

Тема 10. Свайные фундаменты. Классификация свай и свайных фундаментов. Теория работы свай- стоек и висячих свай (свай трения). Методы определения несущей способности свай. Работа группы свай и свайных фундаментов. Расчет и проектирование свайных фундаментов с низким и высоким ростверком. Сопротивление свай горизонтальным нагрузкам.

Классификация свай и свайных фундаментов.

Свайный фундамент - это инженерная конструкция, предназначенная для передачи нагрузки на плотные (прочные) грунты, расположенные на глубине, на которой опирание на них фундаментов мелкого или глубокого заложения нецелесообразно (неэкономично). Свайный фундамент состоит из **свай** - стержней, выполняемых из различных материалов, и **ростверка** - железобетонной плиты, распределяющей усилия от надземных конструкций на отдельные сваи.

Сваи различаются по материалу, конструкции, способу изготовления и погружения, по характеру работы и пр., а свайные фундаменты - в зависимости от конструкции ростверка.

Классификация свай по материалу

В качестве материала для свай используют железобетон, бетон, металл и дерево, а иногда их комбинации. Учитывая неблагоприятные условия воздействия температурно-влажностного режима грунтовой среды на сваи, к материалам свай предъявляют повышенные требования.

Металлические сваи обладают повышенной прочностью материала, и для таких свай основной проблемой является их коррозионная устойчивость. При использовании металлических свай для капитальных сооружений необходимо предусматривать антикоррозионное их покрытие или использование легированных сталей.

Деревянные сваи раньше широко применялись в строительстве. В качестве материала использовались хвойные смолистые породы деревьев (лиственница, сосна, ель). Они пропитывались антисептическими материалами для предохранения от загнивания.

Если сваи находятся в водной среде, то она предохраняет древесину от гниения. Так, сваи Ростральных колонн и набережных Биржевой площади Санкт-Петербурга, находящиеся постоянно ниже уровня подземных вод, полностью сохранили свои прочностные и деформационные свойства в течение длительного срока эксплуатации - более 200 лет.

Классификация свай по конструкции

По конструкции сваи отличаются необычайным разнообразием. Они различаются по форме поперечного сечения, продольному профилю, характеру армирования свай и др.

Поперечное сечение свай бывает круглым, кольцевым, квадратным, прямоугольным, многоугольным, в виде двутавра или тавра (рис. 5.1). Если наружный диаметр сваи кольцевого сечения превышает 800 мм, то они называются сваями-оболочками.

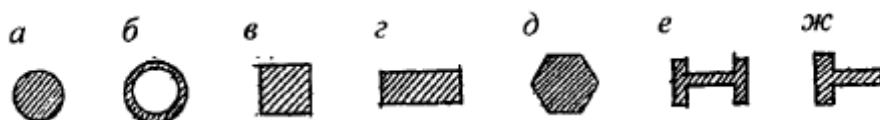


Рис. 5.1. Сечения железобетонных свай: а - круглое; б- круглое пустотелое; в - квадратное; г - прямоугольное; д - многоугольное; е - двутавровое; ж - тавровое

По длине сваи также могут менять поперечное сечение, то есть изменять профиль. **По продольному профилю** различают сваи призматические, цилиндрические, ромбовидные, трапециевидные, булавовидные, камуфлетные, лопастные (рис. 5.2). Наиболее распространены призматические сваи с квадратным поперечным сечением, постоянным по длине сваи.

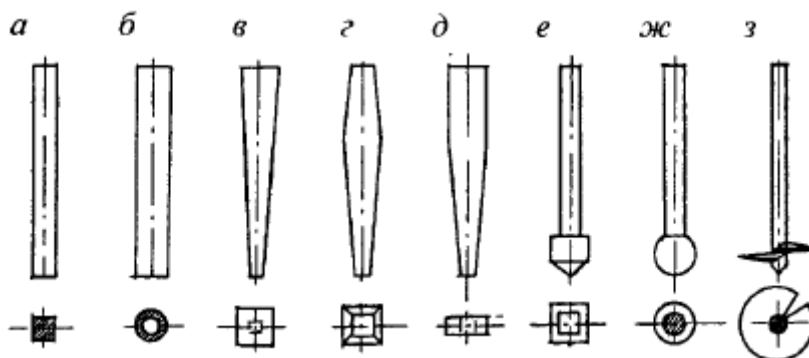


Рис. 5.2. Железобетонные сваи различного профиля: а - призматические; б - цилиндрические; в - пирамидальные; г - ромбовидные; д - трапециевидные; е - булавовидные; ж - камуфлетные; з - лопастные

Конструкция сваи зависит от способа ее изготовления. Сваи могут изготавливаться вне строительной площадки, а затем погружаться в грунт в готовом виде. Возможно изготовление сваи в грунте непосредственно на строительной площадке.

Сваи, погружаемые в грунт в готовом виде

В готовом виде могут погружаться сваи деревянные, железобетонные, металлические и комбинированные.

Деревянные сваи в настоящее время применяют редко. Их целесообразно использовать в местностях, богатых лесом, где отсутствуют заводы ЖБИ. Для предотвращения от гниения деревянные сваи следует располагать ниже уровня подземных вод. Эти сваи изготавливают из бревен, на нижнем конце которых устраивают заострение. Длина свай ограничивается сортаментом бревен, производимых лесной промышленностью. При необходимости использования свай большей длины их стыкуют из нескольких бревен. Во время забивки деревянной сваи на ее верхний конец одевают металлический бюгель, который предохраняет древесину от размачивания.

Железобетонные сваи более универсальны и получили большое применение в строительстве. Распространенными сечениями таких свай являются квадратное, квадратное с круглым отверстием, кольцевое. Конструкция этих свай показана на рис. 5.3 и 5.4. В зависимости от грунтовых условий и вида действующих на них нагрузок железобетонные сваи могут изготавливаться с

поперечной арматурой или без нее, с предварительно напряженной продольной арматурой или ненапрягаемой.

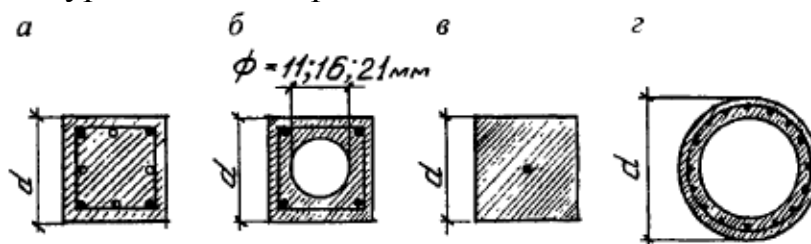


Рис. 5.3. Конструкции сечений забивных железобетонных свай:

а - призматической с поперечным армированием ствола, $d = 200 \dots 400$ мм, $L = 3 \dots 16$ м; б - то же с круглой полостью, $d = 250, 300$ и 400 мм, $L = 3 \dots 8$ м; в - то же без поперечного армирования ствола, $d = 250, 300$ мм, $L = 3 \dots 12$ м; г - полый круглой сваи и сваи-оболочки, $d = 400 \dots 1600$ мм, цельной, $L = 4 \dots 12$ м

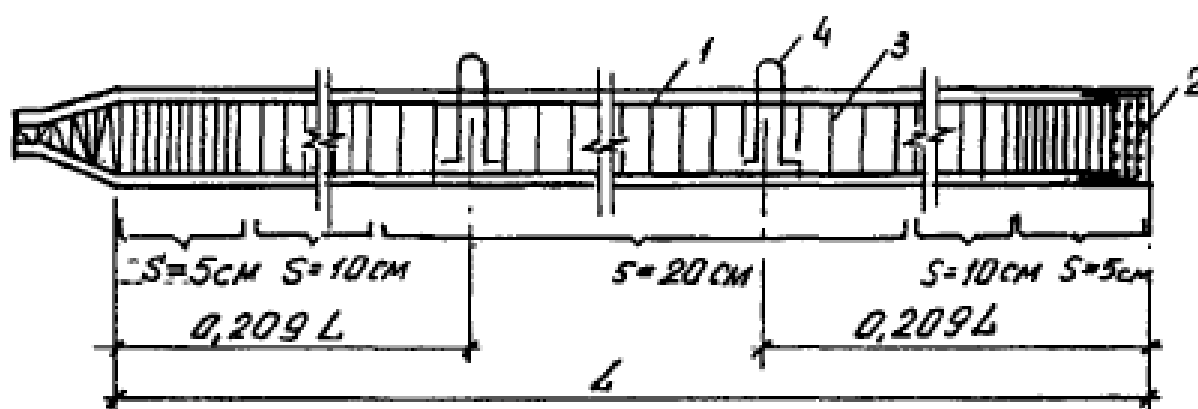


Рис. 5.4. Армирование железобетонной призматической сваи:

1 - продольная рабочая арматура; 2 - арматурные сетки; 3 - поперечная спиральная арматура; 4 - строповочная петля

Наибольшее применение нашли квадратные (призматические) сваи сплошного поперечного сечения от $0,2 \times 0,2$ м до $0,4 \times 0,4$ м и длиной $3 \dots 16$ м с поперечной арматурой и ненапрягаемой продольной. При необходимости использования свай большей длины их стыкуют из отдельных звеньев. Обычно сваи стыкуют сварными или болтовыми соединениями.

В слабых грунтах целесообразно использование пустотелых квадратных или круглых свай с закрытым нижним концом. Ввиду низкой несущей способности грунта прочность свай, ослабленной полостью, оказывается достаточной. Устройство полости в свае позволяет экономить бетон.

Круглые пустотелые сваи изготавливают наружным диаметром от $0,4$ до $0,8$ м, сваи-оболочки - от $0,8$ до $1,2$ м и оболочки - более $1,2$ м. Сваи диаметром до $0,6$ м производят с закрытым нижним концом. Пустотелые сваи изготавливают цельными и армируют продольной предварительно напряженной или горячекатаной арматурой периодического профиля и спиралью. Эти сваи используют при значительных сосредоточенных нагрузках и моментах.

Пирамидальные, ромбовидные сваи целесообразно применять, когда в основании имеются прослойки плотных грунтов. В области этих прослоек

грунта следует располагать уширенную часть сваи. К недостаткам этих свай относятся сложность их вертикального погружения и плохое восприятие горизонтальных нагрузок и моментов.

Булавовидные сваи - сваи с уширением в нижней части - выгодно применять в слабых оплывающих грунтах, подстилаемых плотными. Уширенная часть острия сваи опирается на плотный грунт, а образующаяся за булавой полость заполняется оплывающим грунтом и формирует сопротивление грунта по его боковой поверхности.

Металлические сваи из-за высокой стоимости металла и подверженности коррозии для капитальных сооружений используются крайне редко. Их применяют в аварийных ситуациях для обеспечения устойчивости основания и устройства временных опор несущих конструкций сооружений. В качестве свай используют стальные трубы с открытым или закрытым нижним концом, широкопрофильные двутавры и швеллеры.

Металлические лопастные сваи наиболее целесообразно использовать как анкеры. При наличии соответствующего оборудования они быстро погружаются в грунт и могут воспринимать значительные осевые нагрузки. Изгибающие моменты такие сваи воспринимают плохо.

Способы погружения готовых свай в грунт

В строительной практике используют следующие способы погружения готовых свай в грунт: забивку, вибропогружение, вдавливание, ввинчивание.

Забивку свай в грунт осуществляют молотами различной конструкции (механическими, паровоздушными, дизельными, электрическими). Масса ударной части свайного молота должна быть не меньше массы сваи с наголовником, располагаемым на верхнем конце сваи для защиты ее от разрушения ударами молота. Для смягчения удара в наголовники укладывают прокладки из дерева, резины и других материалов.

Забивку свай трудно осуществлять через слои плотных маловлажных песков, гравелистых грунтов и грунтов, имеющих твердые включения, например, в виде валунов. В песчаных грунтах применяют подмыв под нижним концом погружаемой сваи. В грунтах, имеющих твердые включения, перед забивкой сваи бурят лидерные (опережающие) скважины, в которые забивают сваи. Подмыв и проходку лидерных скважин заканчивают не менее чем на 1 м выше проектного положения острия сваи.

Погружаемые вибрированием сваи целесообразно применять при наличии толщи насыщенных водой песков. Для погружения свай используют вибропогружатели и вибромолоты. При действии вибратора создаваемые им колебания передаются грунту через погружаемую сваю. При этом грунт разжижается, что приводит к снижению сил трения грунта о сваю и снижению усилия вдавливания сваи. После прекращения вибрации трение грунта по боковой поверхности сваи оказывается больше, чем у забивных свай.

Вдавливаемые сваи применяют там, где для их погружения нельзя использовать динамические воздействия (ударные воздействия молота, вибропогружение). Такие условия возникают при устройстве свайных фундаментов вблизи существующих зданий в условиях плотной городской застройки.

Следует отметить, что вдавливание свай вблизи существующих зданий не всегда безопасно для последних.

Ввинчиваемые (лопастные) сваи целесообразно применять, когда с поверхности залегают слабые грунты, подстилаемые малосжимаемыми, и для устройства фундаментов, работающих на выдергивание. Давление на грунт основания такими сваями передается через винтовые лопасти диаметром до 2 м. Для завинчивания легких металлических анкерных свай применяют агрегаты, аналогичные буровым установкам. Железобетонные сваи ввинчивают с помощью кабестана, закрепляемого анкерами.

Сваи, изготавливаемые в грунте

Сваи, изготавливаемые в фунте, подразделяются на набивные, буронабивные и буровые. Это разделение зависит от способа устройства скважины и бетонирования свай. Скважину можно устроить с помощью забивки в грунт цилиндрического стержня или полой трубы с закрытым наконечником. В связных маловлажных грунтах скважину можно пробурить без крепления ее стенок. В слабых водонасыщенных грунтах при бурении необходимо обеспечивать устойчивость стенок скважины, для чего используют два способа: погружают в грунт в процессе бурения обсадную трубу или заполняют скважину глинистым раствором.

Набивные сваи изготавливают при образовании скважины с полным вытеснением грунта в объеме бетонируемой сваи. Последовательность устройства набивной сваи с полным вытеснением грунта показана на рис. 5.5. В грунт забивается полая металлическая труба с теряемым башмаком. При этом грунт уплотняется. Затем производится подача бетона в трубу и постепенный ее подъем. В необходимых случаях в бетоне устанавливается арматурный каркас

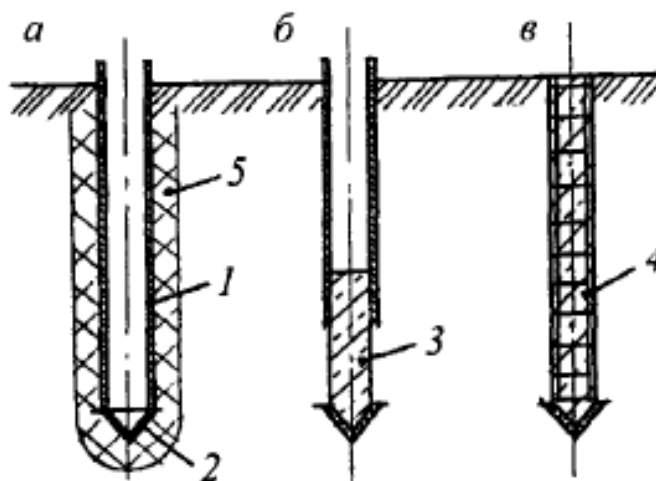


Рис. 5.5. Последовательность изготовления набивной сваи: а - погружение инвентарной трубы с закрытым нижним концом; б - укладка бетона в трубу с одновременным ее подъемом; в - установка металлического каркаса; 1 - инвентарная труба; 2 - теряемый башмак; 3 - бетон; 4 - каркас; 5 - уплотненный грунт

К набивным относятся виброштампованные сваи, устраиваемые в пробитых скважинах с помощью заполнения их жесткой бетонной смесью, кото-

рая уплотняется виброштампом, выполненным в виде трубы с заостренным нижним концом и закрепленным на верхнем конце трубы вибропогружателем.

Набивные сваи в выштампованном ноже устраивают путем выштамповки или вытрамбовывания в грунте пирамидальной, конусообразной или иной формы скважины с последующим заполнением ее бетонной смесью. При устройстве таких свай в нижнюю часть скважин несколько раз укладывают щебень или жесткую бетонную смесь и втрамбовывают в грунт. Это ведет к уширению пяты сваи и увеличению несущей способности грунта.

К буронабивным можно отнести сваи А. Страуса (рис. 5.6). русского инженера, впервые предложившего эти сваи (1889 г.). Бурение скважины производится в обсадной трубе, которая в процессе бетонирования поднимается вверх. При этом бетонная смесь трамбуется падающим грузом, что приводит к уплотнению грунта забоя скважины и расширению ее стенок, а также к уплотнению бетонной смеси.

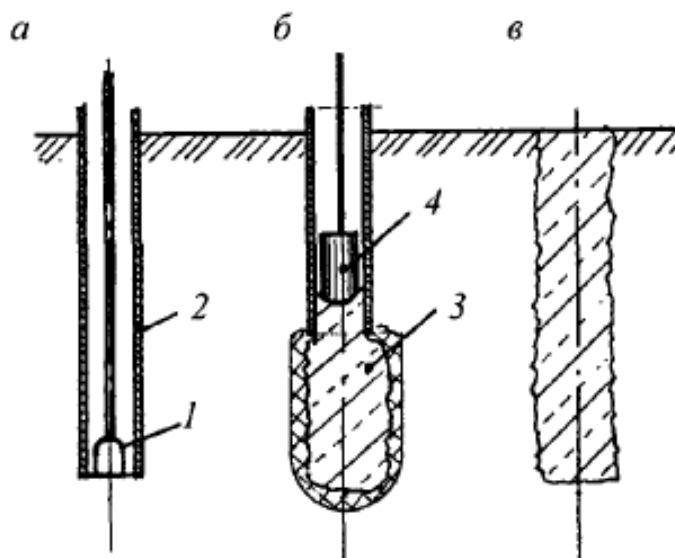


Рис. 5.6. Последовательность изготовления буронабивной сваи (сваи Страуса): а бурение скважины под защитой обсадной трубы; б - бетонирование с трамбованием; в готовая свая: 1 - разбуриватель со штангой; 2 - обсадная труба; 3 - бетон; 4 - падающий груз

Способов интенсивного уплотнения бетонной смеси в скважине и соответственно околовсвайного грунта существует много. Можно уплотнять бетонную смесь непосредственно обсадной трубой с помощью вибрационных воздействий или возвратно-поступательных перемещений трубы. Возможно уплотнение грунта с помощью энергии взрыва. Такие сваи называют камуфлетными (рис. 5.7). На дно буровой скважины опускается заряд взрывчатых веществ и скважина заполняется бетонной смесью. При взрыве в низу скважины в результате уплотнения грунта образуется полость, в которую проваливается бетон из скважины. Затем бетонируется оставшаяся свободной часть скважины.

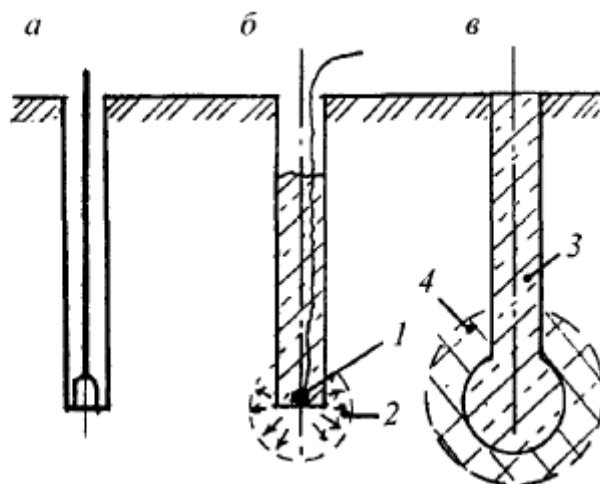


Рис. 5.7. Последовательность изготовления камуфлетной сваи: а – бурение скважины; б – установка на дно скважины заряда взрывчатого вещества и заполнение ее бетоном; в – бетонирование ствола сваи после образования в результате взрыва шаровой полости; 1 - заряд ВВ; 2 - полость, образовавшаяся при взрыве; 3 - бетон; 4 - уплотненный грунт

Возможно использование буронабивных фундаментов с уплотненным забоем, устраиваемым с помощью втрамбовывания щебня или жесткой бетонной смеси в дно скважины. Для усиления бутовых фундаментов старых зданий широкое применение нашли буроинъекционные сваи диаметром 0,13...0,25 м. Скважины пробуривают непосредственно через бутовые фундаменты, и в них под давлением нагнетают цементно-песчаный раствор.

Буровые сваи изготавливают высокой несущей способности и большого диаметра (современные буровые станки позволяют бурить скважины диаметром более 3 м неограниченной глубины). Буровые сваи большого диаметра называют сваями-столбами. Уплотнять бетон свай в таком объеме крайне затруднительно. Как правило, они заполняются литым бетоном или цементно-песчаным раствором, погружаемыми в воду без виброуплотнения по специальной технологии. При этом диаметр скважины практически не изменяется, то есть грунт вокруг сваи не уплотняется. Целесообразно такие сваи заглублять в подстилаемые плотные (прочные) грунты или устраивать в них уширение.

На рис. 5.8 показана последовательность работ по изготовлению буровых свай по технологии фирмы «Бауэр». Бурение скважины производится в водонасыщенных грунтах в обсадной трубе. Скважина заполнена водой до уровня подземных вод. Бетонирование скважины производится методом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ). Бетонлитная труба опускается до забоя скважины. По мере заполнения скважины бетоном (раствором) труба поднимается, а бетон постепенно вытесняет воду из скважины. Одновременно поднимается обсадная труба.

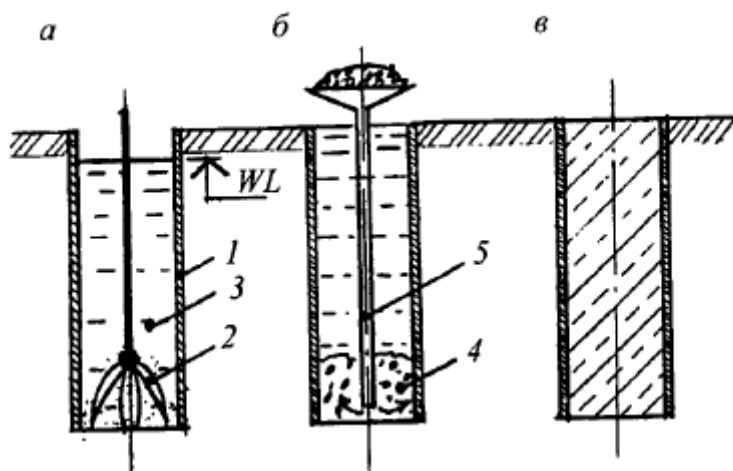


Рис. 5.8. Последовательность изготовления буровой сваи (свай-столба); а - разработка грунта внутри оболочки грейферным ковшом; б - бетонирование внутренней полости оболочки метолом ВПТ; в - готовая свая-столб; 1 - оболочка; 2 - грейферный ковш; 3 - вода; 4 - бетон; 5 - бетонолитная труба

Значительно увеличить несущую способность сваи можно с помощью устройства уширения в плотном грунте, например, с помощью разбуривания ствола сваи уширителем (рис. 5.9).

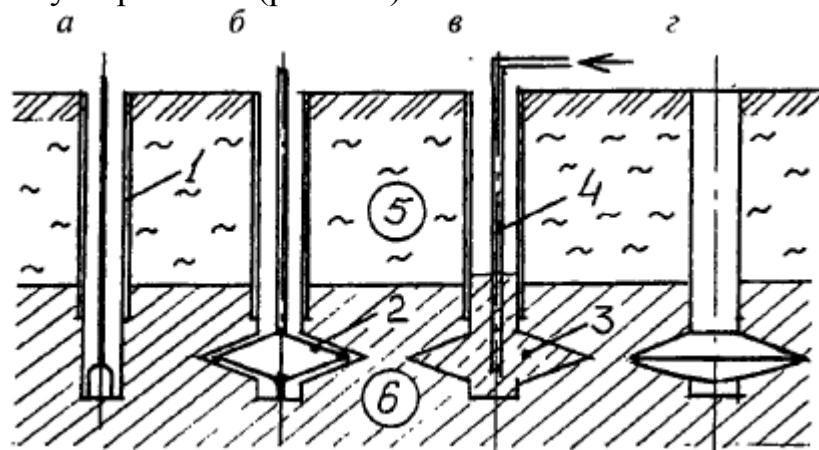


Рис. 5.9. Последовательность изготовления сваи с разбуриваемым уширением: а - бурение скважины; б - разбуривание уширения; в - бетонирование сваи; г - готовая свая; 1 - обсадная труба; 2 - уширитель; 3 - бетон; 4 - бетонолитная труба; 5 - слабый грунт; 6 - прочный грунт

К буровым современным сваям следует отнести шнековые сваи. Труба с закрытым теряемым наконечником и шнековой спиралью ввинчивается в грунт. Затем труба со шнеком поднимается и в образовавшуюся скважину через внутреннюю полость трубы подается цементный раствор.

Теория работы свай- стоек и висячих свай (свай трения).

По характеру передачи нагрузки на основание различают сваи-стойки и сваи трения (висячие).

Сваи-стойки (рис. 5.15, а) прорезают толщу сжимаемых грунтов и опираются на несжимаемые или малосжимаемые грунты. К несжимаемым грунтам относят скальные породы. Все виды свай, опирающиеся на скальные

грунты, считаются сваями-стойками. К малосжимаемым относят грунты с модулем деформации $E > 50$ МПа. Забивные сваи, опирающиеся на малосжимаемые грунты, относят также к сваям-стойкам.

Так как сваи-стойки опираются на практически несжимаемые грунты, то при загрузке их вертикальной силой N они не получают вертикального перемещения. Поэтому на боковой поверхности сваи не возникает сил трения грунта. Для длинных свай (более 16 м) в верхней части ствола за счет собственных деформаций сваи могут возникать на ее боковой поверхности силы трения. Но они незначительны. В связи с этим принято считать, что сваи-стойки передают нагрузку нижним концом (пятой). Реактивное давление грунта на пяту сваи называют сопротивлением грунта R под нижним концом сваи.

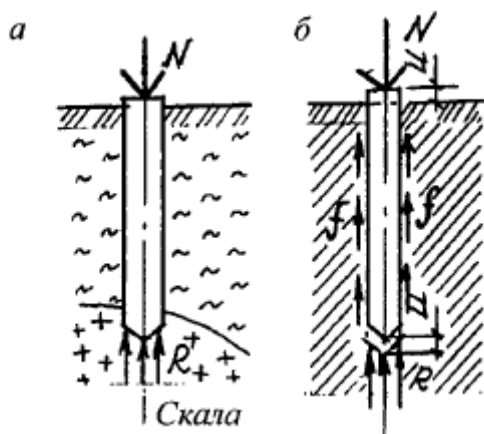


Рис. 5.15. Характер работы свай в фундаменте: а - сваи-стойки; б - свай трения

Сваи трения (висячие) опираются на сжимаемые грунты (рис. 5.15, б). Под действием вертикальной нагрузки такие сваи получают перемещение и на боковой поверхности сваи возникают силы трения грунта, которые принято называть сопротивлением грунта f по боковой поверхности сваи. Расчетное сопротивление f зависит от способа изготовления сваи. Для забивных свай оно наибольшее, для буровых - наименьшее. Таким образом, у висячих свай работает не только острие, как у свай-стойки, но и боковая поверхность.

Методы определения несущей способности свай.

Несущая способность свайных фундаментов (в т. ч. односвайных) устанавливается:

- испытанием грунтов динамическим, статическим зондированием и эталонной свай по ГОСТ 19912, ГОСТ 20069, ГОСТ 5686;
 - расчетными методами с использованием эмпирических и аналитических методов;
 - испытанием основания фундамента статической нагрузкой по ГОСТ 5686.
- Расчет свайных фундаментов по несущей способности грунтов производится из условия

$$\sum \frac{N_i}{\gamma_f} \leq \sum \frac{F_{di}}{\gamma_k}, \quad (5.7)$$

где N_i — расчетная внешняя нагрузка, передаваемая на отдельную сваю - при наиболее невыгодных сочетаниях усилий, с учетом собственного веса ростверка и свай;

γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным: 0,87- при расчете основания свай по несущей способности и 1,0 при расчете по деформациям;

F_{di} —расчетная несущая способность грунта основания одиночной или отдельной сваи в кусте и приходящейся на нее части ростверка;

γ_k —коэффициент надежности метода испытаний, принимаемый по таблице.

Несущая способность свай-стоек и свай, заземленных в грунте, работающих на сжимающую осевую и выдергивающую нагрузки, рекомендуется определять как суммарную расчетную несущую способность основания под (над) уширениями, нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формулам:

$$F_{di} = \gamma_c \cdot R_A \cdot$$

для свай-стоек

и

$$F_{di} = \gamma_c \left(\sum \gamma_{cr} R_A + \sum U_i \gamma_{cf} h_i R_{fi} \right)$$

для свай, заземленных в грунте.

где γ_c —коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1,0;

γ_{cr} и γ_{cf} —коэффициенты условий работы грунта под или над уширениями, по длине ствола и под нижним концом сваи, принимаемые в зависимости от вида грунта и способа устройства равными $\gamma_{cr} = 0,8-1,2$; $\gamma_{cf} = 0,5-1,0$

A —площадь опирания на грунт нижнего конца (поперечного сечения) - сваи, m^2 , или ее уширений, в т. ч. с учетом их конечных размеров после инъекции или вытрамбовки;

U —усредненный периметр поперечного сечения ствола сваи в i -том слое грунта, м;

R — расчетное сопротивление грунта под или над уширениями (при выдергивании) по длине ствола и под нижним концом сваи, МПа, принимаемое по данным инженерных изысканий (испытаний), опыта строительства в аналогичных условиях, утвержденным аналитическим или эмпирическим формулам, таблицам и согласованным нормам;

R_{fi} —расчетное сопротивление (прочность) i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, МПа, определяемое с учетом отсутствия или наличия инъекционной опрессовки или уплотнения грунта и принимаемое аналогично R ;

h_i —толщина i -го слоя грунта, м, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, принимаемая разбивкой массива на слои или по толщине прослоек.

Несущая способность одиночной сваи F_d , кН, по результатам полевых испытаний грунтов определяется по формуле

$$F_d = \frac{\gamma_c F_{u,n}}{\gamma_g},$$

где γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый для свай, работающих на выдергивающую нагрузку, при глубине погружения в грунт до 4 м равным 0,6; более 4 м – равным 0,8; в остальных случаях – равным 1,0;

γ_g —коэффициент надежности по грунту;

$F_{u,n}$ — частное значение нормативного предельного сопротивления основания сваи, кН.

Предельное сопротивление основания сваи $F_{u,n}$ и γ_g по результатам ее испытаний по ГОСТ 5686 следует определять :

—если число свай, испытанных в одинаковых грунтовых условиях; составляет менее шести, нормативное значение предельного сопротивления сваи следует принимать равным наименьшему значению предельного сопротивления, полученному по результатам испытаний, а коэффициент надежности по грунту принимать равным- $\gamma_g = 1,0$;

— если число свай, испытанных в одинаковых грунтовых условиях, составляет шесть и более, значения $F_{u,n}$ и γ_g следует определять на основании результатов статистической обработки частных значений предельных сопротивлений свай F_u , полученных по результатам испытаний, в соответствии с требованиями ГОСТ 20522 применительно к методике определения временного сопротивления;

— если нагрузка при статическом испытании сваи на вдавливание доведена до величины, при которой без увеличения нагрузки происходит непрерывное возрастание осадки (S) (перемещения) сваи (при $S < 20$ мм), то величина этой нагрузки принимается как частное значение предельного сопротивления (F_u) испытываемой сваи.

Во всех остальных случаях за величину частного значения предельного сопротивления сваи (F_u) следует принимать величину нагрузки, при которой испытываемая свая получит осадку (S), мм, меньшую или равную величине, определенной по формуле

$$S = \xi \cdot S_{u,mt} \quad (5.10)$$

где ξ — коэффициент перехода от предельного значения средней осадки ($S_{u,m}$), мм, к осадке сваи, установленной при испытаниях по ГОСТ 5686, который принимается равным $\xi = 0,2$, если величина условной стабилизации равна 0,1 мм за последний час наблюдений для песков или пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести $I_L \leq 0,5$, залегающих под нижним концом сваи, или за последних два часа наблюдений, если под нижним концом сваи залегают пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,5$;

$S_{u,mt}$ —предельное значение средней осадки фундамента проектируемого сооружения, мм, определяемое по таблице.

Несущая способность одиночной заземленной в грунте сваи заводского изготовления опирающейся на малопрочные (рыхлые) песчаные грунты или на пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,6$; определяется по результатам статических испытаний свай.

Несущую способность основания одиночных мелкозаглубленных набивных свай в буровых и пробитых скважинах следует определять в соответствии с требованиями Пособия П2-95 к СНиП 2.02.03.

Работа группы свай и свайных фундаментов.

По характеру работы сваях под действием вертикальной нагрузки различают работу одиночной сваи и одной сваи в кусте. Сваяние сваи передают усилия на грунты основания через боковую поверхность и нижний конец. В зависимости от соотношения этих усилий эпюры вертикальных напряжений, возникающих в горизонтальной плоскости, проходящей через нижний конец сваи, будут иметь различную форму. Приблизительно такую объемную эпюру можно представить в виде конуса, который проецируется на вертикальную плоскость в виде треугольника (рис. 5.24, а). Под действием этих напряжений основание будет давать осадку.

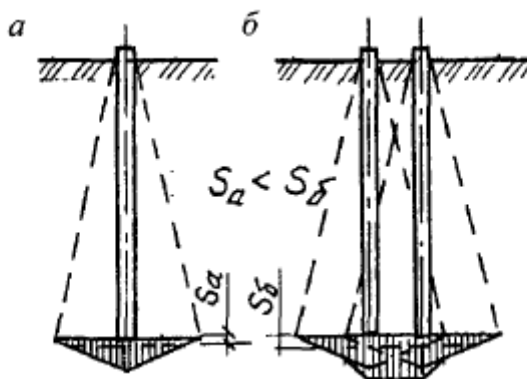


Рис. 5.24. Схемы работы свай в грунте; а - одиночной; б - в составе свайного куста

При загрузке свайного куста эпюры нормальных вертикальных напряжений в основании свай накладываются друг на друга (при шаге свай менее $6d$ и суммарная эпюра напряжений в основании свайного куста (рис. 5.24. б) существенно превышает эпюру напряжений одиночной сваи как по интенсивности, так и по размерам площади. Это приводит к большей величине осадки свайного куста ($s_a < s_б$). При шаге свай от $6d$ до $3d$ наложение эпюр напряжений не приводит к уменьшению несущей способности свай, а в то же время осадка свайного куста больше, чем осадка одиночной сваи. Это объясняется взаимным влиянием загрузки основания свай в кусте.

Расчет свайных фундаментов из свай, заземленных в грунте, и их оснований по деформациям следует производить как для условного фундамента на естественном основании. Границы условного фундамента определяются:

- сверху – поверхностью планировки грунта;
- снизу – плоскостью, проходящей через нижние концы свай;

— с боков – вертикальными плоскостями, отстоящими от наружных граней крайних рядов вертикальных свай на расстоянии (а), м, определяемом по формуле

$$a = \frac{h \cdot \operatorname{tg} \varphi_{H, \text{mt}}}{4} \quad (5.11)$$

где h – глубина погружения свай в грунт от подошвы ростверка, м;

$\varphi_{H, \text{mt}}$ осредненное расчетное значение угла внутреннего трения грунтов (град.) в пределах глубины погружения свай (h), м.

В пылевато-глинистых грунтах с показателем текучести $I_L > 0,6$ значение (а) не должно быть больше $2d$, где (d) диаметр или меньшая сторона поперечного сечения свай.

Если при строительстве предусматривается планировка территории подсыпкой (намывом) высотой более 2 м или другой постоянной (долговременной) пригрузкой территории, эквивалентной подсыпке, а в пределах глубины погружения свай залегают слои слабых сильносжимаемых биогенных грунтов толщиной более 30 см, то значение осадки свайного фундамента из свай, защемленных в грунте, следует определять с учетом уменьшения габаритов условного фундамента, который в этом случае как при вертикальных, так и наклонных сваях принимается ограниченным с боков вертикальными плоскостями, отстоящими от наружных граней крайних рядов вертикальных свай на расстоянии, определяемом по формуле (5.11), в которой значение (h) принимается равным расстоянию от нижней границы слоя слабого грунта до нижних концов свай.

Свайные фундаменты из свай-стоек допускается не рассчитывать по деформациям.

Расчет и проектирование свайных фундаментов с низким и высоким ростверком.

Типы свайных ростверков классифицируют в зависимости от их расположения относительно поверхности грунта, которое влияет на характер работы свай. Различают низкий, повышенный и высокий ростверки.

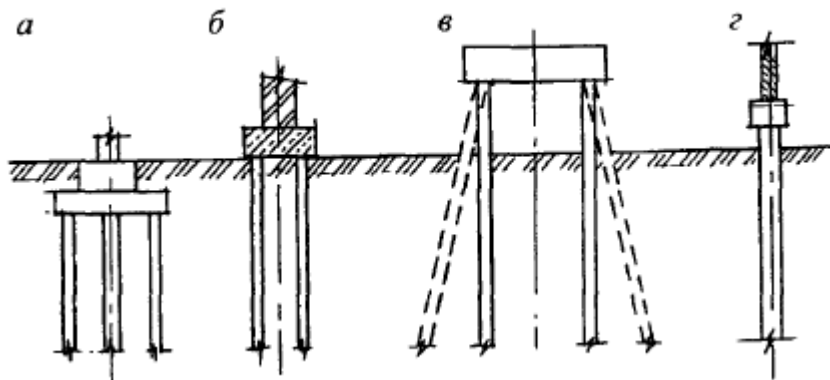


Рис. 5.16. Типы свайных ростверков: а – низкий; б – повышенный; в, г – высокий

Низкий ростверк (рис. 5.16, а) располагают ниже поверхности грунта. Такой ростверк может передавать часть вертикальной нагрузки от сооружения своей подошвой и воспринимать боковой поверхностью горизонтальные нагрузки. При этом сваи полностью находятся в грунте и продольный изгиб свай от вертикальных нагрузок обычно учитывают только в очень слабых грунтах (торф, ил и др.).

Повышенный ростверк (рис. 5.16, б) располагают непосредственно на поверхности грунта. Для одиночных свай с повышенным ростверком при проверке ее на продольный изгиб следует учитывать глубину заделки сваи в грунте. Повышенные ростверки допустимы в непучинистых грунтах. Так как верхние слои обычно сложены насыпными слабыми неуплотненными грунтами, то повышенные ростверки не могут передавать нагрузку на основание от сооружения своей подошвой.

Высокий ростверк (рис. 5.16, в) располагают выше поверхности грунта. Проверку прочности вертикальных свай в этом случае выполняют с учетом продольного изгиба. Так как верхняя часть вертикальных свай при действии горизонтальных нагрузок может испытывать значительные изгибающие моменты, то для снижения момента ставят наклонные сваи. Высокие свайные ростверки применяют при строительстве крановых эстакад, надземных трубопроводов, надземных пешеходных переходов, надземных автомобильных дорог, мостов и др. Иногда свайные фундаменты зданий делают без ростверков. На голову сваи надевают оголовник и на него устанавливают панели зданий (рис. 5.16. г).

Глубина заложения ростверка d_g зависит от тех же факторов, что и у фундаментов мелкого заложения на естественном основании. В пучинистых грунтах значение d_g должно быть не меньше расчетной глубины промерзания d_f . Ростверк, как правило, для промышленных и гражданских сооружений располагают ниже пола подвала, кроме однорядного размещения свай под стены.

Для удобства производства работ ростверк стремятся по возможности располагать выше уровня подземных вод. Исключение составляет случай применения деревянных свай, тогда подошва ростверка опускается ниже наименьшего уровня подземных вод.

При непучинистых грунтах ростверки бесподвальных зданий могут закладываться у поверхности земли на 0,1...0,15 м ниже планировочных отметок. Сваи располагают вдоль стен в один или несколько рядов. В несильно пучинистых грунтах под ростверками наружных стен в пределах глубины промерзания укладывают слой керамзита (шлака) толщиной не менее 30 см или песка не менее 50 см. Техническое подполье и подвалы на период строительства защищаются от промерзания.

Ростверки под внутренние стены бесподвальных зданий устраивают выше пола технического подполья с отметкой верха ростверка на уровне низа надподвального перекрытия. При значительных уклонах местности допускаются уступы (перепады) в ростверке. Осадочные швы прорезают и ростверк.

Конструирование ростверка начинают с размещения свай в плане. При этом необходимо стремиться к компактному размещению свай таким образом, чтобы линия равнодействующей всех сил при наиболее неблагоприятном сочетании нагрузок проходила через центр тяжести свайного куста в уровне подошвы ростверка. Характер размещения свай (шахматный или правильными рядами) зависит от числа свай. Для центрально-нагруженных фундаментов сваи размещают симметрично относительно осей поперечного сечения колонны.

Для внецентренно нагруженных фундаментов возможны три схемы размещения свай:

1. Сваи размещают симметрично относительно центра колонны, но число их увеличивают для восприятия момента введением коэффициента $\eta_m > 1$ (где $\eta_m = 1 \dots 1,6$ - коэффициент, учитывающий действие момента. Для центрально нагруженных фундаментов $\eta_m > 1$). При этом сваи нагружены неравномерно. Наиболее нагружены сваи, максимально удаленные от центра колонны в направлении действия момента.

2. Сваи размещают неравномерно, но так, чтобы равнодействующая всех сил проходила через центр тяжести свайного поля. При этом все сваи нагружены равномерно, а $\eta_m = 1$.

3. Сваи размещают равномерно, но центр подошвы ростверка смещают в направлении действия момента относительно центра поперечного сечения колонны на среднюю величину эксцентриситета e_m . При этом все сваи оказываются нагруженными равномерно, а $\eta_m = 1$.

Размещение свай по схемам 2 и 3 возможно, если момент действующих на фундамент сил является постоянным.

Под стены зданий сваи размещают рядами вдоль осей стен. При размещении свай в один ряд наличие свай в углах здания обязательно, в местах пересечения стен - желательно. Круглые в плане сооружения имеют обычно ростверки круглые или кольцеобразные. Сваи размещают по концентрическим окружностям.

Минимальное расстояние между осями забивных свай принимают не менее $3d$, где d —сторона или диаметр поперечного сечения сваи. Расстояние между сваями-стойками не регламентируется и зависит от нагрузок и возможности их погружения в грунт. Расстояние в свету между стволами буровых, набивных свай, свай-оболочек принимается не менее 1 м. Расстояние в свету от края сваи до края ростверка с учетом возможного отклонения от проектного положения сваи при забивке должно быть не менее 5 см. Отклонение сваи при забивке для однорядного расположения свай допускается $0,2 d$.

Ростверки под колонны, как правило, устраивают монолитные. Для возможности использования стандартных опалубок высота ступеней ростверка принимается кратной 150 мм. В текучепластичных и текучих связных грунтах под ростверком устраивают подготовку из втрамбованного в грунт щебня или бетона толщиной 100 мм.

Ростверки под стены проектируют из железобетона или бетона. Сопряжение свай с ростверком возможно и как свободное опирание, и как жесткая заделка. Свободное опирание ростверка на сваи устраивается с помощью заделки головы сваи в монолитный ростверк на 5...10 см. Жесткая заделка свай в ростверке предусматривается в слабых грунтах (рыхлых песках, торфах, илах, текучих глинах), а также при действии на фундамент значительных моментов и горизонтальных сил, восприятию сваями выдергивающих нагрузок. Жесткое сопряжение свай с ростверком обеспечивается заделкой свай или рабочей арматуры в ростверк на глубину, достаточную для анкеровки.

Ростверки армируют по расчету или конструктивно. По верху свай обычно укладывают арматурную сетку.

Конструирование ростверка завершается определением веса ростверка и грунта на его уступах. Вес ростверка под колонну N_g , кН, определяется по формуле

$$N_g = \gamma_f V_g \gamma_b, \quad (5.28)$$

где $\gamma_f = 1,1$ коэффициент надежности по нагрузке; V_g - объем ростверка, м³; (определяется по его конструктивным размерам); $\gamma_b = 24$ кН/м³, -удельный вес железобетона.

Вес грунта N_{gg} , кН, на ступенях ростверка

$$N_{gg} = \gamma_f V_{gg} \gamma', \quad (5.29)$$

где $V_{gg} = (A_g \cdot d_g - V_g) \cdot \gamma'$ - объем грунта на ступенях ростверка, м³; γ' - средневзвешенное значение удельного веса грунта, кН/м³, расположенного выше подошвы ростверка.

Сопротивление свай горизонтальным нагрузкам.

Фундаменты арок, сводов, эстакад путепроводов, колонн с крановыми нагрузками и других сооружений испытывают значительные горизонтальные усилия. Свая, нагруженная горизонтальным усилием, подвергается изгибу. Смещению сваи в горизонтальном направлении препятствует грунт. При смещении сваи грунт уплотняется и сопротивление его возрастает, у поверхности грунта наблюдается выпор. Характер изгиба сваи зависит от ее жесткости и условий заделки сваи в ростверк (рис. 5.27).

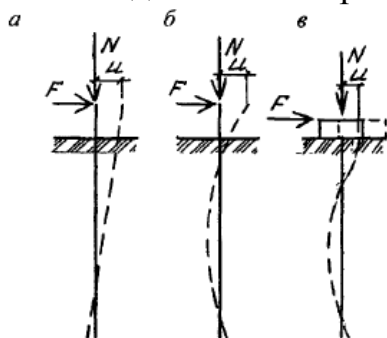


Рис. 5.27. Расчетные схемы работы горизонтально нагруженных свай: а - жесткой; б - гибкой; в - гибкой, жестко заделанной в ростверк

Жесткие сваи поворачиваются без изгиба. При жесткой заделке сваи в ростверк горизонтальное смещение сваи уменьшается.

Жесткость сваи оценивают по приведенной глубине погружения сваи l , определяемой по формуле

$$\bar{l} = l\alpha_3, \quad (5.42)$$

где l -действительная глубина погружения сваи в фунт, м (расстояние от поверхности грунта до острия свай); α_3 - коэффициент деформации. 1/м. определяемый из зависимости

$$\alpha_3 = \sqrt[3]{Kb_p / (\gamma_c EI)}, \quad (5.43)$$

здесь K - коэффициент пропорциональности, кН/м⁴; b_p - условная ширина сваи, м, принимаемая равной $1,5d + 0,5$ м; γ_c - коэффициент условий работы; E - модуль упругости материала сваи, кПа; I – момент инерции поперечного сечения сваи, м⁴.

Если $l < 1$, сваю считают жесткой, при $l > 1$ - гибкой. Свая считается жестко защемленной в ростверке, если она заделана в ростверк на глубину не менее $2d$.

Расчет горизонтально нагруженных свайных фундаментов состоит из двух этапов: первого - на вертикальную нагрузку, как это было изложено раньше, и второго - проверки сваи на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Расчет свай на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок и моментов выполняют в две стадии. В первой стадии грунт рассматривается как упругая линейно деформируемая среда с коэффициентом постели, линейно увеличивающимся с глубиной. В статическом отношении свая работает как балка на упругом винклеровском основании, имеющая заданное поперечное сечение и заданные нагрузки на одном конце.

На основе решений строительной механики получены формулы для определения горизонтального перемещения сваи в уровне подошвы ростверка u и угла ее поворота ψ , расчетного давления σ_z , оказываемого на грунт боковыми поверхностями свай, а также для определения изгибающих моментов M и поперечных сил N в различных сечениях по длине сваи. Последовательность расчета свай включает:

а) расчет свай по деформациям, который сводится к проверке условий допустимости расчетных значений горизонтального перемещения головы свай и угла их поворота

$$u < u_n; \quad \psi < \psi_n, \quad (5.44)$$

где u_n и ψ_n - предельно допустимые значения соответственно горизонтального перемещения головы сваи, м, и угла ее поворота, рад, устанавливаемые в задании на проектирование сооружения;

б) расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю (только для свай $d > 0,6$ м), заключающийся в сопоставлении расчетного давления σ_z с несущей способностью грунта;

в) проверку прочности свай как внецентренно сжатых элементов по предельным состояниям первой и второй групп.

Во второй стадии в верхней зоне грунта вокруг сваи образуется зона предельного равновесия и возникает необходимость проверки несущей способности сваи при действии горизонтальной нагрузки согласно условию

$$H \leq F_{dh} / \gamma_k, \quad (5.45)$$

где H - расчетное горизонтальное усилие, кН, действующее на 1 сваю; F_{dh} - несущая способность сваи, кН, при действии горизонтальной нагрузки, определяемая экспериментально или расчетом; γ_k -коэффициент надежности, зависящий от способа определения несущей способности сваи.

При определении H нормы допускают равномерное распределение общей горизонтальной нагрузки, действующей на фундамент, на отдельные сваи. В случае действия значительных горизонтальных усилий (угол наклона равнодействующей к нормали превышает 5°) сваи в фундаменте ставят под углом к вертикали. Наклонные сваи называют козловыми.

Систему «сваи - грунт - ростверк» принято рассматривать как пространственную рамную конструкцию (статически неопределимую), взаимодействующую с упругим основанием. Ригелем этой рамы является ростверк, а стойками - сваи. Взаимодействие фунта и свай в зависимости от необходимой точности расчета может быть учтено двумя способами: как жесткая условная заделка свай в фунте или как деформация гибкого стержня в упругой среде. Для низких ростверков учитывается дополнительно сопротивление грунта по его боковым поверхностям.

Тема 11. Сваи-оболочки, опускные колодцы, кессоны. Условия применения, классификация и особенности их работы как фундаментов глубокого заложения. Конструкция опускных колодцев, сборных железобетонных оболочек и кессонов и условия их погружения. Применение тиксотропных растворов. Расчет фундаментов глубокого заложения на период опускания от действия строительных нагрузок.

При залегании прочных грунтов на значительной глубине, когда устройство фундаментов в открытых котлованах становится трудновыполнимым и экономически невыгодным, а применение свай не обеспечивает необходимой несущей способности, прибегают к устройству фундаментов глубокого заложения. Необходимость устройства фундаментов глубокого заложения может быть вызвана и особенностями самого сооружения, например когда оно должно быть опущено на большую глубину (заглубленные и подземные сооружения). К таким сооружениям относятся подземные гаражи и склады, емкости очистных, водопроводных и канализационных сооружений» здания насосных станций, водозаборы, глубокие колодцы для зданий дробления руды, непрерывной разливки стали и многие другие.

В настоящее время в строительной практике применяют следующие виды фундаментов глубокого заложения; опускные колодцы, кессоны, тонкостенные оболочки, буровые опоры и фундаменты, возводимые методом «стена в грунте».

В качестве оснований тяжелых и чувствительных к неравномерным осадкам сооружений стремятся выбрать скальные и полускальные породы или мало сжимаемые грунты. К таким сооружениям относятся фундаменты тяжелых кузнечных молотов, крупных прессов, зданий насосных станций и водозаборов, опоры мостов и т.д.

Чтобы возвести подобные сооружения на прочном основании, в ряде случаев приходится прорезать значительную, иногда в несколько десятков метров, толщу слабых, водонасыщенных грунтов.

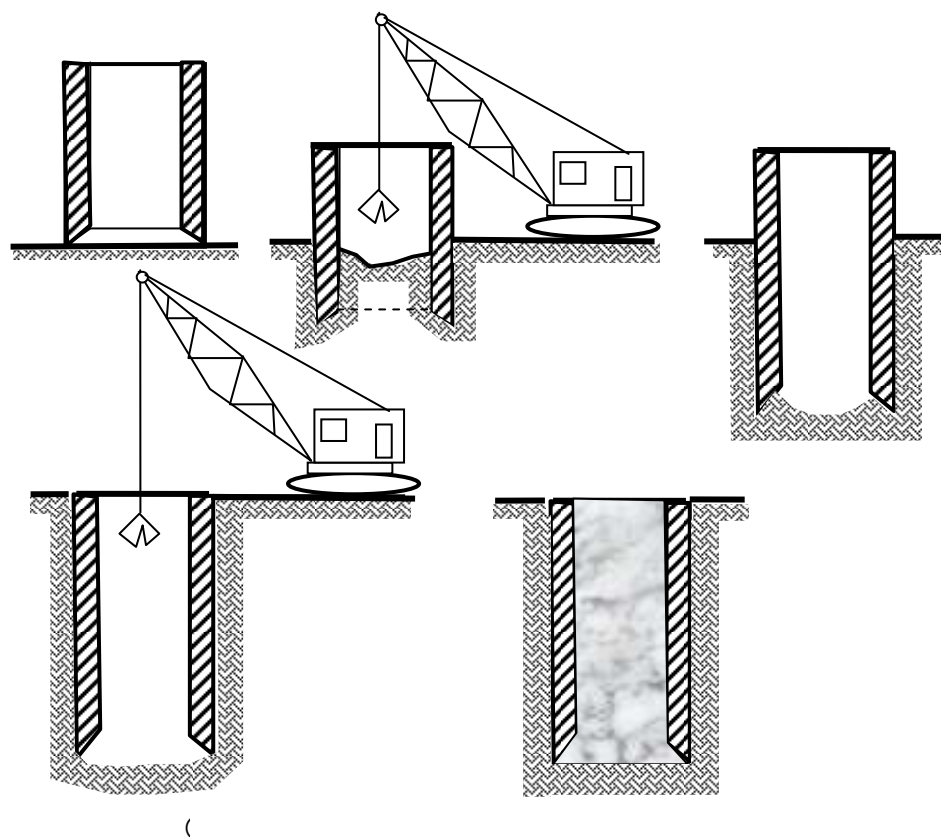
Применяемые методы устройства глубоких опор можно свести к следующим основным видам.

1 Опускные колодцы.

Эта технология подземного строительства известна с середины XIX века. Методом опускного колодца сооружают глубокие фундаменты, например, мостовых опор, другие подземные сооружения. Один из самых больших колодцев глубиной и диаметром 68 м с толщиной стен 4,5 м погружен в пос. Ольгино под Петербургом для технологического оборудования очистных сооружений городской канализации.

Сущность метода состоит в том, что на поверхности в траншее по контуру будущего сооружения устраивается фор-шахта обычно в виде железобетонной балки прямоугольного сечения. Далее сооружается стальной или сильно армированный и покрытый стальным листом железобетонный нож опускного колодца - его режущая часть. На ноже возводятся стены колодца, монолитные железобетонные или сборные из блоков или панелей заводского

изготовления. После возведения стен, а у больших колодцев одновременно с возведением стен производится выемка грунта в контуре колодца, который под действием собственного веса начинает опускаться. Если колодец погружается в водонасыщенные слабые грунты с плавунными свойствами, то при разработке грунта возможен наплыв грунта и обильный водоприток в колодец через дно, вплоть до полного затопления колодца водой и грунтом. В таких грунтах колодцы опускают двумя способами. Первый способ - это закрепление грунта вокруг колодца. При опускании вышеупомянутого колодца в Петербурге вокруг него была создана методом рассольного замораживания цилиндрическая льдогрунтовая стена толщиной 5 м на полную глубину толщи слабых грунтов - около 30 м. Второй способ - это затопление колодца грунтовыми водами до их естественного уровня и подводная разработка грунта грейферами или фрезерно-эжекторными механизмами.



Последовательность выполнения работ:

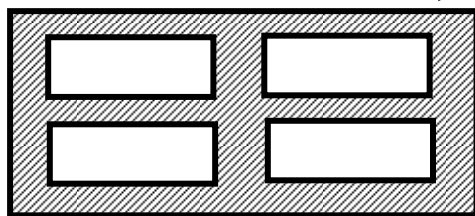
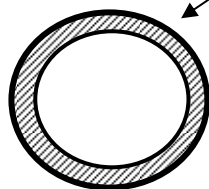
1. Устройство колодца непосредственно на поверхности грунта.
2. Разработка грунта (опускание колодца).
3. Нарращивание колодца (опускание происходит под собственным весом).
4. Погружение колодца на проектную отметку и удаление из него грунта.
5. Заполнение колодца (бетонирование).

Если колодец входит в состав фундамента, то такие колодцы называются массивными.

Если колодец используется в качестве помещения (резервуар и т.д.), то такие колодцы называются легкими или колодцами – оболочками.

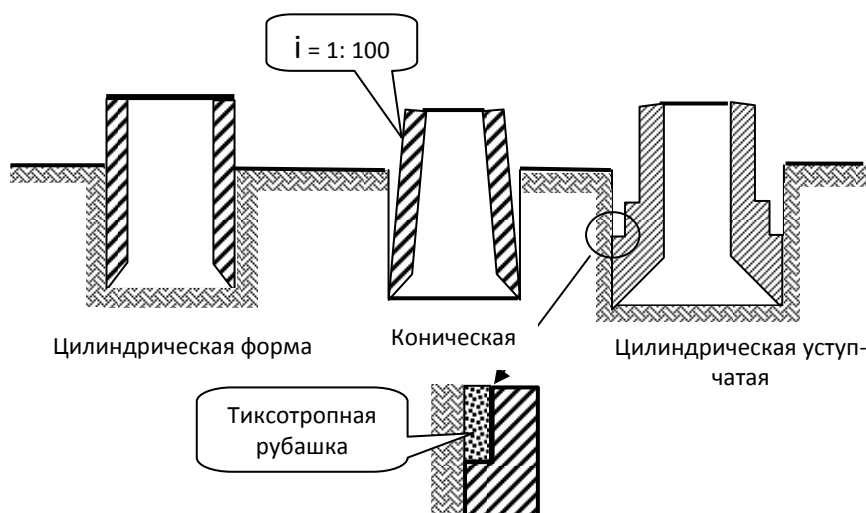
Форма колодца в плане может быть различной и определяется, в конечном счете, применяемым материалом.

Плоские стенки колодца будут работать на изгиб, а стенка круглого колодца - только на сжатие.



Погружению колодца в основание сопротивляются силы трения стен колодца о грунт. Для уменьшения трения колодцам придают коническую или цилиндрически -

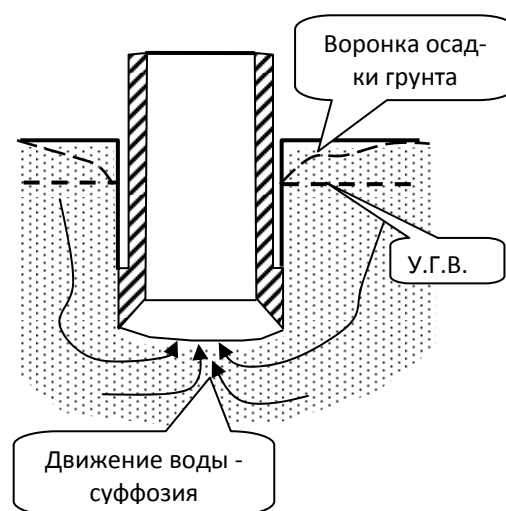
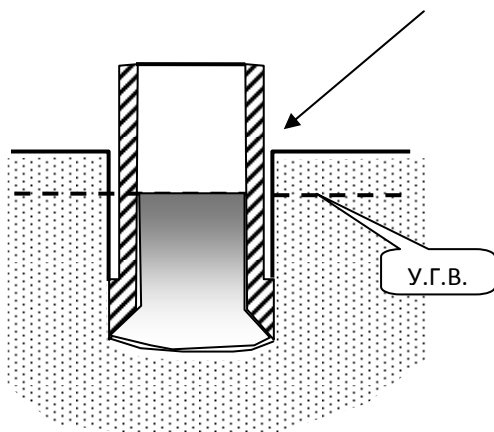
уступчатую форму.



Тиксотропная рубашка – глиняный раствор позволяет уменьшить толщину стен в 2...3 раза.

При высоком У.Г.В. вода проникает внутрь колодца, вызывая перемещения частиц грунта – механическая суффозия. Вокруг колодца образуется грунт с нарушенной структурой. Поверхность грунта начинает опускаться, вызывая деформации соседних зданий, что не допустимо.

Альтернатива данному явлению – погружение колодца без откачки воды. В этом случае ведут подводные работы при гидростатическом равновесии.

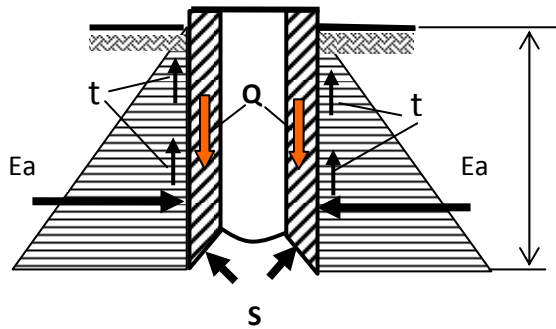


Проектирование колодцев

1 часть – определение наружных размеров колодца, глубины заложения, предварительной величины и формы поперечного сечения.

2 часть – выбор материала, определение необходимой толщины стен и способа погружения.

Схема нагрузок, действующих на колодец в последний момент погружения



E_a – активное давление грунта на боковую стенку;

t – силы трения;

Q – вес колодца;

S – распорные силы ножа.

Определение размеров подошвы колодца производится как для обычных фундаментов.

$$E_a = \gamma h \cdot t q^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Область применения

При глубоком залегании хорошего грунта.

При больших сосредоточенных нагрузках.

При однородных грунтах и малом притоке воды.

Для устройства подземных сооружений.

При повышенном У.Г.В. в слабых грунтах, наличии валунов и т. п. – возникает необходимость прибегать к кессонному способу устройства фундаментов.

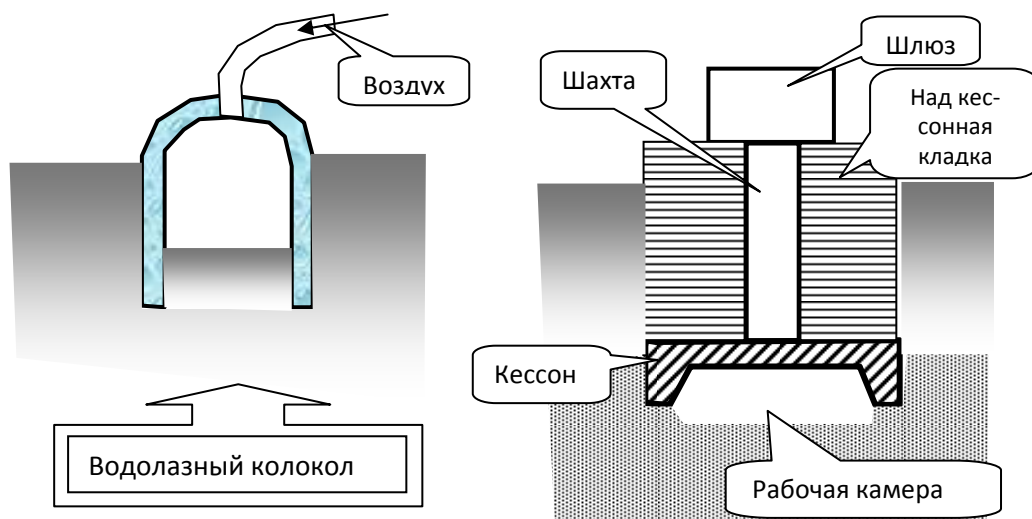
2. Кессоны

Этот способ постройки фундаментов заключается в применении сжатого воздуха для осушения рабочего пространства. Такой способ впервые использовался ещё в XVII веке, в Швеции, в водолазном колоколе для работы на дне водоемов.

Кессон – «перевернутый ящик» - используется при постройки на местности покрытой водой.

Глубина погружения колодца определяется характером и напластованием грунтов.

Осадка – должна находиться в допустимых пределах, как для фундаментов на естественном основании.

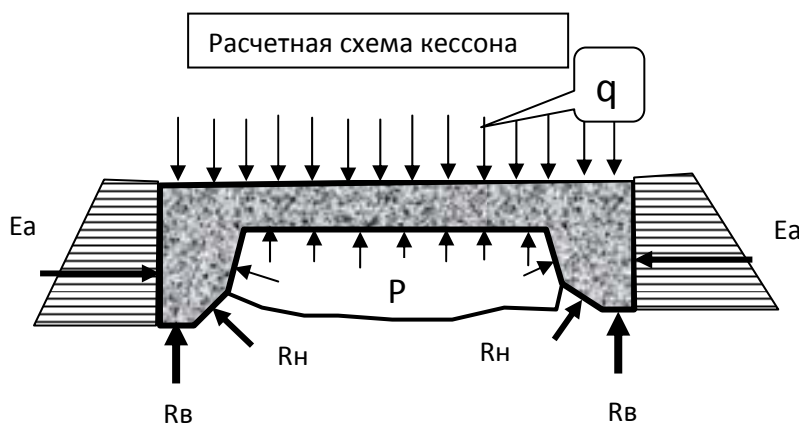


По мере разработки грунта в рабочей камере устраивается над кессонная кладка.

Глубина погружения кессона ниже горизонта воды ограничивается тем давлением воздуха, которое ещё не оказывает вредного влияния на рабочих, это 3,0...3,5 атм., или 35...40 м.

Способ погружения кессона аналогичен опускному колодцу.

Время пребывания рабочих в кессоне ограничено 2...6 часами в зависимости от величины избыточного давления. На каждого рабочего в кессоне должно подаваться не менее 25 м³ сжатого воздуха в час.



q — масса над кессонной кладки;

P — давление внутри кессона;

R_v — вертикальная реакция под ножом;

R_n — наклонная реакция под ножом;

E_a — активное

давление грунта.

Глубину погружения кессона и его внешние размеры определяют так же, как и для опускных колодцев.

Расчет кессонной камеры производится на отдельных этапах:

Кессонная камера с некоторой частью над кессонного строения опирается на подкладки, оставленные в фиксированных точках.

Кессонная камера опущена на проектную глубину; давление воздуха в кессоне, вследствие его форсированной посадки, равно 50 % от расчетной величины для данной глубины опускания.

3. Стена в грунте

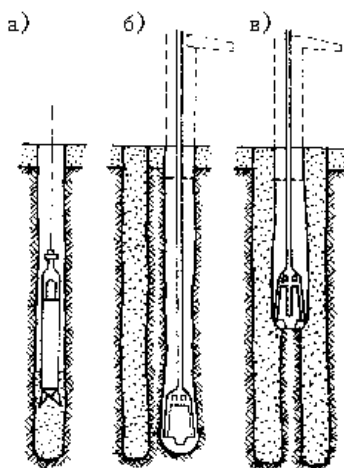
Способ «стена в грунте» предназначен для устройства фундаментов и заглубленных в грунт сооружений различного назначения. Способ заключается в том, что сначала по контуру будущего сооружения в грунте отрывается узкая глубокая траншея, которая затем заполняется бетонной смесью или сборными железобетонными элементами. Возведенная таким образом стена может служить конструктивным элементом фундамента, ограждением котлована или стеной заглубленного помещения.

Способ «стена в грунте» используется при возведении фундаментов под тяжелые здания и сооружения, подземных частей и конструкций промышленных и гражданских зданий, строительстве подземных гаражей, переходов и развязок на автомобильных дорогах, водопроводно-канализационных инженерных сооружений.

Помимо фундаментов и указанных конструкций способом «стена в грунте» можно устраивать противофильтрационные завесы, заполняя траншею противофильтрационными материалами.

Можно подразделить на следующие этапы устройство стены в грунте. По контуру сооружения отрывается форшахта для землеройных машин, ширина которой немного больше ширины траншеи, глубина до 0,8 м; при высоком стоянии грунтовых вод для установки машин делается песчаная подсыпка; откапывается на полную глубину узкая траншея для сооружения секций стены захватками до 30-50 м каждая; по ее торцам устанавливаются ограничители, после чего в траншею закладывается арматура и она заполняется бетоном. Возможно также изготовление стены в грунте из сборных элементов. Для того, чтобы стенки траншеи не обваливались, в особенности при высоком стоянии грунтовой воды, ее заполняют глинистым раствором из бентонитовой глины, уровень которого должен быть выше уровня грунтовой воды.

Выемка грунта осуществляется грейфером двухчелюстного типа или многоковшовым экскаватором типа фрезы. Такими механизмами отрываются траншеи глубиной до 8 м. Зазоры между сборными элементами заполняются цементным раствором для придания стене монолитности. После возведения стены в грунте и твердения бетона из внутреннего замкнутого пространства удаляется грунт.



г)

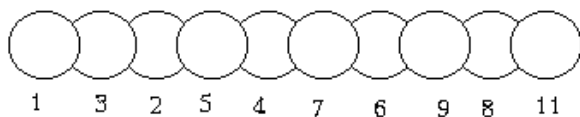


Рис.16.17. Стена в грунте: а - выемка грунта из скважины; б - заполнение бетоном; в - разработка новой скважины между двумя забетонированными; г - порядок бурения скважины для устройства сплошной стены

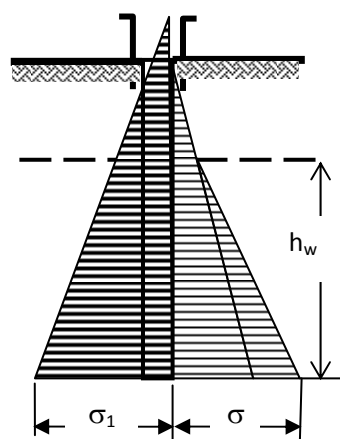
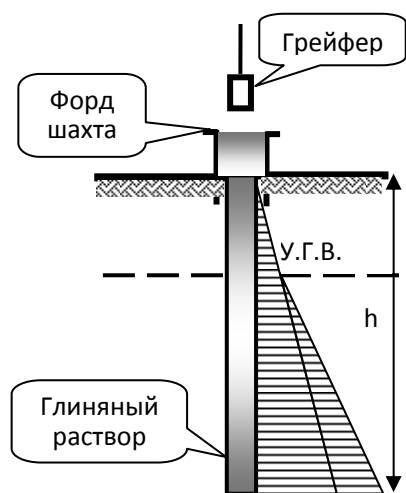
Последовательность выполнения работ:

В грунте отрывается траншея (жёсткий грейфер или механизированный траншеекопатель) на проектную глубину с врезкой в водоупор ($b = 60 \dots 100$ см; $H = 40 \dots 50$ м).

Разработка траншеи ведётся под глинистым раствором монтмориллоновой глины.

Траншея бетонируется методом В.П.Т. – создаётся бетонная (ж/б) стенка.

При выполнении данных работ особая роль отводится глинистому раствору монтмориллоновой глины. Глинистые частицы раствора (монтмориллонита) не только смачиваются водой, но вода проникает внутрь кристалла и глина разбухает, увеличиваясь в объеме до 200 раз. Монтмориллоновая глина обладает свойством тиксотропии, т.е. при динамическом воздействии мы имеем раствор, а при отсутствии такового фактора (через 4...6 часов) золь превращается в гель, что позволяет удерживать стенки траншеи.



Давление от раствора должно быть больше давления окружающей среды. Для того чтоб удержать давление в устье траншеи применяют форд шахту (металлическую или ж/б).

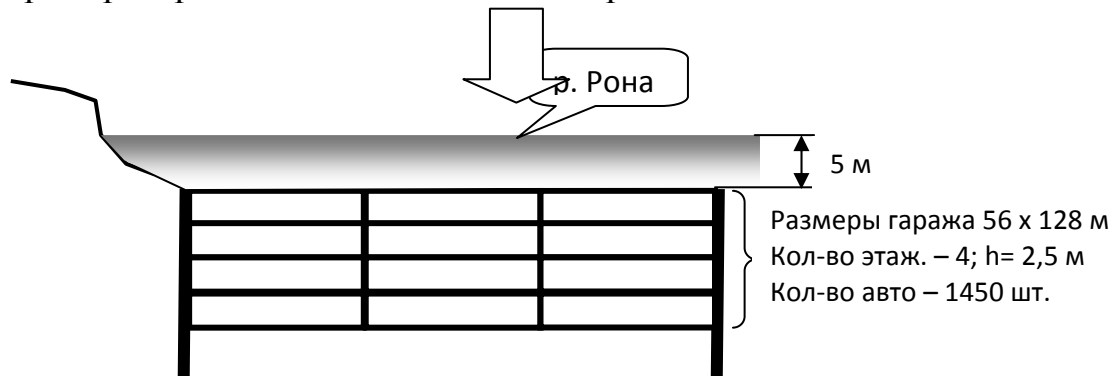
$$\sigma = \gamma h \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) + \gamma_w h_w$$

$\sigma_1 > \sigma$ - необходимое условие, однако внизу траншеи данное условие не будет соблюдаться, поэтому рекомендуется траншею откапывать не на всю длину, а по захваткам (не > 3 м).

Полученная стена в грунте замыкается в плане и создается единая конструкция. Грунт постепенно выбирается в направлении сверху – вниз, с уст-

ройством дисков перекрытий – элементов жесткости, играющих роль распо-
рок.

Пример: строительство подводного гаража в Женеве.



4 Анкеры в грунте

Анкеры представляют собой устройства, служащие для передачи выдержи-
вающих усилий от строительных конструкций на грунтовую толщу.

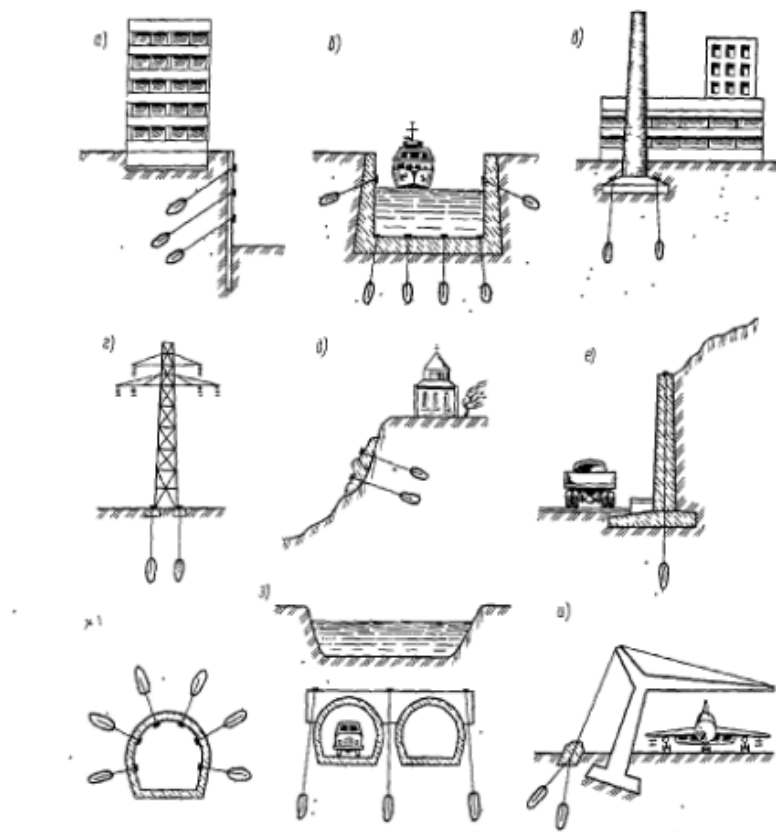


Рис. 13.15. Применение анкерных устройств:

а — крепление котлована; б — крепление днища и стенок дока или шлю-
за; в, г — восприятие выдерживающих сил в фундаментах дымовых труб и
мачт ЛЭП; д — крепление откоса; е — усиление подпорной стенки; ж —
крепление свода подземного перехода; з — противодействие взвешивающе-
му давлению грунтовой воды на тоннели; и — восприятие опрокидывающего
момента от перекрытия ангара

Грунтовые анкеры применяют в промышленном, гражданском, транс-
портном и гидротехническом строительстве. Их используют для закрепления

ограждений котлованов, стен подземных сооружений, опускных колодцев, откосов и склонов, фундаментов дымовых труб, мачт и башен и т. д. (рис. 13.15). Широкое использование анкеров объясняется исключительно положительным эффектом их применения. Так, при устройстве глубоких котлованов применение анкеров позволяет не только сделать ограждающую конструкцию более легкой, но и вести строительные работы рядом с существующими сооружениями, не опасаясь развития в них чрезмерных деформаций. Кроме того, применение анкеров позволяет полностью освободить внутреннее пространство котлована от распорок и стоек, тем самым значительно упростив и ускорив производство строительных работ.

Анкеры препятствуют всплытию заглубленных сооружений, что позволяет делать их более легкими. Крепление анкерами днищ сооружений, заглубленных ниже уровня подземных вод, уменьшает изгибающие моменты, что дает возможность сократить расход материалов. Применение анкеров для восприятия опрокидывающего момента в фундаментах дымовых труб, опор линий электропередачи и т. д. позволяет не только улучшить устойчивость сооружения, но и уменьшить его массу и размеры.

Эффективно также применение анкеров при креплении оползневых склонов, сооружении подпорных стенок, обделке подземных сооружений и во многих других случаях.

Анкеры можно использовать в различных грунтах, за исключением набухающих, просадочных и сильносжимаемых грунтов, илов, торфов и глин текучей консистенции.

Конструкции анкеров и технология их устройства. Конструкция анкера зависит от вида возводимого сооружения, его назначения и срока службы, геологических и гидрогеологических условий строительной площадки и ряда других факторов.

По сроку службы анкеры подразделяют на временные и постоянные. Временные анкеры устраивают на срок выполнения строительно-монтажных работ или для крепления временных сооружений, таких, как шпунтовые стенки при отрывке глубоких котлованов. Постоянные анкеры являются составной частью конструкции и устраиваются на весь срок службы капитального сооружения. Постоянные анкеры отличаются от временных усиленной антикоррозионной защитой.

По схеме взаимодействия с грунтом анкеры разделяют на наземные и заглубленные. Наземные (гравитационные) анкеры применяют главным образом как временные. Конструкции их довольно разнообразны. Простейшая из них представляет железобетонную плиту с гладкой подошвой. Плита укладывается на спланированную поверхность грунта или в небольшое углубление. Лучший эффект достигается, когда поверхность подошвы плиты имеет шипы ступенчатой формы. Наземные анкеры как бы выполняют функции тяжелого якоря.

Заглубленные анкеры находятся внутри массива и работают за счет сопротивления грунта. Конструктивно заглубленный анкер состоит из трех основных частей: оголовка, анкерной тяги и анкерной заделки. Оголовки вос-

принимает усилие от конструкции, которую крепит анкер, анкерный трос передает это усилие на безопасное расстояние в толщу грунта, анкерная заделка обеспечивает дальнейшую передачу усилия с тяги на окружающий грунт. В зависимости от способа устройства заделки заглубленные анкеры бывают засыпными, буровыми, инъекционными, забивными, закручивающимися и т. д. Наиболее прогрессивными и надежными считаются инъекционные предварительно напряженные анкеры.

Инъекционный предварительно напряженный анкер представляет собой устройство, один конец которого закрепляется в грунте путем инъекции под давлением цементного, силикатного или полимерного раствора, а другой после предварительного напряжения фиксируется на удерживаемом сооружении. Скважины для инъекционных анкеров пробуриваются или пробиваются ударными механизмами. В качестве тяжей применяют сплошные металлические стержни, трубы, тросы и т. д. Для подачи инъекционного раствора в буровую полость к анкерной тяге прикрепляют инъекционные трубки. Если анкерной тягой служит металлическая труба, то ее используют для подачи твердеющего раствора в скважину, для чего в зоне заделки труба имеет отверстия для выпуска раствора в грунт. Подъему раствора из зоны заделки вверх по скважине препятствует особое устройство — пакер (рис. 13.16).

Предварительное натяжение анкеров производят для предотвращения или максимального ограничения перемещений анкеруемой конструкции. Натяжение обычно осуществляют с помощью домкратов.

При устройстве анкеров проводят пробные, контрольные и приемочные испытания. Пробные испытания выполняют на опытной площадке проектируемого сооружения для определения применимости выбранного типа и конструкции анкера, уточнения технологии устройства анкера и его несущей способности по грунту. Испытанию подвергаются 3...5 анкеров.

При контрольных испытаниях определяют соответствие фактической несущей способности рабочих анкеров расчетной нагрузке, заложенной в проекте. Число контрольных испытаний должно составлять не менее 10% общего числа устанавливаемых анкеров.

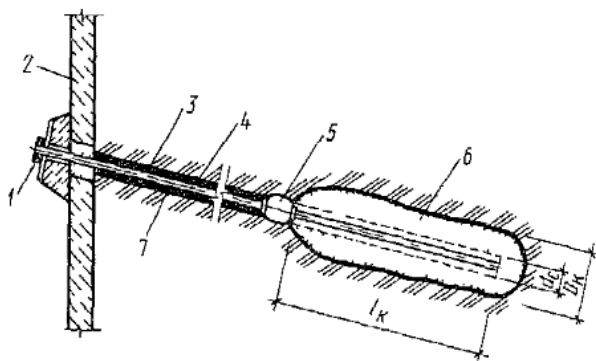


Рис. 13.16. Инъекционный анкер:

1 — головка; 2 — анкеруемая конструкция; 3 — скважина; 4 — анкерная тяга; 5 — пакер; 6 — зона инъектирования грунта (корень); 7 — состав для защиты тяги от коррозии

При приемочных испытаниях определяют пригодность анкера к эксплуатации. Если при выдержке во времени на испытательной нагрузке, превышающей рабочую, разность деформаций в интервалах времени остается одинаковой или уменьшается, то анкер считается пригодным. Приемочным испытаниям подвергаются все анкеры, кроме прошедших контрольные испытания.

Расчет анкеров. Допускаемые усилия на анкер определяются прочностью материала анкерной тяги и несущей способностью зоны заделки анкера в грунте.

Сечение анкерной тяги рассчитывается обычными методами сопротивления материалов. Для расчетов анкерной заделки существуют инженерные методики, рассматриваемые в специальной литературе. Ориентировочно несущую способность анкера по грунту можно определить по методике расчета несущей способности свай как сумму сопротивлений по торцу и боковой поверхности зоны заделки:

$$F_d = \gamma_c \pi [0,25 \gamma_{cr} (D_k^2 - d_c^2) R + \gamma_{cf} D_k l_k f],$$

где γ_c , γ_{cr} , γ_{cf} — коэффициенты условий работы, принимаемые по СНиП 2.02.03 — 85; D_k — диаметр заделки, м; R — удельные сопротивления по торцу и боковой поверхности анкерной заделки, кПа; l_k — длина заделки анкера, м.

Институт «Фундаментпроект» рекомендует определять несущую способность анкера, пренебрегая сопротивлением грунта по торцу заделки, а сопротивление трению по ее боковой поверхности принимать с учетом напряженного состояния окружающего анкер грунта, которое зависит от избыточного давления при инъецировании цементного раствора:

$$F_d = k m_p \pi d_c l_k p_k \operatorname{tg} \varphi_I,$$

где $k=0,6$ — коэффициент однородности грунта; m_p — коэффициент, учитывающий напряженное состояние окружающего грунта в зависимости от давления при инъецировании и принимаемый для песков 0,5, для глин различной консистенций — 0,4...0,2; d_c — диаметр скважины; p_k — избыточное давление в зоне заделки при инъецировании; φ_I — расчетное значение угла внутреннего трения грунта в зоне заделки анкера.

Изложенные методики определения несущей способности анкеров по грунту используют только для предварительных расчетов. Окончательные размеры зоны заделки назначаются после проведения испытаний опытных анкеров. Как правило, она принимается в пределах 4...5 м в песчаных грунтах и 5...7 м в глинистых. Расстояние между анкерами в зоне заделки принимается не менее 1,5 м, с тем чтобы их взаимное влияние не слишком сказывалось на несущей способности анкеров.

Тема 12. Фундаменты на структурно-неустойчивых грунтах: илистых, заторфованных, набухающих, ленточных глинах, лессовидных. Особенности проектирования и возведение фундаментов на структурно-неустойчивых грунтах.

Сложные основания характеризуются наличием слабых, элювиальных, искусственных, просадочных, засоленных, набухающих, пучинистых при промерзании грунтов.

Сильносжимаемые грунты. В слабых сильносжимаемых грунтах (неуплотненные водонасыщенные глинистые грунты, в том числе озерно-ледниковые глины, суглинки и супеси; илы, заторфованные грунты; рыхлые пески; водонасыщенные, пылеватые, намывные грунты) при механических воздействиях (быстрое приложение давления более структурной прочности, перемятие, динамические воздействия и др.) легко разрушаются структурные связи, резко уменьшаются показатели прочности, существенно увеличивается деформируемость и ее неравномерность.

При расчете оснований, полностью или частично сложенных илом, биогенными (торф, заторфованный грунт, сапропель) и слабыми водонасыщенными пылевато-глинистыми грунтами, следует использовать результаты определений прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик грунтов при давлениях или в диапазоне давлений, соответствующих напряженному состоянию грунтов оснований на различных этапах возведения сооружений, применительно к принятой расчетной модели.

Следует учитывать медленное развитие осадок таких грунтов во времени и возможность в связи с этим возникновения нестабилизированного состояния, существенную изменчивость и анизотропию прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик и их изменения в процессе консолидации основания, значительную тиксотропию ила, как правило, сильную агрессивность к материалам подземных конструкций.

Опирающие фундаменты непосредственно на поверхность средне- и сильнозаторфованных грунтов, торфов, слабоминеральных сапропелей и илов не допускается.

Если непосредственно под подошвой фундамента залегает слой грунта с модулем деформации $E < 5,0$ МПа толщиной более ширины фундамента, осадка основания должна определяться с учетом полного давления под подошвой фундамента.

При расчете по деформациям оснований, включающих биогенные грунты и илы, среднее давление под подошвой фундамента от действующих нагрузок (P), МПа, не должно превышать расчетного сопротивления грунта основания (R), МПа, при этом величина коэффициента условий работы грунтового основания (γ_{cl}) должна назначаться в зависимости от содержания органического вещества в грунте.

При залегании кровли биогенных грунтов или илов на глубине (z), м, от подошвы фундамента размеры фундамента должны назначаться такими, чтобы обеспечивалось выполнение условия (6.3).

$$P_{zp} + P_{zg} \leq R_z, \quad (6.3)$$

где P_{zp} , P_{zg} — соответственно вертикальные нормативные давления в грунте на кровлю проверяемого слоя (на глубине z) от дополнительной нагрузки фундамента и от собственного веса грунтов, залегающих выше кровли проверяемого слоя, МПа;

R_z — наименьшее значение расчетного сопротивления слабого грунта на глубине z , МПа.

Расчетное сопротивление грунта (R_z) на глубине (z), м, от подошвы фундамента определяется для условного фундамента шириной (b_z), м.

При величине расчетных деформаций основания, сложенного биогенными грунтами или илами, больше предельных значений или при недостаточной несущей способности основания должны предусматриваться **следующие мероприятия**:

- полная или частичная прорезка слоев биогенных грунтов или илов глубокими фундаментами;
- полная замена биогенных грунтов или илов песком, гравием, щебнем;
- уплотнение грунтов временной или постоянной пригрузкой основания сооружения или всей площади строительства насыпным, намывным грунтом или другими материалами;
- закрепление грунтов

Набухающие грунты. Плотные глинистые маловлажные грунты, особенно содержащие большое количество частиц минерала монтмориллонита, набухают при увлажнении, а при последующем понижении влажности испытывают обратный процесс - усадку, что связано с изменением структуры в результате образования или ликвидации гидратных оболочек вокруг минеральных частиц.

Основания, сложенные набухающими грунтами, должны проектироваться с учетом возможности их набухания при повышении влажности и усадки при ее уменьшении. Способность грунтов к набуханию устанавливается опытным путем по результатам лабораторных или полевых испытаний по ГОСТ 24143.

При проектировании оснований, сложенных набухающими грунтами, следует учитывать:

- возможность набухания грунтов за счет подъема уровня подземных вод или увлажнения их производственными или поверхностными водами;
- набухание за счет накопления влаги под сооружением в ограниченной по глубине зоне вследствие нарушения природных условий испарения при застройке и асфальтировании территории;
- набухание и усадку грунта в верхней зоне аэрации за счет сезонных климатических факторов;
- усадку за счет высыхания грунтов от воздействия тепловых источников.

Основания, сложенные набухающими грунтами, должны рассчитываться в соответствии с общими требованиями проектирования оснований сооружений. Деформации основания в результате набухания или усадки должны оп-

ределяться путем суммирования деформаций отдельных слоев, при этом величины деформаций основания от внешней нагрузки и от возможной усадки при уменьшении влажности набухающего грунта должны суммироваться. Подъем основания в результате набухания грунта должен определяться в предположении, что деформации основания от внешней нагрузки стабилизировались.

Лессы и лессовидные грунты устойчивы в условиях малой влажности, а главное - в условиях природно-сложившегося стока поверхностных вод. При увеличении влажности (замачивании) структурные связи между частицами разрушаются, что приводит к просадкам лессовых грунтов и снижению их прочности.

Основания, сложенные просадочными грунтами, должны проектироваться с учетом их особенностей, заключающихся в том, что при повышении влажности выше определенного уровня они испытывают дополнительные быстропротекающие деформации (просадки) от внешней нагрузки и собственного веса.

Количественной характеристикой просадочности является относительная просадочность, которая представляет собой относительную осадку (просадку) грунта при заданных давлениях и степени повышения влажности. Относительная просадочность определяется по формуле

$$\epsilon_{sl} = (h_{n,p} - h_{sal,p}) / h_{ng},$$

где $h_{n,p}$ - высота образца грунта природной влажности, обжатого без возможности бокового расширения напряжением σ_z , равным напряжению, действующему на глубине z , от собственного веса фунта σ_{zg} или дополнительному напряжению σ_{zp} в зависимости от вида рассчитываемых деформаций; $h_{sal,p}$ - высота того же образца после замачивания его до полного водонасыщения при сохранении напряженного состояния; h_{ng} - высота того же образца природной влажности, обжатого давлением, равным напряжению σ_{zg} от собственного веса грунта, на рассматриваемой глубине (рис. 9.2. а).

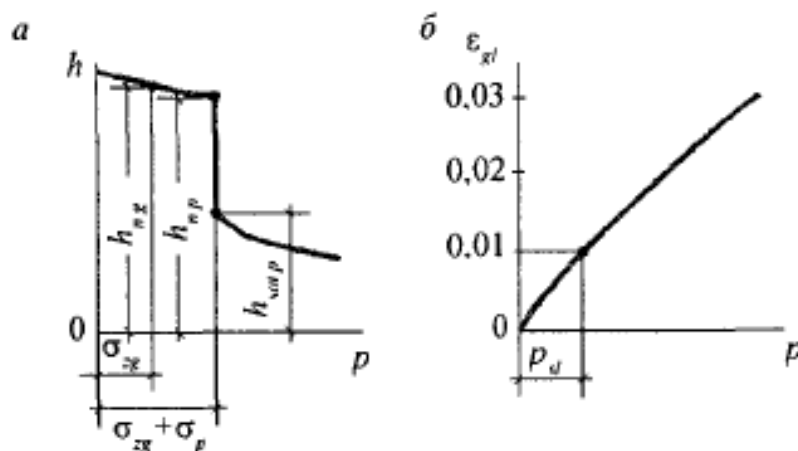


Рис. 9.2. Зависимость: а - деформаций; б - относительной просадочности лессового грунта от уплотняющего давления

Основными характеристиками просадочных грунтов, кроме относительной просадочности ε_{sl} , являются также начальное просадочное давление p_{sl} и начальная просадочная влажность w_{sl} , модуль деформации при естественной влажности E и в водонасыщенном состоянии E_w ; коэффициент изменчивости сжимаемости основания α ; удельное сцепление c и угол внутреннего трения φ при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии; удельное сцепление c и угол внутреннего трения φ в водонасыщенном состоянии уплотненных просадочных грунтов до заданной плотности.

Относительная просадочность грунта зависит от давления и представляется в виде графика $\varepsilon_{sl}=f(p)$ (рис. 9.2, б). Если $\varepsilon_{sl} < 0,01$, то грунт условно считается непросадочным.

Грунтовые условия строительных площадок, сложенных просадочными грунтами, в зависимости от возможности проявления просадки грунтов от собственного веса, подразделяют на два типа:

I тип - грунтовые условия, в которых возможна в основном просадка грунтов от внешней нагрузки $s_{sl,p}$, а просадка от собственного веса $s_{sl,g}$ отсутствует или не превышает 5 см;

II тип - грунтовые условия, в которых, помимо просадки грунтов от внешней нагрузки $s_{sl,p}$, возможна их просадка от собственного $s_{sl,g}$ и размер ее превышает 5 см.

Расчет просадок выполняется в тех случаях, когда не предусматриваются мероприятия по устранению просадочных свойств грунтов или когда эти свойства устраняются лишь частично, а принимаемые меры против замачивания недостаточны.

При возможности замачивания грунтов и развития недопустимых просадок следует предусматривать одно из мероприятий: а) устранение просадочных свойств грунтов в пределах всей просадочной толщи; б) прорезку просадочной толщи глубокими фундаментами; в) осуществление комплекса мер, включающего подготовку оснований, частичное устранение просадочных свойств грунтов, водозащитные и конструктивные мероприятия.

Выбор указанных мероприятий должен производиться с учетом типа грунтовых условий, вида возможного замачивания, расчетной просадки, конструктивных особенностей сооружений, взаимосвязи проектируемых сооружений с соседними объектами и коммуникациями.

В грунтовых условиях I типа устранение просадочных свойств грунтов допускается выполнять только в пределах верхней части зоны просадки, но не менее $2/3$ ее высоты, если конструкции сооружения рассчитаны на возможные деформации основания, а просадки и их неравномерность не превышают 50% предельных деформаций, допустимых для данного сооружения. Устранение влияния просадочности в этих грунтовых условиях возможно следующими способами: снижением давления по подошве фундаментов малоэтажных зданий до величины, при которой в основании на всех глубинах напряжение меньше начального просадочного давления; уплотнением грунта тяжелыми трамбовками, массу которых подбирают в зависимости от мощности просадочной толщи в пределах 5—10 т и более (рис. 9.4, а); устройством

грунтовых подушек или путем сочетания уплотнения нижней зоны просадочной толщи с уплотненной грунтовой подушкой в верхней зоне (рис. 9.4, б); устройством набивных или забивных фундаментов в вытрамбованных котлованах, а также изготовлением коротких набивных свай или забивкой пирамидальных свай (рис. 9.4, в); прорезкой просадочной толщи сваями и передачей нагрузки на подстилающие фунты (рис. 9.4, г).

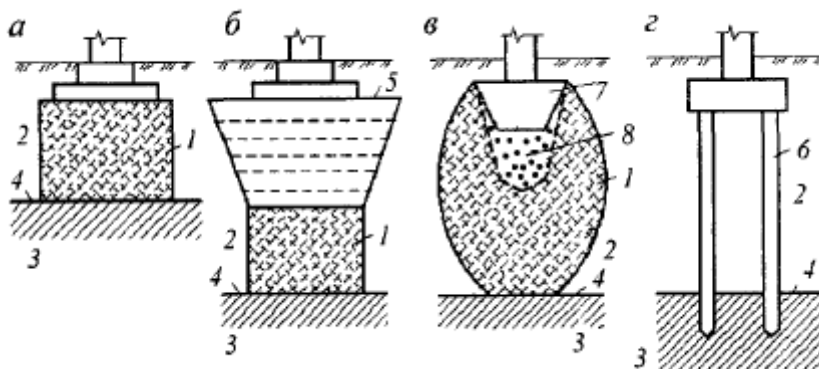


Рис. 9.4. Различные варианты устройства оснований и фундаментов в грунтовых условиях I типа ирсадочности: 1 - уплотненный грунт; 2 - просадочный грунт; 3 - непросадочный грунт; 4 - нижняя граница просадочного грунта; 5 - грунтовая подушка, уплотненная послойно; 6 - сваи; 7 - набивной или забивной фундамент, пирамидальная короткая свая; 8 - щебень, втрамбованный в грунт

В грунтовых условиях II типа возможны следующие варианты устройства фундаментов: прорезка просадочной толщи сваями различного типа или глубокими фундаментами (рис. 9.5, а); закрепление грунтов химическими или термическими способами (рис. 9.5, б); уплотнение грунтов предварительным замачиванием в сочетании с глубинными взрывами и уплотнение тяжелыми трамбовками (рис. 9.5, в); уплотнение грунтов грунтовыми сваями (рис. 9.5, г).

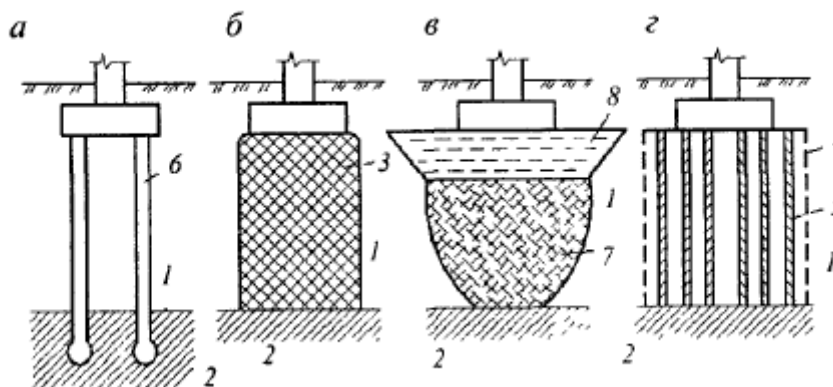


Рис.9 5 Различные варианты устройства оснований и фундаментов в грунтовых условиях при II типе просадочности: 1 -просадочный грунт; 2 - непросадочный фунт; 3 закрепленный грунт; 4 - зона уплотнения грунта грунтовыми сваями; 5 - грунтовые сваи; 6 - сваи; 7 - уплотненный грунт; 8 - грунт, уплотненный тяжелыми трамбовками

Могут применяться и другие методы устранения просадочных свойств грунтов и прорезки просадочной толщи. В грунтовых условиях II типа наряду с устранением просадочности и прорезкой толщи просадочных грунтов должны предусматриваться водозащитные мероприятия, а также соответствующая компоновка генерального плана застраиваемой территории. Лучшими решениями являются сохранение природного рельефа местности и дернового покрова, а также эффективная система водостоков и других водозащитных мероприятий.

После уплотнения или закрепления просадочной толщи грунтов определяют показатели их физико-механических свойств, необходимые для расчета фундаментов.

Особенности проектирования и возведение фундаментов на структурно-неустойчивых грунтах.

При проектировании фундаментов на сложных основаниях следует предусматривать следующие мероприятия:

- защиту основания от увлажнения посредством вертикальной планировки и асфальтирования территории с отводом воды за пределы строительной площадки и дренажем основания. устройства уширенной отмостки, противотифльтрационных стен (завес и экранов);

- улучшение свойств грунтов, включая их уплотнение, предварительное замачивание, глубинное виброуплотнение, устройство грунтовых свай, различные виды химического закрепления, устройство временного пригруза, полную или частичную замену грунтов основания;

- конструктивные, уменьшающие чувствительность сооружений к деформациям оснований.

К конструктивным мероприятиям относятся:

- увеличение жесткости здания разрезкой его на отдельные блоки осадочными швами;

- применение нежестких, связевых конструктивных схем зданий;

- устройство монолитных (сборно-монолитных) жестких фундаментов;

- устройство жестких горизонтальных диафрагм в уровне перекрытий, а также непрерывных железобетонных поясов по всему контуру здания в уровне плит перекрытий первого и последующих этажей, анкеровка фундаментов и др.;

- увеличение глубины заделки (анкеровки) опорных частей (арматуры) несущих конструкций;

- армирование кирпичных стен и столбов, пилястр и т. п.;

- "гибкое" подсоединение внутренних инженерных сетей к наружным коммуникациям;

- устройство приспособлений для выравнивания конструкций сооружения и рихтовки технологического оборудования.

При проектировании свайных фундаментов на сложных основаниях нижние концы всех типов свай и глубоких опор должны заглубляться, как

правило, в пески средние и гравелистые прочные и средней прочности, а также в пылевато-глинистые грунты с показателем текучести в водонасыщенном состоянии $i_1 < 0,6$, а при I типе грунтовых условий по просадочности — в слое с $i_1 < 0,4$ для забивных свай и $i_1 < 0,2$ для буронабивных свай.

Заглубление свай в такие грунты должно назначаться по расчету как наибольшее из условий обеспечения допустимой осадки и нагрузки, но не менее 1 м для песчаного и 2 м для остальных грунтов.

Для сооружений III класса ответственности концы свай допускается оставлять в слое грунта со степенью заторфованности $I_{om} < 0,25$.

Если по результатам изысканий установлено, что погружение забивных свай, защемленных в грунте, может быть затруднено, в проектной документации должно быть предусмотрено устройство лидерных скважин, диаметр которых должен быть на 50 мм меньше сечения сваи.

Результаты полевых испытаний грунтов сложных оснований зондированием не допускается использовать для определения несущей способности свай и свай-оболочек, а также для определения расчетного сопротивления грунта под их нижним концом и на боковой поверхности.

Испытание свай в сложных основаниях является обязательным.

При соответствующем обосновании в сложных основаниях допускается применять сваи с антифрикционными покрытиями, нанесенными на часть ствола, находящуюся в пределах просадочной толщи.

Отрицательная сила трения по результатам испытаний в грунтах природной влажности на боковой поверхности сваи принимается равной наибольшему предельному ее сопротивлению выдерживающей нагрузке.

При массовой застройке в районах со сложными основаниями следует производить испытания оснований (в т.ч. с их длительным замачиванием) до полного проявления осадок по программе, разработанной для конкретных условий строительства, при необходимости, с привлечением специализированных научно-исследовательских организаций.