

## ЗЕМЛЯНЫЕ, БУРОВЫЕ И СВАЙНЫЕ РАБОТЫ

Строительство зданий и сооружений вызывает необходимость переработки грунтов, включающей их разработку, перемещение, укладку и уплотнение. Весь комплекс этих процессов называют *земляными работами*.

Удельный вес земляных работ в общем объеме строительно-монтажных работ очень велик и составляет около 15 % по стоимости и до 20 % по трудоемкости. На земляные работы приходится около 10 % всех рабочих, занятых в строительстве. Объемы земляных работ постоянно растут и в будущем, при увеличении стоимости земли и, вследствие чего, необходимости увеличения подземной части зданий и сооружений, будут только увеличиваться. Переработка такого количества грунта возможна лишь при условии комплексной механизации и эффективной технологии производства работ.

Одним из важных резервов снижения объемов земляных работ, а, следовательно, и стоимости строительства является обеспечение привязки зданий и проектирование вертикальной планировки с учетом рельефа местности.

Снижение стоимости и трудоемкости земляных работ следует достигать, используя рациональные проектные решения, обеспечивающие максимальную сбалансированность необходимых выемок и насыпей при минимальных расстояниях перемещения грунта, комплексы машин, что сводит к минимуму объемы работ, выполняемых вручную.

В настоящее время земляные работы в основном выполняют механизированные комплексы, а ручная разработка грунта предусмотрена только в местах, недоступных для машин, так как производительность ручного труда в 20...30 раз ниже механизированного, что существенно влияет на общие затраты труда.

Промышленность выпускает различные высокопроизводительные землеройные, землеройно-транспортные, уплотняющие машины и механизмы. Выбор комплекта машин и способа производства работ осуществляют на основании технико-экономического анализа различных вариантов.

Важными условиями дальнейшего совершенствования технологии земляных работ являются: рациональная организация производства земляных работ по времени года — сокращение объемов работ, выполняемых в зимнее время; повышение доли применения высокопроизводительных землеройных машин; создание и внедрение в производство комплектов машин для засыпки траншей и котлованов, уплотнения и разработки мерзлых грунтов.

**Виды земляных сооружений.** В промышленном и гражданском строительстве земляные работы выполняют при устройстве котлованов и траншей под фундаменты и подземные коммуникации, при возведении земляного полотна дорог, а также при планировке площадок.

Выемки и насыпи, получаемые в результате разработки и перемещения грунта, называют земляными сооружениями. Они имеют следующие названия:

*котлован* — выемка шириной более 3 м и длиной не менее ширины;

*траншея* — выемка шириной менее 3 м и длиной, многократно превышающей ширину;

*шурф* — глубокая выемка с малыми размерами в плане;

*насыпь* — сооружение из насыпного и уплотненного грунта;

*резерв* — выемка, из которой берут грунт для возведения насыпи;

*кавальер* — насыпь, образуемая при отсыпке ненужного грунта, а также создаваемая для его временного хранения.

Земляные сооружения бывают:

*Постоянные* — насыпи дорог, плотины, дамбы, ирригационные и мелиоративные каналы, водоемы, планировочные площадки жилых кварталов, промышленных комплексов, стадионов, аэродромов и т.д.;

*Временные* — выемки для прокладки подземных коммуникаций и устройства фундаментов, насыпи для временных дорог.

В зависимости от назначения земляных сооружений к ним предъявляют различные требования в отношении крутизны и тщательности отделки откосов, степени уплотнения и фильтрующей способности грунта, его устойчивости к размыванию и других механических свойств.

**Вертикальная планировка городских территорий** — это изменение имеющегося естественного рельефа земли при помощи срезки («отрицательная» вертикальная планировка), а также подсыпки («положительная» вертикальная планировка) и смягчения уклонов (верти-

кальная планировка с «нулевым» балансом земляных масс), приспособления уклона в целях строительства.

Планировка населенных мест должна обязательно обеспечивать: во-первых, приемлемые отметки для последующего возведения зданий, а также сооружений; во-вторых, допустимые для движения транспорта, а также пешеходов уклоны, имеющиеся на улицах, а также площадях; в-третьих, самотечный сток выпадающих поверхностных вод (при этом исключения составляют замкнутые котловины); в-четвертых, снижение объема земляных работ при наиболее коротких расстояниях для перемещения земляных масс.

Особые отметки планировки территории, принадлежащей населенному месту обозначаются на базе таких требований, как: во-первых, сохранения максимально естественного рельефа, а также почвенного покрова и, конечно, существующих зеленых насаждений; во-вторых, обеспечения отвода имеющихся поверхностных вод с такими скоростями, которые будут исключать эрозионные процессы; в-третьих, минимизация общего объема земляных работ с соблюдением, как правило, нулевого баланса в объемах выемки и насыпи в пределах планируемой площади, при учете очередности строительства; в-четвертых, максимального ограничения высоты подсыпки в случае возникновения необходимости наложения специальной подошвы фундаментов в имеющийся материковый слой. При этом вынутая из котлованов, вырытых под фундаменты, а также подвалы земля, зачастую тоже используется для устройства нужного микрорельефа. Вертикальная планировка производится таким образом, чтобы размещение имеющихся земляных масс не могло вызвать оползневых, а также просадочных явлений, нарушений режима грунтовых вод, а, следовательно, заболачивания территории.

Следует отметить, что проект вертикальной планировки — это обязательная составная часть общего генерального плана города абсолютно на всех без исключения стадиях, которые входят в его разработку.

*Срезку растительного слоя* грунта (снятие плодородного слоя почвы) рекомендуется производить бульдозерами (при толщине растительного слоя до 25 см и дальности перемещения до 100 м), грейдерами (при толщине до 15 см и дальности перемещения до 300 м). Срезанный грунт окучивают, а затем грузят в транспортные средства и доставляют в отвалы или на участки рекультивации. Производить срезку и перемещение скрепером эффективно при толщине до 30 см и дальности перемещения до 1000 м. Схемы движения машин такие же, как и для разработки грунта.

*Рыхление не мерзлого (мерзлого) грунта* при вертикальной планировке площадки целесообразно производить бульдозерами – рыхлителями, т.к. они позволяют предварительно рыхлить более прочные и смерзшиеся грунты, скальные породы, а затем транспортировать их отвалом.

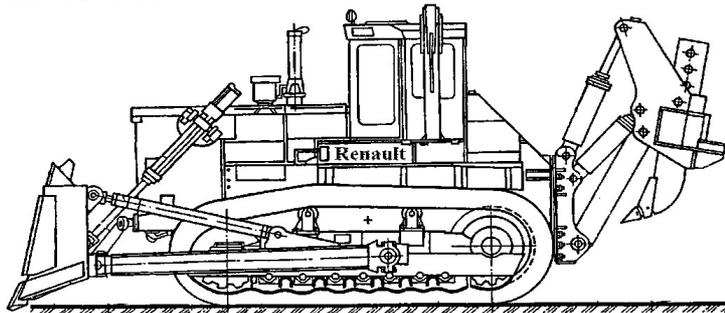


Рис. 1. Бульдозер-рыхлитель.

Бульдозеры-рыхлители разделяют на бульдозеры общего и специального назначения.

*Бульдозер-рыхлитель общего назначения* используются для работы с мерзлыми и борно-скальными грунтами. *Специальные бульдозеры-рыхлители* имеют рыхлительное оборудование в однозубом и многозубом исполнении. В комплекте многозубых рыхлителей используется, как правило, три зуба. В однозубом варианте они используются для глубокого, более 1,5 метров, рыхления грунта, а в многозубом - для рыхления горных пород.

*Разравнивание грунта* при отсыпке насыпи целесообразно выполнять бульдозерами по челночной схеме движения. Отсыпаемый грунт разравнивают горизонтальными или слабонаклонными слоями, толщину которых назначают в зависимости от используемых уплотняющих машин, вида грунта и заданной степени уплотнения.

Бульдозеры – рыхлители применяют для рыхления больших объемов грунтов на значительных площадях.

Выбор схемы рыхления зависит от прочности и породы разрабатываемых пород.

При глубине промерзания 50...70 см можно рыхлить массив тремя зубьями. При большей глубине – одним зубом за два-три прохода с глубиной рыхления 30...40 см за каждый цикл.

*Уплотнение грунта при отсыпке насыпи.*

Связные глинистые и суглинистые грунты уплотняют прицепными кулачковыми катками (рис. 2 а), прицепными и самоходными катками на пневматических шинах (рис. 2 б), трамбуемыми машинами ударного действия (рис. 2 в), комковатые связные и мерзлые – прицепными решетчатыми катками, малосвязные и несвязные супесчаные и песчаные – прицепными и самоходными катками на пневматических шинах, вибрационными катками, катками с гладкими вальцами (рис. 2 г), трамбуемыми машинами. Толщина уплотняемого слоя зависит от вида грунта, его влажности и типа катка.

В строительстве выделяют *четыре способа уплотнения:*

- укатку;
- уплотнение;
- виброуплотнение,
- трамбование (штампование).

Основной машиной, осуществляющей уплотнение являются катки. Среди характеристик в основном, влияющих на качество уплотнения, стоит отметить следующие:

- массу катка;
- площадь контакта вала с уплотняемым слоем;
- скорость укатки;
- число проходов.

*По виду рабочего органа* все катки подразделяют:

- с гладкими вальцами;
- решетчатые;
- кулачковые;
- пневмокошесные;
- комбинированные.

*Решетчатый каток* имеет обечайку в виде решетки из литых металлических элементов. Он создан для уплотнения грунта, как связного, так и несвязного. Наличие решетки помогает разбивать комки и другие плотные образования.

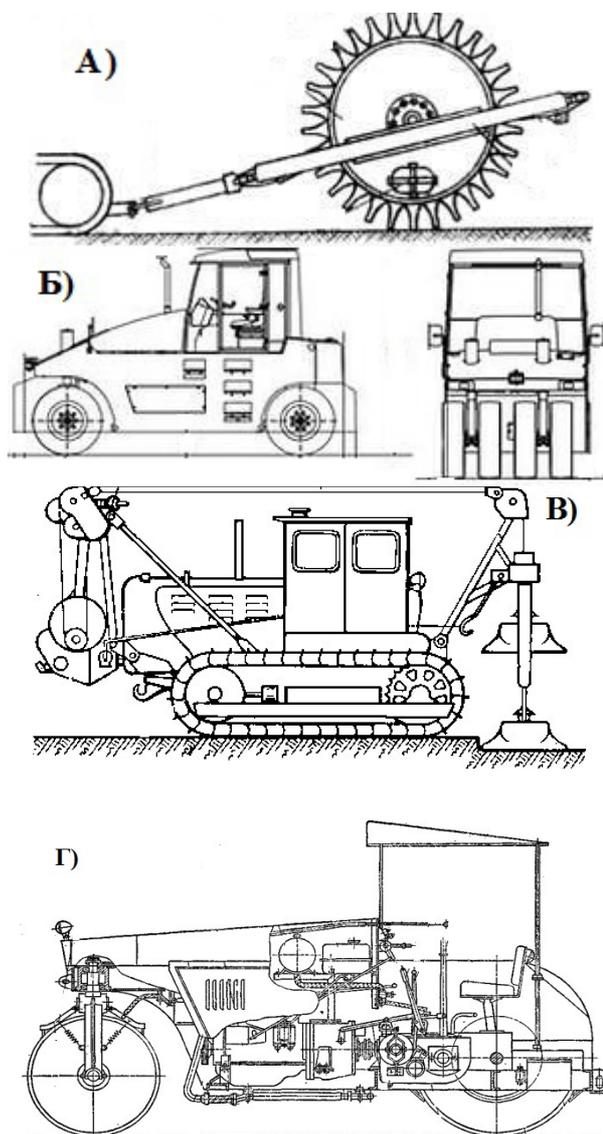
*Кулачковые катки* имеют на обечайках закрепленные кулачки. Основное их применение – рыхлые связные грунты толщиной не более 22-30 см. Особенность прохода кулачковым катком заключается в том, что первоначально кулачки уходят в грунт целиком и даже валец может в него погрузиться. Но при дальнейшем уплотнении этого не происходит.

*Пневмокошесные катки* предназначены для длительного приложения нагрузки к уплотняемой поверхности.

В *комбинированном катке* устанавливаются различные вальцы, что усиливает качество его работы. Чаще всего комбинируют пневмокошесный вариант с виброкошесным. Такая машина становится более универсальной и хорошо уплотняет фактически любой грунт.

*По принципу действия* различают два вида катков: **статические** и **вибрационные**. *Статический каток* движется по уплотняемому материалу, оказывая на проходимые поверхности стандартное давление. *А вибрационный каток* воздействует на уплотняемый слой как за счет силы тяжести, так и воздействуя на него в силу периодических колебаний. Использование вибрационного катка уменьшает количество проходов катка по следу в 1,5-3 раза в зависимости от грунта. На сооружениях, где может возникнуть явление резонанса, применение виброоборудования не допускается.

*Предварительная планировка площадей* производится бульдозерами. Срезка излишков грунта и засыпка впадин производится «на глаз» за число проходов, определяемых про-



**Рис. 2.** Машины для уплотнения.

изводственным заданием, в результате чего создаётся относительно ровная поверхность без заданных отметок.

*Окончательную планировку* площадей производят бульдозерами по челночной схеме движения. Последние проходы делают со смещением на  $\frac{3}{4}$  ширины отвала, чтобы исключить появление боковых валиков. После грубой передней планировки целесообразно провести отделку поверхности при заднем ходе бульдозера и «плавающем» положении отвала. Для большей точности целесообразно применять взаимно перпендикулярные проходы бульдозеров. В зависимости от характера поверхности грунта окончательная планировка может выполняться как после предварительной планировки (при рабочем ходе в одном направлении), так и без неё, после закрепления планировочных отметок (при рабочем ходе в двух направлениях).

*Планировку откосов земляных сооружений* рекомендуется производить автогрейдерами и бульдозерами при незначительной ширине (до 6,5 м) и значительной длине (до 500 м) планируемого откоса, а также экскаваторами, оборудованными драглайном или планировочным ковшом при значительной ширине (более 5 м) планируемого откоса.

*Рекультивация земель* состоит в восстановлении плодородного слоя почвы на площадях с нарушенным почвенным покровом. Она выполняется разравниванием бульдозерами или грейдерами привезенного автосамосвалами грунта или самостоятельно бульдозерами, грейдерами, скреперами из отвалов с участков рекультивации.

Разработку грунта резанием осуществляют с использованием землеройных и землеройно-транспортных машин.

Землеройные машины режут грунт и перемещают его на небольшие расстояния с выгрузкой в отвал или на транспортные средства. К этим машинам относят *экскаваторы* различных типов — одноковшовые (прямая и обратная лопата, драглайн, грейфер), многоковшовые (цепные и роторные) и фрезерные.

Наибольшее применение в строительстве вследствие своей универсальности и хорошей маневренности получили одноковшовые экскаваторы с вместимостью ковша 0,15...2 м<sup>3</sup>.

*В зависимости от ходового устройства* экскаваторы разделяют на гусеничные, пневмоколесные, автомобильные и шагающие с гидравлической, пневматической или электрической системой управления.

Они имеют комплект *сменного оборудования*, включающий прямую и обратную лопату, драглайн и грейфер (рис.3).

Кроме того, одноковшовые экскаваторы могут быть оснащены грузовым крюком, сваебойным оборудованием, стругом, приспособлением для планировки откосов и другими специальными устройствами.

*Прямая лопата* (рис. 3 а) представляет собой открытый сверху ковш с режущим передним краем, жестко закреплённый на рукояти, которая шарнирно соединена со стрелой. Опорожняют ковш, открывая его днище.

Экскаваторы с прямой лопатой используют при разработке грунта I...III групп, чаще, с погрузкой в транспортные средства, реже при отсыпке в отвал.

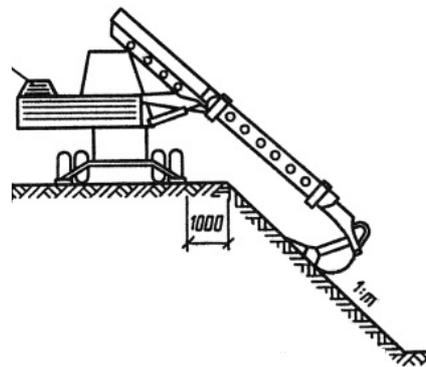
Такой экскаватор разрабатывает грунт, находящийся выше уровня его стоянки и поэтому всегда находится внизу котлована.

*Обратная лопата* (рис. 3 б) - это открытый снизу ковш с режущим передним краем, жестко закреплённый на рукояти, которая шарнирно соединена со стрелой. Грунт разгружают, опрокидывая ковш.

Рабочая зона экскаватора с обратной лопатой расположена ниже горизонта стояния, что позволяет разрабатывать переувлажненный грунт. Экскаватор особенно удобен при разработке котлованов небольшой глубины.

Ковш *драглайна* (рис. 3 в) имеет гибкую канатную подвеску, с помощью которой его крепят к удлиненной стреле кранового типа и забрасывают в выемку на расстояние, несколько превышающее длину стрелы.

К ковшу крепят также тяговый канат, позволяющий осуществлять наполнение и опорожнение ковша.



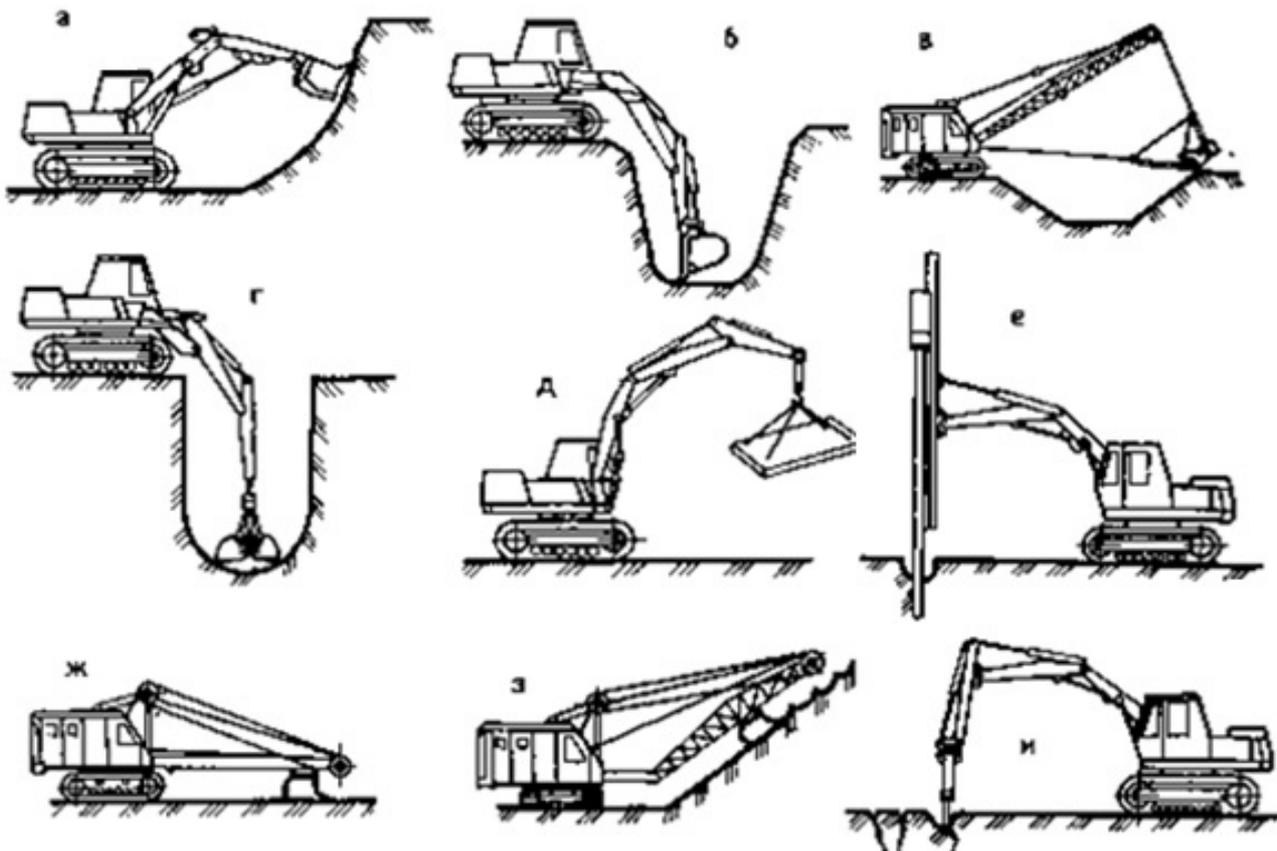


Рис. 3. Одноковшовые экскаваторы со сменным рабочим оборудованием:  
 а — прямая лопата; б — обратная лопата; в — драглайн; г — грейфер;  
 д — кран; е — сваебойный копер; ж — струг; з — планировщик откосов; и — рыхлитель грунта.

Драглайном можно разрабатывать грунты, находящиеся под слоем воды. Наибольшей производительности его достигают при работе в отвал, так как гибкая подвеска затрудняет наводку ковша при погрузке в транспортные средства.

*Грейфер* (рис. 3 г) представляет собой ковш с двумя или более челюстями, смыкающимися с помощью индивидуального канатного или гидравлического привода. Его, как и ковш драглайна, навешивают, используя систему канатов на удлиненную стрелу крана. С помощью грейфера можно разрабатывать выемки с вертикальными стенками. Применяют грейфер при разработке грунтов малой плотности (I и II групп), выемке песка и гравия из-под воды, а также на погрузочно-разгрузочных работах.

*Рыхление мерзлого (не мёрзлого плотного) грунта в котловане.* Строительство в северных и северо-восточных районах нашей страны связано с существенным увеличением объемов разработки сезоннопромерзающих, вечномёрзлых грунтов и высокоплотных грунтов (групп IV-VI). Мерзлые грунты по сравнению с не мерзлыми (талыми) характеризуются значительно большими сопротивляемостью разрушению (в 15...20 раз) и абразивностью (в 100...150 раз), трудоемкостью и стоимостью разработки. Производительность землеройных и землеройно-транспортных машин при разработке мерзлых грунтов резко снижается.

В современном строительстве разработку мерзлых грунтов ведут в основном двумя способами — взрывным и механическим. *Взрывной способ* рыхления мерзлых грунтов применяется обычно при больших объемах работ на открытых, удаленных от сооружений площадках при глубине промерзания более 1 м. В стесненных городских условиях из-за возможного разлета кусков грунта и повреждения сооружений при взрыве наибольшее распространение получили механические способы рыхления.

Преимущественное распространение (более 80 % общего объема работ) получил высокоэффективный и универсальный *механический способ разработки мерзлых грунтов с использованием специальных машин*, условно подразделяемых на две группы: машины для подготовки (предварительного рыхления, нарезания на блоки) мерзлых грунтов и последующей окончательной разработки взаимодействующими с ними в комплексе землеройными машинами общего назначения; машины, самостоятельно выполняющие весь комплекс разработки до заданной отметки и удаления мерзлого грунта из забоя.

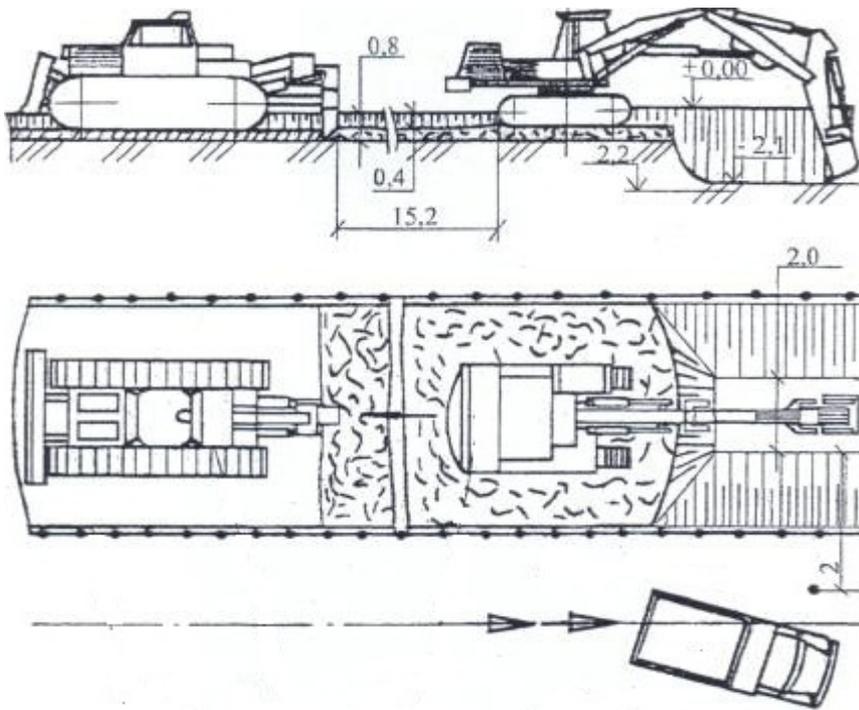


Рис. 4. Схема разработки экскаватором обратная лопата с предварительным рыхлением бульдозером-рыхлителем грунт, твердое дорожное покрытие, фундамент и т. п.) ударными импульсами свободно падающих или забиваемых рабочих органов.

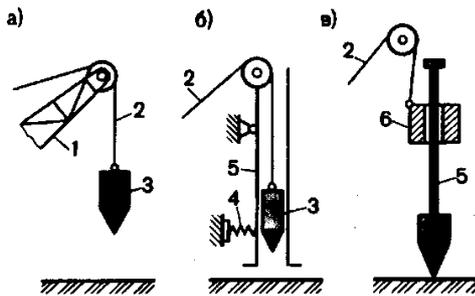


Рис. 5. Рабочие органы машин ударного действия: а — с ненаправленными ударами; б — то же с направленными; в — с забиваемым клином.

Самым распространенным видом свободно падающих рабочих органов являются клин-молоты конусообразной, пирамидальной и клиновидной форм массой 0,5...4 т. Оптимальная глубина рыхления 0,5...0,75 м.

Клин-молот (рис. 5, а) подвешивается к подъемному канату грузовой фрикционной лебедки стрелового самоходного крана или одноковшового механического экскаватора с крановой стрелой и при работе подтягивается лебедкой к оголовку стрелы и сбрасывается с высоты 6—8 м. Свободно падающий клин-молот наносит ненаправленные удары, что приводит к высоким затратам энергии на разрушение грунта, снижает качество работ и способствует опасному интенсивному разлету кусков грунта в стороны. Клин-молот может быть помещен в жесткие направляющие (рис. 5, б) и при сбрасывании попадает в точно заданное место, что позволяет разрушать грунт наименее энергоемким методом крупного скола и уменьшить опасность разлета осколков. Клин-молот с направляющим устройством обычно монтируется на гусеничном или пневмоколесном тракторе, который дооборудуется подъемной зубчато-фрикционной лебедкой. Направляющее устройство соединяется с базовой машиной упругими амортизирующими элементами, что снижает воздействие динамических нагрузок на трактор при работе.

Оборудование с забиваемым рабочим органом разрабатывает мерзлые грунты большой прочности с глубиной промерзания 1...1,5 м наиболее эффективным методом крупного скола. Забивание рабочего органа в грунт может осуществляться: свободно падающим грузом (рис. 5, в), подвешенным на канате подъемной лебедки базовой машины и движущимся относительно направляющей; дизель-молотами, вибромолотами; гидравлическими, пневматическими и гидропневматическими молотами, используемыми в качестве сменного рабочего оборудования одноковшовых строительных экскаваторов. Гидро- и пневмомолоты в настоящее время являются самым распространенным и эффективным оборудованием для разрушения мерзлых грунтов ударной нагрузкой.

При работе машин ударного действия возникают динамические нагрузки, вредно воздействующие как на базовую машину, так и на расположенные поблизости сооружения и коммуникации.

К первой группе относятся навесные рыхлители на тракторах класса (рис. 4), машины ударного действия для рыхления грунта ударными импульсами, машины безударного действия для отрыва грунта от массива, баровые и дискофрезерные машины для нарезания щелей в мерзлых грунтах; ко второй — землеройно-фрезерные машины и траншейные цепные и роторные экскаваторы, рабочие органы и скоростные режимы которых приспособлены для разработки мерзлых грунтов с промерзанием на всю глубину траншеи.

Машины ударного действия воздействуют на разрушаемую среду (мерзлый

В стесненных условиях сложившейся застройки при работе вблизи зданий и подземных коммуникаций широко применяют *гидравлические экскаваторы с рыхлительным и захватно-клещевым рабочим оборудованием*, которое разрушает мерзлый грунт безударным методом отрыва его от массива.

Оборудование захватно-клещевого типа навешивается на гусеничные гидравлические экскаваторы 4-й и 5-й размерных групп и предназначено для рыхления мерзлых грунтов, взламывания асфальтобетонных дорожных покрытий, разборки старых зданий, снятия и укладки дорожных плит, труб, установки колодцев, погрузки негабаритов и т. п.

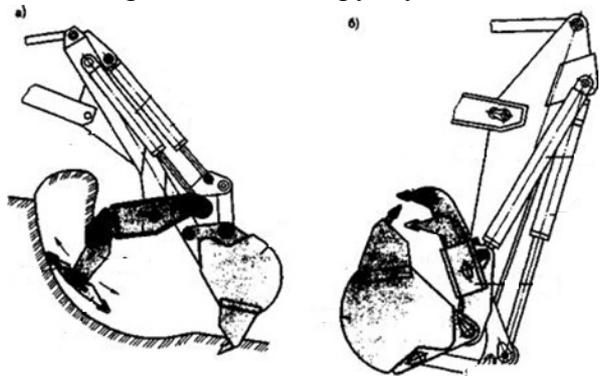


Рис. 6. Оборудование захватно-клещевого типа с однозубым (а) и трехзубым (б) рыхлителями.

Это оборудование, выпускаемое в двух исполнениях (с одно- и трехзубым рыхлителем-захватом), устанавливают вместо ковша и рукояти обратной лопаты. Разработка грунта осуществляется при перемещении рукояти с клыком-рыхли телом к экскаватору или поворотом клыка в обе стороны относительно рукояти гидроцилиндрами, работающими от гидросистемы машины.

Шарнирное соединение клыка-рыхлителя с рычагом позволяет разрыхлять грунты с наиболее рациональными углами резания. При разрушении грунта передним зубом клык-рыхлитель движется к опирающемуся на грунт зубьями ковша, прорезая в грунте щель. Возникающие при этом усилия на зубьях рыхлителя и ковша направлены навстречу друг другу, чем значительно снижается передача нагрузки на базовую машину. Задний зуб клыка-рыхлителя, движущийся снизу вверх к экскаватору, используется как при рыхлении мерзлого грунта, так и при взламывании дорожных покрытий и погрузочно-разгрузочных работах.

Трехзубый рыхлитель (рис. 6, б) состоит из сварной рамы и трех сменных зубьев — центрального и двух боковых. Боковые зубья можно устанавливать в трех положениях для получения различных по значению усилий рыхления в зависимости от прочности разрушаемого грунта. Зубья одно- и трехзубых рыхлителей наплавляют твердым сплавом.

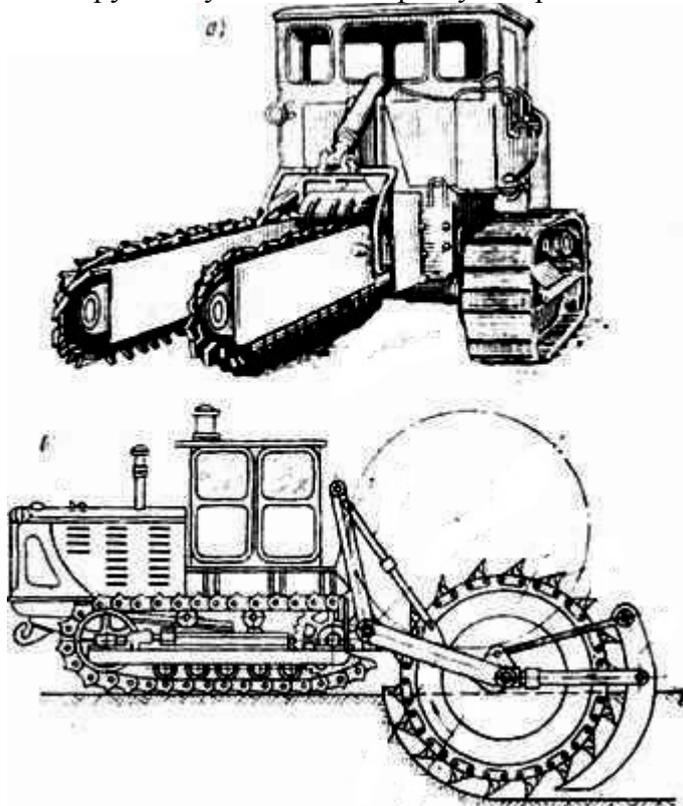


Рис. 7. Баровая и дискофрезерная землерезные машины.

Для разрушения больших объемов мерзлого грунта используют высокопроизводительные *землерезные и землеройно-фрезерные машины*. Они нарезают блоки размерами и формой, допускающими погрузку ковшем экскаватора.

Землерезные машины применяют для нарезания щелей шириной до 0,3 м в однородных, мерзлых и труднорабатываемых немерзлых прочных грунтах. Они представляют собой баровое, цепное и дискофрезерное рабочее оборудование, которое навешивается на серийные цепные траншейные экскаваторы (вместо основного рабочего органа), на гусеничные и пневмоколесные тракторы, дооборудованные механизмами привода рабочих органов и гидравлическими подъемными механизмами для управления навесным оборудованием. Цепные и дискофрезерные рабочие органы могут навешиваться на одинаковые базовые шасси.

Главный параметр землерезных машин — максимальная глубина нарезаемой щели.

*Баровые рабочие органы* — цепные бары от угольных врубовых машин или комбайнов в виде бесконечной цепи с резами, обегавшей плоскую раму с приводной и натяжной звездочками. Баровыми рабочими органами, прорезающими щели шириной 0,14 м, оборудуются цепные траншейные экскаваторы. Барами прорезают вертикальные продольные щели в однородных мерзлых грунтах на глубину до 2,0 м.

На одну базовую машину могут быть навешен, индивидуально гидроуправляемые один, два или три бара.

Однobarовые машины имеют центральное и боковое (смещенное) расположение рабочего органа для нарезания щелей вдоль тротуаров. Барами разрезают массив мерзлого грунта на отдельные блоки массой 5...10 т, которые удаляют из забоя лебедками и кранами. Иногда нарезанный барами грунт предварительно рыхлят машинами ударного действия, а его дальнейшую выемку производят экскаваторами.

Наибольшее распространение получили *цепные землерезные машины*, на которых используется однотипное максимально унифицированное навесное землеройное оборудование - цепной рабочий орган. На звеньях режущей цепи крепят сменные резцедержатели с резами от баров угольных врубовых машин или комбайнов. Резцедержатели с резами могут быть установлены по схемам, обеспечивающим число линий резания 10, 14 и 21, что позволяет нарезать щели шириной соответственно 0,15, 0,21 и 0,27 м. Для улучшения транспортирующей способности резов при резании мерзлых грунтов и повышения производительности машины при работе в талых грунтах к резцедержателям дополнительно крепят скребки.

Основными достоинствами цепных и баровых землерезных машин являются простота конструкции и удобство в эксплуатации, небольшая металлоемкость и достаточно высокая (до 70 м<sup>3</sup>/ч) производительность, недостатками — большие затраты мощности (до 60% от всей потребляемой) на измельчение грунта и преодоление трения в цепях, низкая долговечность рабочего органа, работающего в абразивной среде.

*Дисковые шелерезные (дискофрезерные) машины* нарезают в мерзлых грунтах щели шириной 80...120 мм на глубину до 1...2 м с помощью одного или двух оснащенных резами дисков (роторов) диаметром до 3 м. Эти машины применяют также для рытья узких траншей прямоугольного профиля под кабели электропередач и связи, трубопроводов малых диаметров, а также вскрытия асфальтовых дорожных покрытий. Дисковым рабочим оборудованием оснащаются траншейные экскаваторы и гусеничные тракторы, оборудованные бульдозерными отвалами. Привод рабочего органа может быть механическим и гидравлическим. Скорость резания составляет 2...3 м/с.

*Землеройно-фрезерные машины (ЗФМ)* применяют для послойной разработки (фрезерования) мерзлых грунтов и твердых пород при выполнении планировочных работ, отрывке корыт под внутри-квартальные дороги, трамвайные и подкрановые пути, а также разрушения асфальтобетонных покрытий с последующей экскавацией разрушенных материалов бульдозерным отвалом.

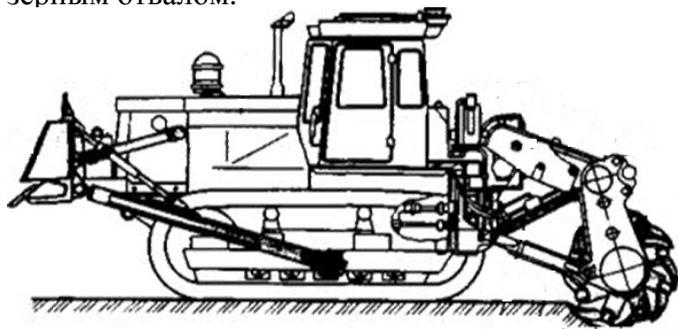


Рис. 8. Землеройно-фрезерная машина ЗФМ.

Машина послойного фрезерования эффективно разрабатывает мерзлые грунты с температурой до -10 °С, прочностью по плотномеру до 250 ударов с каменистыми включениями крупностью не более 50 мм. Современные ЗФМ за один проход обрабатывают полосу грунта шириной 2,6...3,4 м при глубине фрезерования до 0,25...0,35 м. После каждого прохода фрезой разрушенный грунт (материал) убирается бульдозерным отвалом.

Производительность ЗФМ при разработке мерзлого грунта составляет 140...400 м<sup>3</sup>/ч.

Основным недостатком землеройно-фрезерных машин является интенсивный абразивный износ режущих элементов.

*Зачистку дна котлована* производят бульдозером, экскаватором, оборудованным планировочным ковшом, или, при небольших объемах работ, вручную.

*Обратную засыпку котлована* выполняют экскаватором, оборудованным драглайном или грейфером при ленточных фундаментах и бульдозером при отдельно стоящих.

*Уплотнение грунта в пазах* выполняют одновременно с обратной засыпкой при помощи трамбующих машин или ручных пневмотрамбовок.

*Вывоз излишков грунта* из котлована и излишка или недостатка при вертикальной планировке производят при помощи землевозов или автосамосвалов.

Основными преимуществами использования на перевозке грунта автомобилей-самосвалов являются: малая трудоемкость устройства землевозных дорог, возможность работы на дорогах сложного профиля с большими подъемами и спусками, при работе в стесненных условиях малая длина заездов в выемки и на насыпи.

*Отсыпка отвалов автомобилями-самосвалами.* При отсыпке отвалов высотой 1...3 м следует в месте разгрузки укладывать на расстоянии 1 м от бровки отвала брус или бревно и отсыпку производить за образовавшийся земляной вал. По мере отсыпки бульдозером производят зачистку бровки и перекладывают отвальный брус.

При отсыпке отвалов высотой 3 м и более, чтобы исключить опрокидывание самосвалов в трещины и просадочные места, разгрузку следует производить с помощью отвальных платформ, устанавливаемых в рабочей части отвала. При всех случаях работы разгрузка автомобилей-самосвалов осуществляется через предохранительный вал шириной 2 м и высотой 0,6 м, образовавшийся у бровки откоса.

При отсыпке отвала на сухое основание одним высоким ярусом с разгрузкой автомобилем под откос складываемая порода подвергается значительному уплотнению под действием динамических нагрузок от скатывающихся по откосу кусков.

Автомобиль должен двигаться задним ходом по нормали к верхней бровке (защитному валу). При разгрузке задние колеса должны находиться от нижней бровки вала на расстоянии 0,1...0,3 м. Наезд автомобиля на вал не допускается. Отъезжать от места разгрузки разрешается только с полностью опущенным кузовом. Разгрузка автомобилей должна производиться равномерно по всему фронту отвалообразования. Осуществлять разгрузку налипшего грунта резким троганием с места запрещается.

Отсыпка под откос запрещается: если высота предохранительного вала меньше 0,6 м; при наличии трещин вблизи предохранительного вала; при поперечном уклоне менее 3°, в периоды плохой видимости (отсутствие освещения в ночное время, густой туман, метель и пр.). В таких случаях разгрузку следует производить непосредственно на верхнюю площадку яруса на расстоянии не менее 5 м от верхней бровки.

*Разбивка земляных сооружений на местности.* Производство земляных работ разрешается после выполнения геодезических разбивочных работ по выносу в натуре проекта земляных сооружений и установки необходимых разбивочных знаков.

До начала производства земляных работ представители строительной организации и заказчика проверяют правильность разбивки сооружений в натуре и составляют акт с приложением к нему разбивочных схем.

Разбивку котлована начинают с выноса и закрепления на местности створными знаками основных разбивочных осей, в качестве которых обычно принимают взаимно перпендикулярные крайние или центральные оси сооружения. После выноса и закрепления этих осей вокруг будущего котлована на расстоянии 2-3 м от него параллельно осям устанавливают обноску, а после устройства котлована натягивают проволоки по осям здания (сооружения) и их фундаментам, а также проволоки, отмечающие толщину стен и фундаментов. Оси и размеры с натянутых проволок переносят на дно котлована при помощи отвесов.

*Водоотвод* необходим для защиты котлованов траншей от затопления их ливневыми, талыми водами. Для водоотвода обычно используют расположенные с нагорной стороны резервы, кавальеры, а также специально устраиваемые оградительные обвалования, водоотводящие каналы, лотки и системы дренажей. Канавы или лотки устраивают с продольным уклоном 0,002 - 0,003, а их размеры и виды креплений принимают в зависимости от расхода ливневых или талых вод и предельных неразмываемых скоростей. Воду из всех водоотводящих устройств, а также от резервов и кавальеров отводят в пониженные места, удаленные от возводимых и существующих сооружений.

*Водоотлив.* Поскольку большинство сооружений и сетей возводят либо в непосредственной близости от водоемов, либо в условиях обводненных и неустойчивых грунтов, при устройстве котлованов и траншей часто возникает необходимость в предварительном осушении грунтов с использованием средств водоотлива или способов искусственного водопонижения. Выемки (котлованы и траншеи) при небольшом притоке грунтовых вод разрабатывают с применением открытого водоотлива, а если приток значителен и толщина водонасыщенного слоя, подлежащая разработке, большая, то до начала производства работ уровень грунтовых вод (УГВ) ис-

кусственно понижают с использованием различных способов закрытого, т.е. грунтового водоотлива, называемого еще строительным водопонижением.

Работы по строительному водопонижению во многом зависят от принятого метода разработки котлованов и траншей: 1) разработка грунта сухоройными машинами и механизмами с предварительным его осушением; 2) разработка грунта средствами гидромеханизации с последующим осушением котлованов и траншей. В соответствии с ними устанавливают очередность работ как по монтажу водоотливных и водопонизительных установок, их эксплуатации, так и по разработке котлованов и траншей. Так, если котлован размещен на берегу, в пределах поймы реки, то разработку его начинают только после монтажа и пуска водопонизительного оборудования, причем так, чтобы понижение уровня грунтовых вод опережало заглубление котлована на 1 - 1,5 м. Если котлован расположен непосредственно в русле реки (при строительстве, например, водозабора или насосной станции 1 подъема), работам по водопонижению предшествуют работы по ограждению котлована специальными дамбами (перемычками), после чего удаляют воду из котлована и организуют откачку воды, фильтрующей в котлован. При заглублении такого котлована необходимо производить в нем глубинное понижение уровня грунтовых вод под всей его площадью. При разработке котлованов средствами гидромеханизации (например, земснарядами) к откачке воды из котлована и водопонижению приступают лишь после устройства всего котлована. Правильное решение задач строительного водопонижения облегчает производство земляных работ и последующих по возведению сооружений и прокладке трубопроводов, повышает устойчивость их откосов.

В процессе осушения котлована очень важно правильно выбрать скорость откачки воды, так как очень быстрое осушение может вызвать повреждения перемычек откосов и дна котлована. В первые дни откачки понижение уровня воды не должно превышать 0,5 - 0,7 м/сут в котлованах из крупнозернистых и скальных грунтов, 0,3 - 0,4 из среднезернистых и 0,15 - 0,2 м/сут в котлованах из мелкозернистых грунтов. В дальнейшем понижение уровня можно увеличить до 1 - 1,5 м/сут, но на последних 1,2 - 2 м глубины, откачку воды следует замедлить. Нельзя допускать аварийного затопления котлованов (из-за остановки насосов), так как это может привести к длительному перерыву в строительстве сооружений и, кроме того, к повреждению котлована.

*Открытый водоотлив* предусматривает откачку притекающей воды непосредственно из котлована или траншеи. Способ применяют в скальных, обломочных, галечниковых и гравийных грунтах, устойчивых против фильтрационных деформаций. Открытый водоотлив часто применяют в сочетании с грунтовым водопонижением. При этом открытый водоотлив используют для удаления из котлована вод поверхностного стока, а установки глубинного водопонижения - для понижения УГВ.

При открытом водоотливе грунтовая вода, просачиваясь через откосы и дно котлована, поступает в водосборные каналы и по ним в приемки (зумпфы), откуда ее откачивают насосами. Водосборные каналы устраивают шириной по дну 0,3 - 0,6 м и глубиной 1 - 2 м с уклоном 0,01 - 0,02 в сторону приемков.

Размеры приемков в плане в целях удобства их очистки принимают 1x1 или 1,5x1,5 м, а глубину - от 2 до 5 м, в зависимости от требуемой глубины погружения водоприемного рукава насоса. Минимальные размеры приемка назначают из условия обеспечения непрерывной работы насоса в течение 10 мин. Приемки в устойчивых грунтах крепят деревянным срубом из бревен (без дна), а в оплывающих - шпунтовой стенкой и на дне его устраивают обратный фильтр. Примерно также крепят траншеи в неустойчивых грунтах при использовании открытого водоотлива.

Число приемков зависит от расчетного притока воды к котловану и производительности насосного оборудования.

Системой насосных установок качают воду в водосборный коллектор и по нему отводят ее за пределы котлована. Открытый водоотлив довольно эффективный и простой способ осушения котлованов и траншей.

Однако он имеет существенный недостаток, а именно при нем возможно разрыхление или разжижение грунтов в основании и унос частиц грунта фильтрующейся водой. Поэтому на практике во многих случаях чаще применяют различные способы искусственного понижения уровня грунтовых вод, т.е. грунтового водоотлива.

Понижение уровня грунтовых вод достигается их откачкой из системы трубчатых колодцев (иглофильтров) расположенных вокруг котлована или вдоль траншеи, обеспечивающей снижение УГВ ниже дна будущей выемки (котлована, траншеи). Грунтовый водоотлив может быть применен в различных гидрогеологических условиях и, кроме того, он имеет ряд преимуществ.

ществ перед открытым водоотливом; отпадает необходимость устраивать пологие откосы или шпунтовые ограждения, создаются благоприятные условия для широкой механизации строительных работ и др.

Водопонизительные работы при грунтовом водоотливе осуществляют различными способами, в том числе с помощью легких и эжекторных иглофильтров, открытых водопонизительных скважин. При осушении глинистых грунтов применяют специальные способы водопонижения - вакуумирование и электроосушение (электроосмос). Способ водопонижения и тип применяемого оборудования выбирают в зависимости от глубины разработки котлована (траншеи), инженерно-геологических и гидрогеологических условий, сроков строительства, конструкции сооружения и технико-экономических показателей.

Грунтовый водоотлив или искусственное водопонижение осуществляют, когда осушаемые породы имеют достаточную водопроницаемость, т.е. когда коэффициент фильтрации их составляет не менее 1-1,5 м/сут.

Применить его в грунтах с коэффициентами фильтрации менее 1-2 м/сут обычно нельзя из-за малых скоростей движения грунтовых вод. В этих случаях используют вакуумирование или способ электроосушения (электроосмос). Для водопонижения в грунтах с коэффициентами фильтрации 1-40 м/сут используют легкие иглофильтровые установки, а при коэффициентах фильтрации грунтов более 40 м/сут (особенно при большой толщине водоносного слоя и длительных сроках откачки) скважины большого диаметра с артезианскими или погруженными насосами. В грунтах с небольшими коэффициентами фильтрации и при близком залегании водопора от дна котлована применяют эжекторные иглофильтры.

*Иглофильтровый способ*, предусматривает использование для откачки воды из грунта часто расположенных скважин с трубчатыми водоприемниками малого диаметра - иглофильтров, соединенных общим всасывающим коллектором с общей (для группы иглофильтров) насосной станцией.

Для искусственного понижения УГВ на глубину 4 - 5 м в песчаных грунтах применяют легкие иглофильтровые установки (ЛИУ). При этом для осушения траншей шириной до 4,5 м используют однорядные иглофильтровые установки, а при устройстве более широких траншей (например, для прокладки коллекторов) - двухрядные.

Для осушения котлованов применяют замкнутые по контуру установки. При необходимости понижения уровня воды на глубину более 5 м применяют двух-, трехъярусные иглофильтровые установки. В этом случае вначале вводят в действие первый (верхний) ярус иглофильтров и под его защитой отрывают верхний уступ котлована, после чего монтируют второй (нижний) ярус иглофильтров и отрывают второй уступ котлована и т.д. После ввода в действие каждого последующего яруса иглофильтров предыдущие можно отключить и демонтировать.

*Эжекторные иглофильтровые установки (ЭИУ)* откачивают воду из скважин при помощи водоструйных насосов-эжекторов, работающих по принципу передачи энергии одним потоком воды другому. ЭИУ используются для понижения УГВ одним ярусом на глубину от 8 до 20 м.

*Электроосмотическое водопонижение или электроосушение* основано на использовании в целях усиления эффекта водоотдачи явления электроосмоса, т.е. способности воды двигаться в порах грунта, находящемся под воздействием поля постоянного тока, от анода к катоду. Его используют в слабопроницаемых (глинистых, илистых, суглинистых) грунтах, имеющих коэффициенты фильтрации менее 1 м/сут при ширине котлована до 40 м. При этом вначале по периметру котлована на расстоянии 1,5 м от его бровки и с шагом 0,75-1,5 м погружают иглофильтры-катоды, соединенные с отрицательным полюсом источника постоянного тока, а затем с внутренней стороны контура этих иглофильтров на расстоянии 0,8 м от них с таким же шагом, но со смещением, т.е. в шахматном порядке, погружают стальные трубы (или стержни) - аноды, соединенные с положительным полюсом (рис.4, д). Причем и иглофильтры и трубы (стержни) погружают на 3 м ниже необходимого уровня водопонижения. Рабочее напряжение системы, исходя из требований техники электробезопасности, не должно превышать 40-60 В.

При пропускании тока вода, заключенная в порах грунта, передвигается от анода к катоду, благодаря чему коэффициент фильтрации его возрастает в 5-25 раз, а уровень напора в массиве грунта снижается, что в целом значительно повышает эффективность работы иглофильтровой установки.

*Открытые соединяющиеся с атмосферой водопонизительные скважины*, оборудованные насосами, применяют в тех случаях, когда требуются большие глубины понижения УГВ, а также когда использование иглофильтров затруднительно.

*Вакуумный способ водопонижения*, при котором в зоне иглофильтра создается устойчивый вакуум, применяют для осушения мелкозернистых грунтов (пылеватых и глинистых песков, супесей, мелких суглинков, илов, лессов), имеющих малые коэффициенты фильтрации (от 0,01 до 3 м/сут).

В установках УВВ для создания во всасывающем коллекторе устойчивого вакуума применяют водовоздушный эжектор, а для откачки воды - водоводяной эжектор. Оба они питаются рабочей водой, поступающей к ним от центробежного насоса. В установках ЭВВУ, применяемых для водопонижения в сложных гидрогеологических условиях (слабопроницаемые, слоистые грунты различной проницаемостью), используют эжекторы с концентрическим водоприемником. Благодаря наличию кольцевого вакуумного зазора между фильтровой оболочкой и концентрически расположенным в ней эжекторным водоподъемником он имеет непосредственный контакт со всеми осушаемыми слоями грунта.

*Замораживание грунтов* заключается в создании искусственного прочного и водонепроницаемого ограждения любой формы в плане из замороженного грунта, препятствующего прониканию грунтовой воды или водонасыщенных неустойчивых грунтов в котлован при производстве строительных работ.

Для замораживания грунтов по периметру котлована через толщу водоносных грунтов бурят скважины с заглублением их на 2 - 3 м в водоупорный слой, а затем в скважины опускают замораживающие трубы (колонки), нижний конец которых геометрически заварен в виде конуса.

В колонку опускают трубы меньшего диаметра (питающие), с открытым нижним конусом, не доходящим до дна на 40 - 50 см. Питающие трубы колонок подключают к специальным трубам, соединенным с замораживающей станцией. По трубам, и колонкам циркулирует раствор хлористого кальция (рассол), с низкой температурой замерзания обладающий способностью оставаться в жидком состоянии при отрицательных температурах. На замораживающей (холодильной) станции рассол охлаждают до температуры минус 20 - 40 °С и насосом нагнетают в распределитель, откуда он равномерно распределяется по питающим трубам колонок. Достигнув дна колонки, рассол под давлением поднимается вверх по зазору между питающей трубой и замораживающей колонкой. При этом происходит теплообмен, т.е. рассол отнимает тепло у грунта, окружающего колонку, понижает его температуру и постепенно его замораживает. Затем рассол снова поступает в коллектор и на замораживающую станцию для нового охлаждения и цикл повторяется. В результате вокруг каждой колонки образуется массив замороженного грунта, объем которых в процессе дальнейшего заживания увеличивается и они, смерзаясь, образуют сплошной и замкнутый массив замороженного грунта вокруг котлована. Чтобы он не размораживался холодильная станция должна работать в течение всего периода строительства. В качестве хладагента в холодильных станциях используют в основном аммиак, редко фреон или жидкий азот. Расстояния между замораживавшими колонками принимают при однорядном их расположении 1 - 1,5 м, а между рядами (при многорядном расположении) - 2 - 3 м. Пространство между колонкой и стенками скважины заполняют песком, так как прослойка воздуха замедляет процесс замораживания грунтов.

В зимних условиях земляные работы могут производиться:

- а) с предварительной подготовкой мерзлого грунта для разработки обычными землеройными машинами, используемыми для разработки талого грунта;
- б) с непосредственной разработкой мерзлых грунтов в естественном состоянии специально оборудованными для этой цели машинами.

Подготовить грунт для разработки можно одним из следующих способов:

- а) предохранением грунта от промерзания (укрытие теплоизоляционными материалами, пропитка грунта солевыми растворами и т.д.);
- б) рыхлением мерзлого грунта (вспашка плугами на глубину до 35 см, отрывка выемок и засыпка их разработанным грунтом и т.д.);
- в) оттаиванием мерзлого грунта (сжигание топлива в соответствующих установках, поверхностными и глубинными электродами, электрическими, паровыми и водяными иглами, трубчатými и коаксиальными электронагревателями, в электротепляках, солевыми растворами, сочетанием солевых растворов с электродами и т.д.).

Непосредственная разработка мерзлых грунтов может осуществляться: навесными рыхлителями (при больших объемах работ и глубине промерзания до 0,7 м (max до 1,4 м)), машинами ударного действия (небольшие по размеру выемки на глубину 0,5...0,7 м (max до 1,3 м)), нарезкой блоков дикофрейзерными или баровыми машинами (для небольших выемок в малоабразивных грунтах в стесненных условиях при глубине до 1,7 м), взрывным способом (при больших объемах

работ и значительной глубине промерзания (более 1,5м)), при помощи специального землеройного оборудования (при небольших объемах работ одноковшовыми экскаваторами со специальным ковшом активного действия) и другими.

В обратную засыпку котлованов и траншей снаружи здания допускается включать не более 15% мерзлых комьев. Внутри здания используют только талый грунт. Комья размером более 15 см перед укладкой измельчают. При планировочных работах количество мерзлого грунта в насыпях не должно превышать 60%

При замерзании грунта механическая прочность его значительно возрастает и затраты машинного времени на его разработку увеличиваются в несколько раз, что приводит к удорожанию работ. В то же время временные выемки в мерзлом грунте можно разрабатывать без откосов; даже при наличии водонасыщенных слабых грунтов нет необходимости в устройстве шпунтовых ограждений и водоотливе. Таким образом, общее удорожание земляных работ, выполняемых в мерзлых грунтах, может быть не таким уж значительным.

Земляные работы зимой осуществляют следующими тремя методами. При первом методе предусматривают предварительную подготовку грунтов с последующей их разработкой обычными методами; при втором – мерзлые грунты нарезают предварительно на блоки; при третьем методе грунты разрабатывают без их предварительной подготовки.

Предварительная подготовка грунта для разработки зимой заключается в предохранении его от промерзания, оттаивании мерзлого грунта, предварительном рыхлении мерзлого грунта.

*Предохранение грунта от промерзания.* Известно, что наличие на дневной поверхности термоизоляционного слоя уменьшает как период, так и глубину промерзания. После отвода поверхностных вод можно устроить термоизоляционный слой одним из следующих способов.

*Рыхление грунта.* При вспахивании и бороновании грунта на участке, предназначенном для разработки зимой, его верхний слой приобретает рыхлую структуру с замкнутыми пустотами, заполненными воздухом, обладающую достаточными термоизоляционными свойствами. Вспашку ведут тракторными плугами или рыхлителями на глубину 20 - 35 см с последующим боронованием на глубину 15 - 20 см в одном направлении (или в перекрестных направлениях), что повышает термоизоляционный эффект на 18 - 30%.

*Защита поверхности грунта термоизоляционными материалами.* Утепляющий слой может быть также выполнен из дешевых местных материалов: древесных листьев, сухого мха, торфяной мелочи, соломенных матов, шлака, стружек и опилок, укладываемых слоем 20 - 40 см непосредственно по грунту. Поверхностное утепление грунта применяют в основном для небольших по площади выемок.

*Пропитку грунта солевыми растворами* ведут следующим образом. На поверхности песчаного и супесчаного грунта рассыпают заданное количество соли (хлористого кальция  $0,5 \text{ кг/м}^2$ , хлористого натрия  $1 \text{ кг/м}^2$ ), после чего грунт вспахивают. В грунтах с низкой фильтрующей способностью (глины, тяжелые суглинки) пробуривают скважины, в которые под давлением нагнетают раствор соли. Из-за высокой трудоемкости и стоимости таких работ они являются, как правило, недостаточно эффективными.

Способы оттаивания мерзлого грунта можно классифицировать как по направлению распространения тепла в грунте, так и по применяемому виду теплоносителя.

По первому признаку можно выделить следующие три способа оттаивания грунта.

*Оттаивание грунта сверху вниз.* Этот способ - наименее эффективный, так как источник тепла в этом случае размещается в зоне холодного воздуха, что вызывает большие потери тепла. В то же время этот способ достаточно легко и просто осуществить, он требует минимальных подготовительных работ, в связи с чем часто применяется на практике.

*Оттаивание грунта снизу вверх* требует минимального расхода энергии, так как оно происходит под защитой льдоземляной корки и теплотери при этом практически исключаются. Главный недостаток этого способа - необходимость выполнения трудоемких подготовительных операций, что ограничивает область его применения.

При *оттаивании грунта по радиальному направлению* тепло распространяется в грунте радиально от вертикально установленных прогревающих элементов, погруженных в грунт. Этот способ по экономическим показателям занимает промежуточное положение между двумя ранее описанными, а для своего осуществления требует также значительных подготовительных работ.

По виду теплоносителя различают следующие способы оттаивания мерзлых грунтов.

*Огневой способ.* Для отрывки зимой небольших траншей применяют установку, состоящую из ряда металлических коробов в форме разрезанных по продольной оси усеченных конусов, из которых собирают сплошную галерею. Первый из коробов представляет собой камеру сгорания, в

которой сжигают твердое или жидкое топливо. Вытяжная труба последнего короба обеспечивает тягу, благодаря которой продукты сгорания проходят вдоль галереи и прогревают расположенный под ней грунт. Для уменьшения теплопотерь галерею обсыпают слоем талого грунта или шлака. Полосу оттаявшего грунта засыпают опилками, а дальнейшее оттаивание вглубь продолжается за счет аккумулированного в грунте тепла.

*Оттаивание в тепляках и отражательными печами.* Тепляки – это открытые снизу короба с утепленными стенками и крышей, внутри которых размещают спирали накаливания, водяные или паровые батареи, подвешенные к крышке короба.

Отражательные печи имеют сверху криволинейную поверхность в фокусе которой располагается спираль накаливания или излучатель инфракрасных лучей, при этом энергия расходуется более экономично, а оттаивание грунта происходит более интенсивно. Тепляки и отражательные печи питаются от электросети 220 или 380 В. Расход энергии на 1 м<sup>3</sup> оттаянного грунта (в зависимости от его вида, влажности и температуры) колеблется в пределах 100 - 300 МДж, при этом внутри тепляка поддерживается температура 50 - 60°С.

При *оттаивании грунта горизонтальными электродами* по поверхности грунта укладывают электроды из полосовой или круглой стали, концы которых отгибают на 15 - 20 см для подключения к проводам. Поверхность отогреваемого участка покрывают слоем опилок толщиной 15 - 20 см, который смачивают солевым раствором с концентрацией 0,2 - 0,5% с таким расчетом, чтобы масса раствора была не менее массы опилок. Под воздействием тепла, генерируемого в слое опилок, оттаивает верхний слой грунта, который превращается в проводник тока от электрода к электроду. После этого под воздействием тепла начинает оттаивать верхний слой грунта, а затем – нижние слои. В дальнейшем опилочный слой защищает отогреваемый участок от потерь тепла в атмосферу, для чего слой опилок покрывают толем или щитами.

Этот способ используют при глубине промерзания грунта до 0,7 м, расход электроэнергии на отогрев 1 м<sup>3</sup> грунта колеблется от 150 до 300 МДж, температура в опилках не превышает 80-90°С.

*Оттаивание грунта вертикальными электродами.* Электроды представляют собой стержни из арматурной стали с заостренными нижними концами. При глубине промерзания более 0,7 м их забивают в грунт в шахматном порядке на глубину 20 - 25 см, а по мере оттаивания верхних слоев грунта погружают на большую глубину. После отключения электроэнергии в течение 1 - 2 суток глубина оттаивания продолжает увеличиваться за счет аккумулированного в грунте тепла под защитой опилочного слоя. Расход энергии при этом способе несколько ниже, чем при способе горизонтальных электродов.

*Оттаивание грунта сверху вниз с помощью паровых или водяных регистров.* Регистры укладывают непосредственно на расчищенную от снега поверхность отогреваемого участка и закрывают теплоизоляционным слоем из опилок, песка или талого грунта для уменьшения теплопотерь в пространстве. Регистрами оттаивают грунт при толщине мерзлой корки до 0,8 м. Этот способ целесообразен при наличии источников пара или горячей воды, так как монтаж для этой цели специальной котельной установки обычно оказывается слишком дорогим.

*Оттаивание грунта паровыми иглами* является один из эффективных средств, но вызывает излишнее увлажнение грунта и повышенный расход тепла. Паровая игла – это металлическая труба длиной 1,5 - 2 м, диаметром 25 - 50 мм. На нижнюю часть трубы насажен наконечник с отверстиями диаметром 2 - 3 мм. Иглы соединяют с паропроводом гибкими резиновыми рукавами с кранами. Иглы заглубляют в скважины, предварительно пробуренные на глубину 0,7 глубины оттаивания. Скважины закрывают защитными колпаками из дерева, обшитого кровельной сталью с отверстием, снабженным сальником для пропуска паровой иглы. Пар подают под давлением 0,06-0,07 МПа. После установки аккумулирующих колпаков прогреваемую поверхность покрывают слоем термоизолирующего материала (например, опилок). Для экономии пара режим прогрева иглами должен быть прерывистым (например, 1 ч – подача пара, 1 ч – перерыв) с поочередной подачей пара в параллельные группы игл. Иглы располагают в шахматном порядке с расстоянием между их центрами 1 - 1,5 м. Расход пара на 1 м<sup>3</sup> грунта 50 - 100 кг. Этот способ требует большего расхода тепла, чем способ глубинных электродов, примерно в 2 раза.

При *оттаивании грунта водяными циркуляционными иглами* в качестве теплоносителя используют воду, нагретую до 50 - 60°С и циркулирующую по замкнутой системе «котел – разводящие трубы – водяные иглы – обратные трубы – котел». Такая схема обеспечивает наиболее полное использование тепловой энергии. Иглы устанавливают в пробуренные для них скважины. Водяная игла состоит из двух коаксиальных труб, из которых внутренняя имеет внизу открытый, а наружная – заостренный концы. Горячая вода входит в иглу по внутренней трубе, а через нижнее ее от-

верстие поступает в наружную трубу, по которой поднимается к выходному патрубку, откуда по соединительной трубе идет к следующей игле. Иглы соединяют последовательно по несколько штук в группы, которые включают параллельно между разводящими и обратными трубопроводами.

После непрерывной работы водяных игл в течение 1,5 - 2,5 суток их извлекают из грунта, поверхность его утепляют, после чего в течение 1 - 1,5 суток происходит расширение талых зон за счет аккумулированного тепла. Иглы располагают в шахматном порядке на расстоянии 0,75 - 1,25 м между собой и применяют при глубинах промерзания от 1 м и более.

*Оттаивание грунта ТЭНами (электроиглами).* ТЭНы представляют собой стальные трубы длиной около 1 м диаметром до 50 - 60 мм, которые вставляют в предварительно пробуренные в шахматном порядке скважины.

Внутри игл монтируют нагревательный элемент, изолированный от корпуса трубы. Пространство между нагревательным элементом и стенками иглы заполняют жидкими или твердыми материалами, которые являются диэлектриками, но, в то же время, хорошо передают и сохраняют тепло. Интенсивность оттаивания грунта зависит от температуры поверхности электроигл, в связи с чем наиболее экономичной является температура 60 - 80°C, но расход тепла при этом по сравнению с глубинными электродами выше в 1,6 - 1,8 раза.

При *оттаивании грунта солевыми растворами* на поверхности предварительно пробуривают скважины на глубину, подлежащую оттаиванию. Скважины диаметром 0,3 - 0,4 м располагают в шахматном порядке с шагом около 1 м. В них наливают подогретый до 80 - 100°C солевой раствор, которым скважины пополняют в течение 3 - 5 дней. В песчаных грунтах достаточна скважина глубиной 15 - 20 см, так как раствор проникает вглубь за счет дисперсности грунта. Оттаявшие таким образом грунты после их разработки вторично не смерзаются.

*Способ послонного оттаивания вечномерзлых грунтов* наиболее целесообразен в весенний период, когда для этих целей можно использовать теплый воздух окружающей атмосферы, теплые дождевые воды, солнечную радиацию. Верхний оттаивающий слой грунта можно удалять любыми землеройно-транспортными или планировочными машинами, обнажая лежащий под ним мерзлый слой, который в свою очередь оттаивает под действием перечисленных выше факторов. Грунт срезают на границе между мерзлым и талым слоями, где грунт имеет ослабленную структуру, что создает благоприятные условия для работы машин. В районах вечной мерзлоты этот способ – один из самых экономичных и распространенных для разработки грунта при планировке выемок, траншей и т. п.

*Способ послонного вымораживания водоносных грунтов* предусматривает разработку до наступления морозов верхнего слоя грунта, лежащего выше горизонта грунтовых вод. Когда под действием холодного атмосферного воздуха расчетная глубина промерзания достигает 40 - 50 см, приступают к разработке грунта в выемке в мерзлом состоянии. Разработку ведут отдельными участками, между которыми оставляют перемычки из мерзлого грунта толщиной около 0,5 м на глубину около 2/3 толщины промерзшего грунта.

Перемычки предназначены для изоляции отдельных участков от соседних, в случае прорыва грунтовой воды. Фронт разработки перемещается от одной секции к другой, в то время как на уже разработанных секциях глубина промерзания возрастает, после чего разработку их повторяют. Попеременное вымораживание и разработку участков повторяют до достижения проектного уровня, после чего защитные перемычки снимают. Такой способ позволяет разрабатывать при мерзлом состоянии грунта (а, следовательно, без крепления и водоотлива) выемки, значительно превосходящие по своей глубине толщину сезонного промерзания грунта.

**Бурение** - процесс сооружения горной выработки цилиндрической формы - скважины, шпура или шахтного ствола - путём разрушения горных пород на забое. Бурение осуществляется, как правило, в земной коре, реже в искусственных материалах (бетоне, асфальте и др.). В ряде случаев процесс бурения включает крепление стенок скважин (как правило, глубоких) обсадными трубами с закачкой цементного раствора в кольцевой зазор между трубами и стенками скважин.

Область применения бурения многогранна: поиски и разведка полезных ископаемых; изучение свойств горных пород; добыча жидких, газообразных и твёрдых (при выщелачивании и выплавлении) полезных ископаемых через эксплуатационные скважины; производство взрывных работ; выемка твёрдых полезных ископаемых; искусственное закрепление горных пород (замораживание, битумизация, цементация и др.); осушение обводнённых месторождений полезных ископаемых и заболоченных районов; вскрытие месторождений; прокладка подземных коммуникаций: сооружение свайных фундаментов и др.

**Классификация способов бурения.** По характеру разрушения породы, применяемые способы бурения делятся на: механические - буровой инструмент непосредственно воздействует на горную породу, разрушая её, и немеханические - разрушение происходит без непосредственного контакта с породой источника воздействия на неё (термическое, взрывное и др.).

Механические способы бурения подразделяют на вращательные и ударные (а также вращательно-ударные и ударно-вращательные). При вращательном бурении порода разрушается за счёт вращения прижатого к забою инструмента. В зависимости от прочности породы при вращательном бурении применяют буровой породоразрушающий инструмент режущего типа (Долото буровое и Коронка буровая); алмазный буровой инструмент; дробовые коронки, разрушающие породу при помощи дроби (Дробовое бурение). Ударные способы бурения разделяются на: ударное бурение или ударно-поворотное (бурение перфораторами, в том числе погружными, ударно-канатное, штанговое и т.п., при которых поворот инструмента производится в момент между ударами инструмента по забою); ударно-вращательное (погружными пневмо- и гидроударниками, а также бурение перфораторами с независимым вращением и т.п.), при котором удары наносятся по непрерывно вращающемуся инструменту; вращательно-ударное, при котором породоразрушающий буровой инструмент находится под большим осевым давлением в постоянном контакте с породой и разрушает её за счёт вращательного движения по забою и периодически наносимых по нему ударов. Разрушение пород забоя скважины производится по всей его площади (бурение сплошным забоем) или по кольцевому пространству с извлечением керна (колонковое бурение).

Удаление продуктов разрушения бывает периодическое с помощью желонки и непрерывное шнеками, витыми штангами или путём подачи на забой газа, жидкости или раствора (Глинистый раствор). Иногда бурение подразделяют по типу бурового инструмента (шнековое, штанговое, алмазное, шарошечное и т.д.); по типу буровой машины (перфораторное, пневмоударное, турбинное и т.д.), по методу проведения скважин (наклонное, кустовое и т.д.).

Технические средства бурения состоят в основном из буровых машин (буровых установок) и породоразрушающего инструмента. Из немеханических способов получило распространение для бурения взрывных скважин в кварцсодержащих породах термическое бурение, ведутся работы по внедрению взрывного бурения.

Бурение развивалось и специализировалось применительно к трём основным областям техники: наиболее глубокие скважины (несколько км) бурятся на нефть и газ, менее глубокие (сотни м) для поисков и разведки твёрдых полезных ископаемых, скважины и шпуров глубиной от нескольких м до десятков м бурят для размещения зарядов взрывчатых веществ (главным образом в горном деле и строительстве).

**Наклонно-направленное бурение** - способ проведения скважины с отклонением от вертикали по заранее заданной кривой. Наклонно-направленное бурение оказывается целесообразным в строительстве при: сложном рельефе местности, при прокладке инженерных коммуникаций (например, под существующими дорогами или под капитальными сооружениями). При геологоразведочных работах наклонно-направленное бурение осуществляется шпиндельными буровыми станками, причём скважина забуривается наклонно непосредственно с земной поверхности. Наклонно-направленное бурение производится турбобурами или роторным способом (скважина с поверхности забуривается вертикально с последующим отклонением на заданной глубине в запроектированном направлении).

Отклонение скважины от вертикали при наклонно-направленном бурении (изменение зенитного угла и азимута бурения) осуществляется отклоняющими устройствами, например турбинными отклонителями. Бурение прямолинейно-наклонных участков производится с помощью бурильных устройств, включающих центрирующие и калибрующие элементы.

**Свайные фундаменты** - один из наиболее прогрессивных типов фундаментов, обеспечивающих высокий уровень комплексной механизации работ нулевого цикла при их высоком качестве.

В настоящее время свайные фундаменты используют при самых разнообразных грунтовых условиях, включая слабые, насыпные, набухающие и вечномёрзлые грунты. Для ряда грунтовых условий свайные фундаменты являются единственно целесообразным решением. При их применении особое значение имеет возможность уменьшить объём земляных работ.

Широкое применение свайных фундаментов в строительстве зданий объясняется рядом их преимуществ, к которым относятся: способность воспринимать вертикальные вдавливающие и выдёргивающие, а так же горизонтальные нагрузки и изгибающие моменты; высокая индустриальность; сокращённые сроки производства работ; уменьшенный расход бетона; сокращённые транспортные операции; незначительные величины общих и неравномерных осадок зданий; высокое качество работ в зимнее время в любом климатическом районе.

Одной из особенностей развития свайного фундаментостроения является многообразие различных конструктивных решений свай, эффективных в тех или иных условиях (более 100 типов).

*Сваи* - стержневые элементы, погружаемые в грунт или устраиваемые в грунте для передачи нагрузок от здания на основание.

*Свайный фундамент* - опорная конструкция глубокого заложения, в которой основными элементами, передающими нагрузку на грунт, являются сваи. Кроме свай фундамент имеет ростверк и оголовки.

Сваи используют для устройства фундаментов под различные здания и сооружения, повышения несущей способности слабых грунтов, а так же укрепления стенок котлованов от обрушения.

Свайные фундаменты, состоящие из нескольких свай, образующих общую группу, называют свайным кустом, а плиту, которая их объединяет, - ростверком.

Устройство свайных фундаментов является комплексным процессом, в общем случае включающим (на примере метода погружения): подготовку территории для ведения работ и геодезическую разбивку с выносом в натуру положения каждой сваи; доставку на стройплощадку, монтаж, наладку и опробование оборудования для погружения свай; транспортировку готовых свай от места изготовления к месту их погружения; погружение свай; срезку отдельных свай на заданной отметке; демонтаж оборудования; устройство ростверка.

В некоторых случаях приходится извлекать сваи и шпунты для устранения обнаруженных в процессе погружения дефектов или при окончательной разборке временных сооружений.

При строительстве промышленных объектов и специальных сооружений по технологическим условиям в ряде случаев необходимо возводить подземные части зданий на большой глубине и в сложных гидрогеологических условиях. К таким сооружениям относятся гаражи, резервуары, скиповые ямы доменных цехов, подземные части атомных реакторов и другие сооружения. В этих условиях применение традиционного открытого способа технически сложно и, как правило, экономически нецелесообразно. Для их возведения пользуются специальными технологическими методами.

В строительном производстве сваи классифицируют по следующим признакам, определяющим или влияющим на методы устройства свайных фундаментов:

**по материалу:**

1. деревянные;
2. металлические;
3. бетонные;
4. железобетонные;
5. комбинированные;
6. грунтовые;
7. стальные;
8. сталефибробетонные
9. грунтобетонные.

**по конструкции:**

1. квадратные;
2. прямоугольные;
3. трубчатые;
4. прямоугольные;

5. многоугольные;
6. с уширением и без него;
7. цельные;
8. составные;
9. призматические;
10. конические;
11. сплошного сечения;
12. пустотелые;
13. винтовые;
14. сваи-колонны.

**по способу устройства:**

1. забивные;
2. набивные.

**по характеру работы в грунте:**

1. сваи-стойки;

2. висячие сваи.

**по виду воспринимаемой нагрузки:**

1. центральная, вертикально действующая;
2. нагрузка с эксцентриситетом.

**по виду армирования железобетонных свай:**

1. с напрягаемой арматурой;
2. с ненапрягаемой арматурой;
3. с поперечным армированием и без него.

Устройство свайных фундаментов является комплексным процессом, включающим на примере метода забивки:

1. подготовку территории для ведения работ;
2. геодезическую разбивку с выносом в натуру положения каждой сваи;
3. доставку на стройплощадку, монтаж, наладку и опробование оборудования для погружения свай;

4. транспортировку готовых свай от места их изготовления к месту их погружения;
5. забивку свай;
6. срезку готовых свай по заданной отметке;
7. вывоз со строительной площадки срезанных остатков свай;
8. устройство монолитного или сборного ростверка;
9. демонтаж оборудования.

*Деревянные сваи* изготавливают из древесины сосны, ели, лиственницы, кедра, пихты, дуба. Длина свай 4-12 м, диаметр в тонком конце 18-34 см. В нижнем конце свая заострена на 3-4 грани, остриё должно совпадать с осью сваи, отклонение от оси может увести сваю при забивке от проектного положения. При забивке в плотные грунты и предохранения острия от разрушения на него одевают металлический башмак - наконечник, на верхнюю часть - железное кольцо - бугель, предохраняющий голову сваи от разрушения при забивке.

*Металлические сваи* применяют в портовом, мостовом, энергетическом и промышленном строительстве, при возведении высотных сооружений. Используют стальные трубы диаметром 25-100 см, рельсы, двутавры, винтовые сваи со специальным наконечником, завинчиваемые в грунт.

*Сваи оболочки - металлические трубчатые сваи* диаметром 1-1,2 м и более, длиной до 14 м, при необходимости их наращивают и соединяют на сварке. Сваи с открытым нижним торцом по мере заглубления заполняют грунтом, который, уплотняясь, увеличивает несущую способность сваи. Сваи-оболочки с закрытым нижним торцом в виде съёмного наконечника забивают в грунт. Металлический наконечник всегда остаётся в грунте, сама свая может быть оставлена и заполнена бетонной смесью для повышения несущей способности или извлечена. В процессе извлечения её полость заполняется бетонной смесью.

*Стальной шпунт* применяют для устройства водонепроницаемых стенок котлованов, подпорных стенок, пирсов, набережных. Для шпунта выпускают специальные профили - плоские, корытообразные, зетобразные длиной до 30 м, в отдельных случаях используют обычный стальной прокат.

*Железобетонные сваи* выпускают сечением от 20×20 до 60×60 см и длиной от 3 до 16 м с обычной и предварительно напряженной арматурой. Предварительное напряжение позволяет сократить расход бетона на 15-20%, металла до 50-60% по сравнению с обычным армированием. Армирование необходимо для транспортировки и забивки свай, для нормальной работы на сжатие достаточно косвенного армирования. Предварительное напряжение при забивке препятствует возникновению деформаций, трещин, стягивает имеющиеся трещины.

Полые сваи квадратного трубчатого сечения длиной 2 - 6 м применяют в плотных грунтах и малых нагрузках от строящегося сооружения, наружный диаметр может достигать до 80 см.

Забивные сваи изготавливают на заводе и доставляются в готовом для погружения в грунт виде. В зависимости от характеристик грунта существует ряд методов устройства свай, в том числе ударный, вибрационный, завинчиванием, с использованием подмыва и электроосмоса, а так же различными комбинациями этих методов.

**Ударный метод** основан на использовании энергии удара, под действием которой свая своей нижней заострённой частью внедряется в грунт. По мере погружения она смещает частицы грунта в стороны, частично вниз или вверх. В результате погружения свая вытесняет объём грунта, практически равный объёму её погруженной части. Меньшая часть этого грунта оказывается на дневной поверхности, большая - смешивается с окружающим грунтом и значительно уплотняет грунтовое основание. Зона заметного уплотнения грунта вокруг сваи составляет 2 - 3 диаметра сваи.

Ударную нагрузку на оголовок сваи создают специальные механизмы:

- паровоздушные молоты, которые приводятся в действие силой сжатого воздуха или пара, непосредственно воздействующих на ударную часть молота;
- дизель-молоты, работа которых основана на передаче энергии сгорающих газов ударной части молота;
- вибропогружатели - передача колебательных движений рабочего органа на сваю (использование вибрации);
- вибромолоты - сочетание вибрации и ударного воздействия на сваю.

**Вибропогружатели и вибромолоты** чаще используются при погружении трубчатых свай-оболочек большого диаметра, при погружении в грунт и извлечении шпунтовых свай.

Рабочий цикл молотов всех типов состоит из двух тактов: холостого хода, в течение которого происходит подъём ударной части на определённую высоту, и рабочего хода, в течение которого ударная часть с большой скоростью движется вниз до момента удара по свае. В ряде свайных молотов рабочий ход происходит только под действием массы ударной части, такие молоты называются молотами одиночного действия.

В молотах двойного действия в точке максимального подъёма ударная часть получает дополнительную энергию, на сваю действует эта энергия и масса ударной части молота. В процессе работы молота корпус его остаётся неподвижным на голове погружаемой сваи, ударная часть молота движется внутри корпуса. Энергия сгорания не только поднимает ударную часть молота на предельную высоту, но и воздействует на неё ударом, когда она под действием силы тяжести падает вниз. Подача топлива и его возгорание в зависимости от положения ударной части выполняются автоматически.

**Дизель-молоты**, по сравнению с паровоздушными, отличаются более высокой производительностью, простотой в эксплуатации, автономностью действия и более низкой стоимостью. Автономность обеспечивается путём подъёма за счёт рабочего хода двухтактного дизельного двигателя.

Для подъёма и установки сваи в заданное положение и для забивки свай с обеспечением передачи усилия от молота сваи строго в вертикальном положении применяют специальные устройства - копры. Основная рабочая часть копра - его стрела, вдоль которой устанавливают перед погружением молот, опускают и поднимают его по мере забивки сваи. Наклонные сваи погружают в грунт копрами с наклонной стрелой. Копры бывают на рельсовом ходу (универсальные металлические копры башенного типа) и самоходные - на базе кранов, тракторов, экскаваторов и автомашин со стрелой длиной 9-18 м.

**Универсальные копры** имеют значительную собственную массу до 20 т. Монтаж и демонтаж таких копров, устройство для них подкрановых путей - достаточно трудоёмкие процессы, поэтому универсальные копры применяют для забивки свай длиной более 12 м при большом объёме свайных работ на объекте.

Наиболее распространены в промышленном и гражданском строительстве сваи длиной 6-10 м, которые забивают с помощью **самоходных сваебойных установок**. Такие установки маневренны и имеют механические устройства для подтаскивания и подъёма на необходимую высоту сваи, закрепления головы сваи в наголовнике, в вертикальном выравнивании стрелы со сваей перед забивкой.

**Забивка свай** состоит из трёх основных повторяющихся операций:

- передвижка и установка копра на место забивки сваи;
- подъём и установка сваи в позицию для забивки;
- забивка сваи.

Центр тяжести свайного молота должен совпадать с направлением забивки сваи. Свайный молот поднимают на высоту, достаточную для установки сваи, с некоторым запасом на ход молота и в таком положении закрепляют. При забивке стальных и железобетонных свай молотами одиночного действия обязательно применение наголовников для смягчения удара и предохранения головы сваи от разрушения.

В процессе забивки свай входят установка сваи в проектное положение, надевание наголовника, опускание молота и первые удары по свае с высоты 0,2 - 0,4 м, после погружения сваи на глубину 1 м - переход к режиму нормальной забивки. От каждого удара свая погружается на определённую глубину, которая уменьшается по мере заглубления сваи. В дальнейшем наступает момент, когда глубина забивки сваи практически незаметна. Практически свая погружается на одну и ту же малую величину, называемую отказом.

**Отказ** - глубина погружения сваи за определённое количество ударов обычного молота одиночного действия или за единицу времени для молотов двойного действия. Величина отказа - среднее от 10 или серии ударов в единицу времени.

**Залог** - серия ударов, выполняемых для замера средней величины отказа: для паровоздушных молотов в залоге 20-30 ударов, для дизель-молотов одиночного действия в залоге 10 ударов, для дизель-молотов двойного действия отказ определяют за 1 минуту забивки.

**Погружение свай вибрированием** осуществляется с использованием вибрационных механизмов, оказывающих на сваю динамические воздействия, которые позволяют преодолеть сопротивление трения на боковых поверхностях сваи, лобовое сопротивление грунта,

возникающее под остриём сваи, и погрузить сваю на проектную глубину. На скорость погружения и амплитуду колебаний влияют масса вибрирующих частей сваи и вибратора, его эксцентриситет, плотность грунта, участвующего в колебаниях, частота колебаний вибропогружателя. Благодаря вибрации для погружения свай в грунт требуются усилия иногда в десятки раз меньшие, чем при забивке. При этом происходит частичное виброуплотнение грунта, в том числе и под головкой сваи. Зона уплотнения для разных грунтов составляет 1,5-3 диаметра сваи.

Для погружения свай вибрированием, используют вибропогружатели, которые подвешивают к мачте сваепогружающей установки и жестко соединяют с наголовником сваи. Действие вибропогружателя основано на принципе, при котором вызываемое дисбалансами вибратора горизонтальные центробежные силы взаимно ликвидируются, в то время как вертикальные силы суммируются.

Способ наиболее приемлем в песчаных грунтах, водонасыщенных мелких и пылеватых грунтах, где скорость погружения может достигать 3,5 - 7 м/мин. Этим методом погружают сплошные и полые железобетонные сваи, сваи-оболочки, металлический шпунт.

При глинистых и тяжелых суглинистых грунтах под остриём сваи может возникнуть глинистая подушка, которая снижает несущую способность сваи до 40%. Поэтому на заключительной стадии погружения, на последние 15-30 см свая погружается в грунт ударным способом.

Вибрационный метод наиболее эффективен при несвязных водонасыщенных грунтах. Применение этого метода для погружения свай в маловлажные плотные грунты возможно лишь при устройстве лидирующих скважин, т.е. при предварительном пробуривании скважин.

Более универсальным является **виброударный способ погружения** свай с помощью вибромолотов. При работе вибромолота наряду с вибрационным воздействием на сваю периодически опускается ударник, оказывая и динамическое воздействие на голову сваи.

Наиболее распространены пружинные вибромолоты. В них при вращении валов с дебалансами в противоположных направлениях создаются постоянные колебания. Когда зазор между ударником и наковальней сваи оказывается меньше амплитуды колебаний, ударник периодически ударяет через наковальню по свае. Вибромолоты могут самонастраиваться, т.е. увеличивать энергию удара с повышением сопротивления грунта погружению сваи. Масса ударной части вибромолота применительно к погружению железобетонных свай должна быть не менее 50% от массы сваи и составлять 650-1350 кг.

Вибуударный способ применим в связных плотных грунтах, и позволяет в 3-8 раз быстрее при одинаковой мощности с вибрационным способом осуществить погружение свай в грунт за счет одновременной вибрации и забивки. При этом должно быть обеспечено жесткое соединение вибропогружателя со свайей.

Метод **вибровдавливания** основан на комбинации вибрационного или виброударного воздействия на сваю и статического пригруза. Вибровдавливающая установка состоит из двух рам. На задней раме находятся электрогенератор, работающий от тракторного двигателя, и двухбарабанная лебедка, на передней раме размещены направляющая стрела с вибропогружателем и блоки, через которые проходит к вибропогружателю вдавливающий канат от лебедки. В рабочем положении вибропогружатель, расположенный над местом погружения сваи, поднимает сваю и устанавливает её вместе с закреплённым наголовником на место её забивки. При включении вибропогружателя и лебедки свая погружается за счет собственной массы, массы вибропогружателя и части массы трактора, передаваемой вдавливающим канатом через вибропогружатель на сваю. Одновременно на сваю действует вибрация, создаваемая низкочастотным погружателем с подрессоренной плитой.

Метод вибровдавливания не требует устройства путей для передвижки рабочего агрегата, исключает повреждение и разрушение свай. Особенно эффективен при погружении свай длиной до 6 м.

**Погружение свай вдавливанием** применяют для коротких свай сплошного и трубчатого сечения. Статическое вдавливание осуществляется в такой последовательности: сваю устанавливают в вертикальное положение в направляющей стреле агрегата. Далее на голову сваи опускают и закрепляют оголовок, передающий давление от базовой машины через систему блоков и полиспастов непосредственно на сваю, которая благодаря этому давлению постепенно погружается в грунт. После достижения сваей проектной отметки погружение

прекращают, снимают наголовник, агрегат переезжает на новую позицию. Применимо статическое вдавливание с использованием одновременно задействованных двух механизмов.

**Погружение свай завинчиванием** основано на завинчивании стальных и железобетонных свай со стальным наконечником с помощью мобильных установок, смонтированных на базе автомобилей или других самоходных средств. Метод применяют чаще всего при устройстве фундаментов под мачты линий электропередачи, радиосвязи и других сооружений, где в достаточной мере могут быть использованы несущая способность винтовых свай и их сопротивление выдергиванию.

Установка для завинчивания состоит из рабочего органа, приводов вращения и наклона рабочего органа, гидросистемы, пульта управления, четырех гидравлических выносных опор и вспомогательного оборудования. Рабочий орган кабестан - механизм, состоящий из двух пар захватов и электродвигателя. Захваты обжимают сваю и передают ей вращение от электродвигателя. В зависимости от назначения (передачи нагрузки на большую площадь или заглубления в плотные грунты) винтовые лопасти наконечников могут иметь в диаметре до 3 м, минимальный диаметр лопастей составляет 30 см; длина свай может превышать 20 м.

Конструкция рабочего органа позволяет выполнять следующие операции: втягивать винтовую сваю внутрь трубы рабочего органа (предварительно на сваю надевают инвентарную металлическую оболочку), обеспечивать заданный угол погружения сваи в пределах 0-45° от вертикали, погружать сваю в грунт путем вращения с одновременным использованием осевого усилия. Это усилие при необходимости можно использовать при вывертывании сваи из грунта. Вращение рабочего органа осуществляют от коробки отбора мощности через соответствующие редукторы.

Рабочие операции при погружении свай методом завинчивания аналогичны операциям, выполняемым при погружении свай методами забивки или вибропогружения. Только вместо установки и снятия наголовника при этом методе одевают и снимают металлическую оболочку.

После завинчивания винтовой сваи (диаметр труб достигает 1 м), ее внутренняя полость заполняется бетоном. Скорость погружения винтовых свай зависит от диаметра лопасти и характеристик грунта и находится в пределах 0,2-0,6 м/мин.

Достоинства винтовых свай в их высокой несущей способности, возможности плавного погружения в грунт, восприятию отрицательных усилий.

**Погружение свай подмывом грунта** применяют в несвязных и малосвязных грунтах - песчаных и супесчаных. Целесообразно подмыв использовать для свай большого поперечного сечения и большой длины, но недопустимо для висячих свай. Способ заключается в том, что под действием воды, вытекающей под напором у острия сваи из одной или нескольких труб, закрепленных на свае, грунт разрыхляется и частично вымывается. При этом сопротивление грунта у острия сваи снижается, а поднимающаяся вдоль сваи вода размывает прилегающий грунт, уменьшая тем самым трение по боковым поверхностям сваи. В результате свая погружается в грунт под действием собственной массы и массы установленного на ней молота.

Расположение трубок для подмыва грунта диаметром 38...62 мм может быть боковым, когда две или четыре трубки с наконечниками находятся по бокам сваи, и центральным, когда одно- или многострунный наконечник размещен в центре пустотелой забиваемой сваи. При боковом подмыве, по сравнению с центральным подмывом, создаются более благоприятные условия для уменьшения сил трения по боковой поверхности свай. При боковом расположении подмывные трубки крепят таким образом, чтобы наконечники находились у свай на 30 - 40 см выше острия.

Для подмыва грунта воду в трубки подают под давлением не менее 0,5 МПа. При подмыве нарушается сцепление между частицами грунта под подошвой и частично по боковой поверхности свай, что может в последующем привести к снижению несущей способности свай. Учитывая, что свая должна будет в дальнейшем воспринимать нагрузку, погружение с подмывом осуществляют только до заданного уровня, а затем с помощью сваебойной установки ее забивают до проектной глубины (на 0,5-2,0 м). При этом способе погружения производительность возрастает на 30-40% по сравнению с чистой забивкой, экономится горючее. После прекращения подачи воды и стабилизации уровня грунтовых вод, грунт уплотняется и плотно обжимает сваю.

Применение метода подмыва не допускается, если имеется угроза просадки близлежащих сооружений, а также в целом на просадочных грунтах.

**Погружение свай с использованием электроосмоса** применяют в водонасыщенных плотных глинистых грунтах, в моренных суглинках и глинах. Для практической реализации метода уже погруженную в грунт сваю присоединяют к положительному полюсу (аноду) электрической сети постоянного тока, а соседнюю с ней, подготовленную для погружения в грунт - к отрицательному полюсу (катоде). При включении тока вокруг сваи с положительным полюсом резко снижается влажность грунта, а у соседней с отрицательным полюсом она наоборот резко увеличивается. В более влажной среде свая быстрее погружается в грунт, что позволяет применять сваебойное оборудование меньшей мощности.

После окончания забивки и отсоединения свай от источника тока в грунте быстро восстанавливается былая стабилизация грунта и его влажностного состояния. Благодаря этому, только за счет уменьшения влажности вокруг забитой сваи ее несущая способность значительно возрастает.

Если железобетонные сваи при методе осмоса дополнительно оснастить металлическими полосами, которые будут занимать 20-25% боковой поверхности свай, и также, уже забитую сваю подсоединить к аноду, а погружаемую с металлическими полосами к катоду, то только это позволит на 20-30% сократить трудозатраты и продолжительность погружения по сравнению с чистым методом электроосмоса. По сравнению с забивкой свай, использование дополнительно особенностей электроосмоса позволяет на 25-40% ускорить процесс погружения свай в грунт.

**Порядок погружения свай** зависит от их расположения в свайном поле и параметров сваепогружающего оборудования. Последовательность забивки свай определяется техкартой или проектом производства работ, она зависит от размеров свайного поля и свойств грунтов. Применимы три схемы - рядовая, когда последовательно забиваются все сваи в одном ряду; спиральная, при забивке свай от центра к сваям внешних рядов и секционная, когда все поле делят на отдельные секции по ширине здания, в которых забивка осуществляется по рядовой схеме.

Спиральная схема предусматривает погружение свай концентрическими кругами от центра к краям свайного поля, что позволяет получить минимальную протяженность пути сваепогружающей установки.

Кроме этого при погружении свай вокруг нее грунт дополнительно уплотняется. При спиральной схеме вновь забиваемые сваи находятся всегда по внешнему контуру свайного поля, поэтому напряженность уже забитого поля оказывает минимальное воздействие.

При больших расстояниях между отдельными сваями последовательность погружения может определяться в основном технологическими соображениями, прежде всего используемым оборудованием. У некоторых копров башенного типа мачты опираются на выдвижные рамы, смещающиеся примерно на 1 м. Такими копрами можно забивать сразу сваи двух рядов с одной стоянки, что значительно снижает трассу движения копра и время на его передвижки. При сооружении подземной части жилых зданий нашли применение краны, оснащенные навесным копровым оборудованием, перемещающиеся по рельсовому пути вдоль бровки котлована здания.

При устройстве свайных фундаментов зданий большой протяженности рационально применять мостовую сваебойную установку, представляющую собой передвижной мост, по которому перемещается тележка с копром. Сваи длиной 8 - 12 м забивают дизель-молотом. Достоинством мостовой сваебойной установки является возможность точной установки свай в месте забивки, предварительная раскладка свай в зоне работ значительно сокращает операции по подтаскиванию и закреплению сваи на копре, что значительно повышает производительность и качество работ.

При погружении свай основными факторами, определяющими выбор метода и сваепогружающего оборудования, являются физико-механические свойства грунта, объем свайных работ, вид свай, глубина их погружения, производительность применяемых сваебойных установок и свайных погружателей.

Объемы предстоящих работ измеряют числом свай, которые необходимо забить, или суммарной длиной погружаемой в грунт части свай. От этих объемов, специфики грунтовых условий и заданных сроков работ зависит выбор оборудования для погружения свай и количество сваепогружающих установок.

**Устройство набивных свай.** При набивном методе часть процесса - изготовление свай - происходит на заводе железобетонных изделий. При набивном методе весь процесс устрой-

ства свай происходит на строительной площадке. По забивному методу необходимо срезать оголовки забитых свай, что приводит к потерям железобетона. Эти потери могут быть большими и составлять до пятой части объема забивных свай. Набивной метод, в отличие от забивного не ограничен для применения в условиях плотной городской застройки, а также при реконструкции и ремонте зданий и сооружений.

В последние годы набивной метод находит все более широкое применение при устройстве свай. Применение набивных свай позволяет не только избежать указанные выше потери железобетона, но и усилить и повысить надежность фундаментов особенно в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях города.

Основные способы устройства свай по набивному методу:

- буронабивные сваи;
- с помощью пробивки скважины;
- с помощью раскатки скважины.

Понятие «набивные сваи» объединяет большое число различных конструкций свай и методов их изготовления. Но для всех видов набивных свай принципиально общей является основная технологическая схема: в грунте тем или иным методом устраивают скважину, которую затем заполняют бетоном.

Если до заполнения скважины бетоном в нее опускают стальной арматурный каркас, то получается железобетонная набивная свая.

Применение того или иного способа устройства скважины и способа заполнения ее бетоном зависит от многих факторов: геолого- гидрогеологических условий строительной площадки, эксплуатационных требований к свайному фундаменту, механовооруженности строительства и т. п.

Характерными современными тенденциями в области устройства набивных свай являются следующие: повышение несущей способности этих свай путем увеличения площади их опирания на грунт; применение коротких набивных свай (2,5—6 м) в массовом жилищном строительстве; создание специализированных строительных организаций, выполняющих работы по устройству набивных свай.

При описании способов выполнения работ по устройству набивных свай будет рассмотрено изготовление так называемых грунтовых свай. Скважины для таких свай делают в основном теми же способами, что и для набивных бетонных свай, а затем заполняют грунтом.

По конструктивному назначению, размещению в плане и работе, в грунте между бетонными сваями и грунтовыми имеется принципиальное различие. Бетонные или железобетонные сваи представляют собой жесткие стержни, составляющие основную часть свайного фундамента. От таких свай нагрузка от сооружения передается грунту. Понятие же «грунтовая свая» является условным. Назначение последней состоит только в уплотнении грунта, залегающего ниже подошвы фундамента. По окончании работ по уплотнению грунта грунтовыми сваями они физически перестают существовать и вместе с уплотненным грунтом образуют более или менее однородное искусственное основание. Чем больше материал грунтовых свай по своим свойствам и составу приближается к свойствам и составу уплотняемого грунта, тем однороднее будет искусственное основание.

В настоящем разделе описаны современные методы изготовления набивных бетонных и железобетонных свай, применяемых в отечественной и зарубежной практике, а также особенности конструкций фундаментов на набивных сваях.

В зависимости от материала, конструкции и способов изготовления различают следующие виды набивных свай:

**по материалу** — бетонные, железобетонные, песко- и грунто-бетонные, песчаные, грунтовые, комбинированные с применением металлической, асбоцементной и синтетических оболочек, сборного железобетона, дерева;

**по глубине заложения** — короткие (до 6 м) и длинные (более 6 м). - Кроме этого, набивные сваи подразделяют:

**в зависимости от расположения свай в плане** — одиночные, свайные кусты, полосы и поля;

**по способу заделки** — со свободной головкой и заделкой в бетон ростверка или фундаментной плиты;

**по отношению оси к горизонтальной плоскости** — вертикальные и наклонные;

**по горизонтальному сечению ствола** — круглые сплошные и кольцевые;

**по вертикальному сечению ствола** — цилиндрические, гофрированные, конические, с уширенной пятой;

**по характеру работы в грунте** —исячие свай, свай-стойки и анкерные.

Способы образования скважин следующие: механическое и вибромеханическое бурение, пробивка отверстий конусом или лидерной трубой, бурение под глинистым раствором, взрывной метод.

Применяют следующие способы бетонирования ствола: прямое, с применением вертикально перемещающейся трубы (ВПТ), под глинистым раствором, под защитой обсадной трубы, бетонирование с трамбованием, пневмо- и гидропрессование, раздельное бетонирование и др.

Способы образования уширений стволов возможны следующие: механическое трамбование, механическое бурение сухим способом или под глинистым раствором, гидро- и электромеханическим раздавливанием, термомеханическим бурением, вибрированием, пневмо- и гидропрессованием и взрывным методом.

На практике применяют два основных способа образования скважин под набивные сваи для последующего заполнения их бетоном: бурением или пробивкой грунта. По первому способу в зависимости от грунта скважины бурят без укрепления стенок или с укреплением их глинистым раствором, а также под защитой обсадных труб. По второму способу скважины пробивают тоже в зависимости от вида грунта сердечниками или трубами с глухим нижним концом, трубами с теряемым башмаком или трубами-оболочками с глухими нижними концами, которые остаются в грунте. Последний метод является переходным к установке забивных полых свай с глухим нижним концом.

Устройство набивных свай можно разделить на шесть основных групп. В первые три группы входят те виды набивных свай, для устройства которых скважины образуют бурением. Эти группы получили общее название буронабивных свай.

**I группа** — сваи, для которых скважины образуют бурением сухим способом без глинистого раствора и обсадных труб: скважины бурят роторным или другим способом без уширения ствола или пяты или с уширением (сваи камуфлетные, с разбуриваемой пятой, лучевидные); скважины образуют с лидерным буровым шпуром с последующим увеличением их диаметра до заданных размеров с помощью взрыва (гофрированные сваи и др.); то же, роторным бурением из разбуриваем с добавлением цемента (грунтобетонные сваи).

**II группа** — сваи, для которых скважины образуют роторным бурением обсадных труб, а бетонирование ведут под глинистым раствором: диаметром до 1 м; диаметром более 1 м — буровые опоры.

**III группа** — сваи, для которых бурят скважины с применением обсадной трубы, бетонирование производят под защитой постепенно извлекаемой трубы: бетонирование ведут механическим трамбованием бетона, подаваемого в скважину; сваи образуют пневматическим прессованием бетона; бетонирование ведут гидравлическим прессованием бетона.

**IV группа** — сваи, для которых отверстия в грунте образуют штампами и бетонирование ведут без обсадки: сваи, для которых отверстия в грунте пробивают конусами-штампами; отверстия в грунте образуют виброметодом или вдавливанием (сваи конусные и др.).

**V группа** — сваи, для которых скважины образуют забивкой в грунт массивной оболочки со съемным башмаком или раскрывающимся наконечником; бетонирование производят с постепенным извлечением оболочки.

**VI группа** — сваи, для которых скважины образуют забивкой в грунт металлической оболочки, остающейся в грунте: в грунт забивают металлическую оболочку с сердечником (или без него), затем сердечник удаляют и оболочку заполняют бетоном; забитую в грунт массивную металлическую оболочку заменяют более тонкой, остающейся в грунте с последующим бетонированием.

Характерной особенностью технологии устройства *буронабивных свай* является предварительное бурение скважин до заданной отметки и последующее формирование ствола свай.

В зависимости от грунтовых условий буронабивные сваи устраивают одним из следующих трех способов: без крепления стенок скважин (сухой способ), с применением глини-

стого раствора для предотвращения обрушения стенок скважины, с креплением скважин обсадными трубами.

Сухой способ (рис. 1) применим в устойчивых грунтах (просадочные и глинистые твердой, полутвердой и тугопластичной консистенции), которые могут держать стенки скважины. Технология устройства таких свай состоит в следующем. Методами вращательного бурения (шнековая колонна или ковшовый бур) в грунте разбуривают скважину необходимого диаметра и на заданную глубину. По достижении проектной отметки в необходимых случаях нижнюю часть скважины расширяют с помощью специальных расширителей, закрепленных на буровой штанге и входящих в комплект бурового станка.

Принцип работы расширителя следующий: давление, передаваемому через штангу, раскрывает шарнирную систему ножей расширителя; при вращении штанги ножи срезают грунт, попадающий в бадью, расположенную под расширителем. За 4...5 операций срезывания и извлечения грунта образуется уширенная полость диаметром до 1,6 м. После приемки скважины в установленном порядке при необходимости в ней монтируют арматурный каркас и бетонируют методом вертикально перемещающейся трубы.

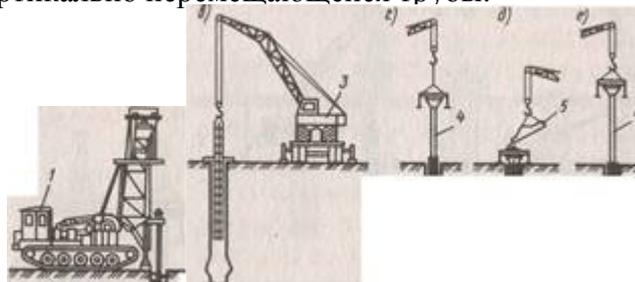


Рис.1. Технологическая схема устройства буронабивных свай сухим способом

а - бурение скважины; б - устройство уширенной полости; в - установка арматурного каркаса; г - установка бетонолитной трубы с вибробункером; д - заполнение вибробункера бетонной смесью; е - бетонирование скважины методом ВПТ; ж - утепление оголовка сваи в зимних условиях; 1 - шнековая буровая установка; 2 - расширитель; 3 - кран грузоподъемностью 10...12 т; 4 - бетонолитная труба; 5 - загрузочный бункер

Применяемые в строительстве бетонолитные трубы, как правило, состоят из отдельных секций и имеют стыки, позволяющие быстро и надежно соединять: трубы. В приемную воронку бетонную смесь подают непосредственно из автосмесителя или с помощью специального загрузочного бункера. По мере укладки бетонной смеси бетонолитную трубу извлекают из скважины. В скважине бетонную смесь уплотняют с помощью вибраторов, укрепленных на приемной воронке бетонолитной трубы. По окончании бетонирования скважины голову сваи формируют в специальном инвентарном кондукторе и в зимнее время защищают утеплителем. По этой технологии чаще всего изготавливают буронабивные сваи диаметром 400, 500, 600, 1000 и 1200 мм и длиной до 30 м.

Глинистый раствор для удержания стенок скважин от обрушения применяют при устройстве буронабивных свай (рис. 2) в неустойчивых обводненных грунтах. В этом случае скважины бурят **вращательным способом**. Однако при проходке по скальным включениям прослойкам используют сменные рабочие органы ударного типа (грейферы, долота). В скважину глинистый раствор поступает по пустотелой буровой штанге. За счет гидростатического давления, оказываемого этим раствором, плотность которого  $1,2...1,3 \text{ г/см}^3$ , устраивают сваи без обсадных труб. Глинистый раствор готовят на месте производства работ преимущественно из бентонитовых глин, и по мере бурения его нагнетают в скважину. Поднимаясь по скважине вдоль ее стенок, глиняный раствор попадает в зумпф, откуда возвращается насосом в буровую штангу для дальнейшей циркуляции. Затем в скважину устанавливают арматурный каркас. Бетонную смесь подают с помощью вибробункера с бетонолитной трубой, которую опускают в скважину.

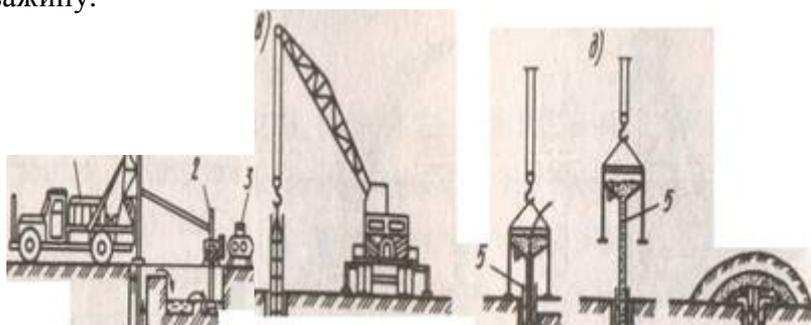


Рис. 2. Технологическая схема устройства буронабивных свай под глинистым раствором:

а - бурение скважины; б - устройство уширенной полости; в - установка арматурного каркаса; г - установка бетонной трубы с вибробункером и воронкой; д - бетонирование скважины методом ВПТ; е - утепление оголовка сваи в зимних условиях; 1 - буровой станок; 2 - глиносмеситель; 3 - насос; 4 - расширитель; 5 - бетонная труба с вибробункером

Вибрируемая бетонная смесь, поступающая в скважину, вытесняет глинистый раствор. По мере заполнения скважины бетонной смесью бетоновод извлекают.

Устройство буронабивных свай с креплением стенок скважин обсадными трубами (рис. 3) возможно в любых геологических и гидрогеологических условиях. Обсадные трубы можно оставлять в грунте или извлекать из скважин в процессе изготовления свай (инвентарные трубы). Секции обсадных труб, как правило, соединяют стыками специальной конструкции или с помощью сварки. Погружают обсадные трубы в процессе бурения скважины гидродомкратами, а также посредством забивки трубы в грунт или вибропогружением. Бурят скважины специальными установками вращательным или ударным способом.

После зачистки забоя и установки в скважине арматурного каркаса скважину бетонируют методом вертикально перемещаемой трубы (ВПТ). По мере заполнения скважины бетонной смесью инвентарную обсадную трубу извлекают. При этом специальная система домкратов, смонтированных на установке, сообщает обсадной трубе возвратно-поступательное и полувращательное движение, дополнительно уплотняя бетонную смесь. По окончании бетонирования скважины голову сваи формируют в специальном инвентарном кондукторе.

Для устройства уширений в основаниях свай, как правило, применяют **взрывной способ**. Для этого в пробуренной скважине устанавливают обсадную трубу так, чтобы ее нижний конец не доходил до дна скважины на 1,2...1,5 м, т. е. был за пределами действия камуфлетного взрыва. В обсадную трубу опускают на дно скважины заряд взрывчатки расчетной массы и выводят проводники от детонатора к подрывной машине. Трубу заполняют бетонной смесью и производят взрыв. Энергия взрыва уплотняет грунт и создает сферическую полость, которая немедленно заполняется бетонной смесью из обсадной трубы. Окончательно заполняют скважину описанным выше способом. В нашей стране буронабивные сваи изготавливают диаметром 880...1200 мм, длиной до 35 м. для устройства буронабивных свай используют литую бетонную смесь с осадкой конуса 16...20 см.

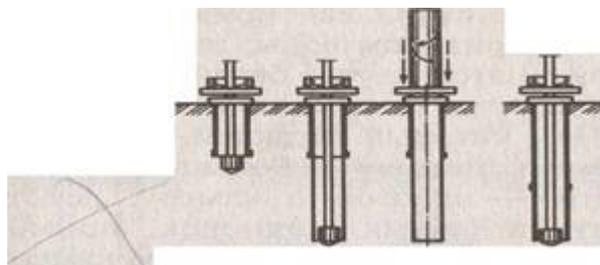


Рис. 3. Технологическая схема устройства буронабивных свай с применением обсадных труб: а - монтаж ротора и забуривание скважины с одновременным погружением обсадной трубы; б - проходка скважины; в - зачистка забоя скважины; г - установка арматурного каркаса; д - заполнение скважины бетонной смесью, извлечение обсадной трубы; е - формирование головы сваи в инвентарном кондукторе

**Пневмотрамбованные сваи** применяют при устройстве фундаментов с большим притоком воды, затрудняющим сооружение буронабивных свай. В этом случае бетонную смесь укладывают в полость обсадной трубы при постоянном повышенном давлении воздуха (0,25...0,3 МПа), который подается от компрессора через ресивер. Бетонную смесь подают небольшими порциями через специальное устройство - шлюзовую камеру, действующую по принципу пневмонагнетательных установок, применяемых для транспортирования бетонной смеси. Шлюзовые камеры состоят из двух отрезков труб, соединенных фланцами, которые имеют верхние и нижние отверстия, закрываемые клапанами. Подачу смеси через воронку в верхнюю камеру осуществляют при закрытом нижнем клапане; после подачи порции верхний клапан верхней камеры закрывается, а нижний - открывается и т. д.

**Вибротрамбованные сваи** используют в сухих связных грунтах, в которых можно укладывать бетонную смесь в открытую скважину глубиной 4...6 м. Такие сваи устраивают следующим образом. В грунт с помощью вибропогружателя, подвешенного к экскаватору,

погружают стальную обсадную трубу, имеющую на конце съемный железобетонный башмак.

После погружения трубы вибропогружатель снимают и внутреннюю полость трубы заполняют на 0,8...1 м бетонной смесью. С помощью трамбующей штанги, подвешенной к вибропогружателю, смесь трамбуют, в результате чего она вместе с башмаком вдавливаются в грунт, образуя при этом уширенную пятю. Заполнив бетонной смесью обсадную трубу, ее извлекают из грунта с помощью экскаватора, при работающем вибропогружателе.

**Частотрамбованные сваи** устраивают путем забивки обсадных труб, опирающихся на металлический (обычно чугунный) наконечник. Затем в полости, образованной обсадной трубой, устраивают армированную (или неармированную) сваю, уплотняя бетонную смесь с помощью ударов паровоздушного молота двойного действия, передающихся через трубу.

Частотрамбованные сваи, (рис. 4) устраивают с помощью специально оборудованного копра в такой последовательности. На копер лебедкой поднимают паровоздушный молот двойного действия и обсадную трубу, которая в верхней части имеет оголовок. На нижний конец обсадной трубы насаживают металлический башмак со смоляным канатом, чтобы исключить проникновение в трубу воды. Под действием удара молота обсадную трубу погружают до проектной отметки. Погружаясь, труба раздвигает частицы грунта и уплотняет его. Затем молот поднимают, а в полость трубы опускают арматурный каркас (если сваи армируются). Из вибробадьи через воронку подают в полость обсадной трубы бетонную смесь с осадкой конуса 8...10 см.

Параллельно с укладкой смеси извлекают (вытягивают) обсадную трубу из грунта, причем металлический башмак остается в основании сваи. В это время молот двойного действия, вновь соединенный с обсадной трубой, уплотняет бетонную смесь при этом сила его погружающего удара в два раза меньше выдергивающих усилий, передаваемых на обсадную трубу. При ударах молота, направленных вверх, труба должна извлекаться на 4...5 см из грунта, а при ударах, направленных вниз, - погружаться на 2... 3 см.

Удары, направленные вниз, наряду с вибрационным воздействием трубы значительно уплотняют бетонную смесь, впредссывая ее в стенки скважины, что, в свою очередь, также уплотняет грунт.

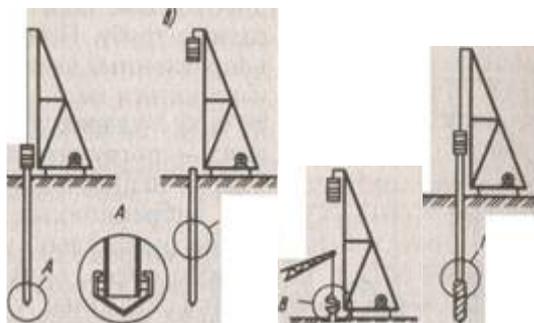


Рис. 4. Технологическая схема устройства частотрамбованных свай

а - подъем в рабочее положение обсадной трубы, и молота; б - погружение обсадной трубы; в - установка арматурного каркаса; г - подача бетонной смеси в полость трубы; д - извлечение обсадной трубы с одновременным уплотнением бетонной смеси; 1 - копер; 2 - молот двойного действия; 3 - лебедка; 4 - обсадная труба; 5 - арматурный каркас; б - вибробадья; 7 - приемная воронка

**Песчаные и грунтобетонные сваи** применяют для уплотнения слабых грунтов. В этом случае используют специальные приспособления в виде стальной обсадной трубы с коническим четырехлопастным раскрывающимся наконечником. Трубу заполняют песком (грунтом) и с помощью вибропогружателя погружают на проектную глубину (рис. 5). При движении трубы кольцо, открывающее лепестки наконечника, спадает и остается в грунте, а песок (сухой грунт) заполняет скважину. Песок уплотняют за счет вибрации от погружателя или трамбовками с помощью легкого копра. Таким способом выполняют набивку скважин на глубину до 7 м.

В последние годы стали устраивать грунтобетонные сваи, для чего применяют бурово-крановые машины с пустотелой буровой штангой, имеющей на конце смесительный бур с режущими и перемешивающими лопастями. Через штанги нагнетают растворомасосом водоцементную суспензию, изготовляемую в растворосмесителе. Смесительный бур при обратном вращении и извлечении послойно уплотняет грунт, насыщенный водоцементной эмульсией. В результате образуется грунтобетонная свая, изготовленная на месте без выемки грунта.

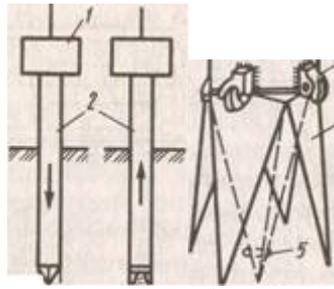


Рис. 5. Схема устройства на песчаных (грунтовых) набивных свай  
а - погружение обсадной трубы; б - извлечение трубы; в - раскрывающийся наконечник; 1 - вибропогружа-  
тель; 2 - обсадная труба; 3 - шарнир; 4 - створка наконечника; 5 - кольцо