие щиты принято называть горизонтальными, а если вертикально, то вертикальными.

Из условий транспортабельности и удобства монтажа размеры щитов назначают в пределах от 4 до 12  $\text{м}^2$ . Очень большие щиты неудобны и непрочны при переноске, оборачиваемость их низкая. Поэтому щиты

площадью более 20  $\text{м}^2$  не применяют.

Разбивка поверхности опоры на опалубочные щиты, т.е. маркировка щитовой опалубки, различна при горизонтальных и вертикальных щитах. Хотя количество марок вертикальных щитов для опор с

закруглениями оказывается несколько меньшим, чаще применяют горизонтальные щиты, которые в большинстве случаев оказываются более удобными.

Щиты иногда изготавливают больших размеров: до  $a=5$  м,  $b=4$  м. Это возможно в тех случаях, когда не требуется перевозка их на большие расстояния.

Противоположные стенки опалубки из щитов так же, как и стенки стационарной опалубки, соединяют между собой тяжами из стальных стержней, воспринимающих горизонтальное давление бетона.

Размещение тяжей в углах каждого щита нерационально, так как при этом в сопряжениях группируется по 2-4 тяжа, расположенных рядом. Тяжи могут быть размещены так, но при этом следует учитывать, что горизонтальные ребра на участках и вертикальные ребра на участках работают как консоли, так как соединения между соседними щитами обычно работают только на растягивающие усилия, действующие в плоскости опалубки, и по своей конструкции не могут воспринимать изгибающих моментов.

Тяжи можно пропускать в стыках между щитами. В этих случаях давление на тяжи от соседних щитов должно передаваться через дополнительные элементы, выполняющие роль шайб. При щитовой опалубке, как правило, применяют инвентарные наконечники для тяжей.

Простейший вертикальный щит - ширину таких щитов принимают в пределах 0,8-1,2 м, а высоту - 4-5 м; скрепляют их обычно накладными горизонтальными ребрами, через которые пропускают тяжи.

Более экономичны универсальные щиты, конструкция которых приспособлена для повторного использования в процессе бетонирования одной опоры. Особенность конструкции этих щитов заключается в том, что по мере бетонирования и схватывания бетона можно последовательно переставлять их с нижнего яруса в верхний (через один ярус). Чтобы обеспечить такую возможность при минимальном потребном количестве тяжей, последние устанавливают в горизонтальном стыке между щитами (на границах ярусов) для восприятия давления от обоих смежных щитов.

Инвентарные наконечники тяжей пропускают через отверстия в горизонтальном прогоне, внешняя грань которого окантована полосовым металлом. Чтобы ребра верхнего щита можно было при установке завести за прогон нижнего щита и опереть их на него, ребрам придают наклоны к середине. Торцы ребер нижнего щита при этом смещаются и не мешают проходу ребер верхнего щита. В нижней доске каждого щита устраивают продольные вырезы, через которые пропускают тяжи. Чтобы можно было снять и переставить выше щиты нижнего яруса, необходимо убрать инвентарные наконечники тяжей из прогона. Так как при этом верхние щиты теряют одну из опор (нижнюю), воспринимавших горизонтальное давление от слоев свежеложенного бетона, то необходимо устанавливать в нижних частях всех щитов анкерные крюки, которые и воспринимают это давление после снятия наконечников тяжей.

Для соединения и крепления деревянных щитов между собой в вертикальных стыках применяют различные приспособления. Щиты стягивают болтом, головка и гайка которого опираются на консольные упоры с подкосами. Прочность болтового соединения и упоров такого приспособления проверяют расчетом. С помощью подобных устройств можно соединять криволинейные щиты, плоские между собой и с закругленными щитами.

В закругленной части опалубки опоры устанавливают радиальные тяжи и бандажи или крепят щиты так же, как в стационарной опалубке.

При прямоугольной форме сечения опор для угловых сопряжений щитов применяют соединительные устройства из треугольных рамок.

Большими преимуществами обладает металлическая щитовая опалубка, широко применяемая в условиях заводского изготовления элементов сборных опор и пролетных строений. Для бетонирования монолитных опор мостов она применяется редко. Металлическая опалубка тяжелее деревянной, поэтому размеры ее щитов относительно небольшие: щит из стали или алюминия представляет собой простую сварную или клепаную конструкцию из листового металла толщиной 3-5 мм, окантованного по периметру уголками (рис. 104); для пропуска тяжей окаймляющие уголки и листы в углах щита срезают. Щиты соединяют болтами, устанавливаемыми в полках окаймляющих уголков.

Щиты опалубки можно изготавливать из различных полимерных материалов при условии многократного их использования.

Для удлинения срока службы щитов нужно предотвращать сцепление бетона с опалубкой. Для этой цели применяют смазку, но она может оставлять следы и потеки на поверхности бетона. Не оставляют следов пленки из полимерных материалов, наклеиваемые на опалубку; они без особых усилий отделяются от бетонной поверхности.

Подвижная опалубка. Подвижная (скользящая) опалубка целесообразна главным образом при бетонировании стоек надсводных строений и эстакад, а также высоких опор, имеющих относительно простые формы.

Опалубка, применяемая для бетонирования опор с неизменной формой поперечных сечений, состоит из каркаса и опалубочных щитов. Каркас представляет собой две замкнутые горизонтальные рамы, расположенные в верхней и в нижней частях опалубки. Элементы каркаса деревянной подвижной опалубки изготовляют из брусьев, а металлический каркас - из двутавровых балок или швеллеров.

В подвижной опалубке опору бетонируют непрерывно и равномерно с заданной скоростью укладки бетонной смеси, соответствующей скорости движения опалубки. Высота опалубки должна быть такой, чтобы бетон, освобождающийся при ее продвижении, имел прочность, которая требуется для сохранения приданной ему формы.

В соответствии со средней интенсивностью укладки бетонной смеси высоту подвижной опалубки обычно принимают равной 1,3 м. Верх бетонной кладки должен быть ниже верхнего среза опалубки не менее чем на 0,2 м. Таким образом, высота  $H$  рабочей поверхности опалубки оказывается равной 1,1 м; скорость движения опалубки (в м/ч) можно определить по формуле

$$V = \frac{H}{t_{cx} + 2}$$

$t_{cx}$

где  $t_{cx}$  - время от начала приготовления до конца схватывания бетона и для применяемых цементов, равное 4 ч.

Опалубку можно перемещать при помощи лебедок и полиспастов, установленных на ригеле портала или на подмостях. Наиболее равномерно и непрерывно перемещают опалубку механизмами из набора редукторов и электромотора. Как правило, опалубку опор перемещают винтовыми домкратами, опирающимися на установленные для этой цели в бетоне вертикальные арматурные стержни диаметром 22-30 мм через 2-2,5 м по всему периметру сечения опоры и на расстоянии 15-20 см от ее граней. Стержни оставляют в теле бетона. Домкраты приводят в движение последовательно, через определенные промежутки времени.

Винтовой домкрат, основной деталью которого является трубка с наружной нарезкой, опирается на пропущенный внутри ее стержень при помощи плашек, которые врезаются в металл стержня при усилии в домкрате, направленном вниз. Плашки присоединены к подвижной буксе болтами и прижимаются к стержню пружинами. Гайка прикреплена к рамке, которая в свою очередь жестко соединена с опалубкой. При вращении головки домкрата рычагом, пропущенным через отверстия в головке, гайка перемещается по нарезке трубы и увлекает за собой рамку и опалубку. При вращении головки в противоположном направлении букса поднимается, а плашки при этом свободно скользят по поверхности стержня. Таким образом, домкрат перемещается относительно стержня и создает возможность поднять опалубку на следующую ступень.

К опалубке присоединены нижние подмости для осмотра поверхности бетона. Кроме того, нижние подмости, жестко соединенные с опалубкой и установленные с достаточной точностью, позволяют направлять движение опалубки. Верхние подмости предназначены для рабочих, бетонирующих опору и перемещающих опалубку.

В подвижной опалубке не ставят тяжести. В связи с этим при больших размерах опор деревянные каркасы становятся громоздкими. Поэтому для рам каркаса лучше применять металлические двутавровые балки или швеллеры сечением до № 30. Такие рамы, замкнутые по периметру опоры прямоугольного очертания или с закруглениями, устанавливают обычно в двух плоскостях - в верхней и нижней частях опалубки.

Щиты опалубки представляют собой стальные листы толщиной 3-6 мм с приваренными вертикальными ребрами жесткости. Этими же ребрами щиты оперты на рамы каркаса и прикреплены к ним.

Для бетонирования прямоугольной (в плане) опоры, грани которой наклонены, конструкция подвижной опалубки должна иметь приспособления, позволяющие сближать противоположные стенки опалубки по мере ее перемещения вверх с сохранением заданного уклона стенок.

Одной из таких конструкций является следующая подвижная опалубка. Каркас опалубки состоит из горизонтальных ребер (двутавровых балок и швеллеров), замкнутых в рамы. Продольные ребра сближают путем вращения стяжных винтов. Винты верхней и нижней рам вращаются от общего червячного привода. Опалубку перемещают при помощи домкратов, опирающихся на арматурные стержни, причем винты и домкраты вращают совместно с таким соотношением скоростей, которые соответствуют заданному уклону продольных граней опоры.

Принудительное сближение поперечных ребер каркаса достигается клиновидными фасонками, прикрепленными к концам продольных ребер. В скошенные края фасонки опираются ролики, помещенные между ветвями поперечных ребер. Соотношение скоростей перемещения продольных и поперечных ребер, а, следовательно, и соотношение уклонов граней опоры зависит от величины угла скоса фасонки; причем

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{i_{np}}{i_{non}}$$

где  $i_{np}$  - уклон продольной грани опоры, а  $i_{non}$  - поперечной.

Щиты опалубки представляют собой стальные листы с вертикальными ребрами жесткости, которыми они оперты в рамы каркаса; ребра жесткости угловых щитов имеют свободные опирания. При сближении граней концы листов углового щита заходят под листы плоских соседних щитов и, таким образом, обеспечивается непрерывная опалубочная поверхность при всех положениях ребер каркаса.

Тот же принцип может быть использован в подвижной опалубке для опор с криволинейными сопряжениями плоских граней.

Есть способ сближения ребер каркаса при помощи приспособления - продольные и поперечные ребра сближают при помощи установленных вертикально клиновидных уголков со скошенными полками, которые жестко прикрепляют к фундаменту или к бетону готовой части опоры. Полки каждого из четырех уголков срезаны под углом, соответствующим уклонам граней опоры, и размещены между направляющими гребнями, которые прикреплены к концам ребер каркаса. Продольные и поперечные ребра каркаса имеют подвижные соединения с болтами и прорезями. При подъеме опалубки ребра каркаса сближаются при помощи скошенных полок уголков, которые при этом упираются на направляющие гребни. Клиновидные уголки в верхних частях соединены по диагонали тяжами. Вследствие давления бетонной смеси на опалубку полки этих уголков остаются всегда плотно прижатыми к направляющим гребням.

Чтобы сохранялись прямые углы между ребрами каркаса при перемещении опалубки, в углах рам каркаса устанавливают фиксаторы, прикрепленные к болтам и снабженные роликами, скользящими по граням ребер, ограничивающие смещение.

Наряду с различными типами опалубки для бетонирования опор сплошного сечения существует конструкция опалубки, позволяющая бетонировать тонкостенные коробчатые опоры постоянного сечения.

Электронный текст документа подготовлен  
 ЗАО "Кодекс" и сверен по:  
 Общероссийский общественный фонд  
 "ЦЕНТР КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА"  
 г.Санкт-Петербурга