



Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

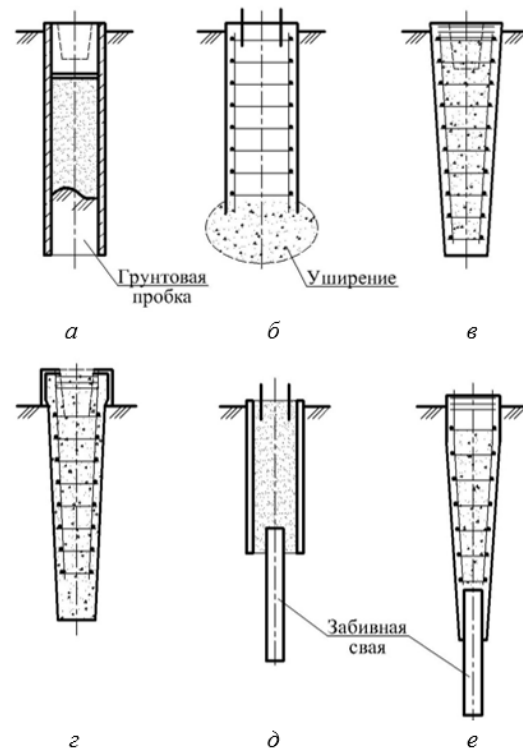
Лекция 7 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

Лектор: Полищук А. И.
заведующий кафедрой
оснований и фундаментов,
д-р техн. наук, профессор



Классификация свайных фундаментов сооружений

Фундаменты с одиночной сваей применяют под отдельно стоящие опоры (колонны), когда несущей способности од-ной сваи достаточно для передачи нагрузки на основание. Варианты конструктивных схем односвайных фундаментов приведены на рисунке. Разновидностью фундамента с одиночной сваей является железобетонная **свая-колонна**, которая бывает обычно цельной непрерывной (без стыка) и погружается в грунт на проектную глубину как забивная (готовая) свая. Такое конструктивное решение широко применяют при строительстве легких складских и сельскохозяйственных сооружений каркасного типа, а также при строительстве опор под технологические трубопроводы и эстакады.



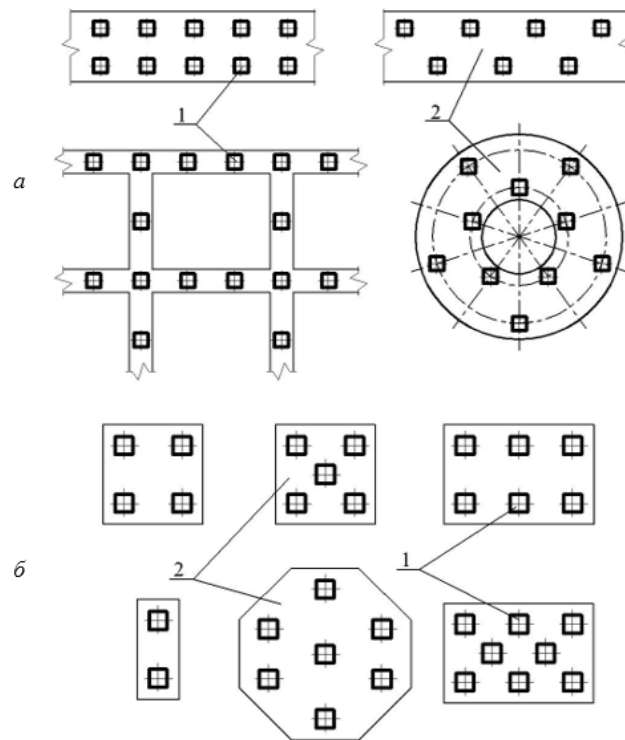
Конструктивные схемы односвайных фундаментов под отдельно стоящие опоры и колонны:
 а, д – с использованием круглых пустотелых железобетонных свай диаметром 500 мм и более;
 б – набивная свая с уширением;
 в, г, е – буроналивные конические сваи

Классификация свайных фундаментов сооружений

Если сваи в фундаменте расположены в один или несколько рядов, то такой фундамент называют **ленточным свайным фундаментом** (рис. а). Ленточные свайные фундаменты устраивают под стены зданий и другие протяженные строительные конструкции.

Отдельно стоящим свайным фундаментом принято называть фундамент, состоящий из группы (куста) свай (рис. б). Число свай в кусте может быть различным, обычно не менее трех, хотя в отдельных случаях допускается устройство кустов и из двух свай. Свайные кусты устраивают под колонны сооружений и опоры, передающие значительные вертикальные и горизонтальные нагрузки (рис. б).

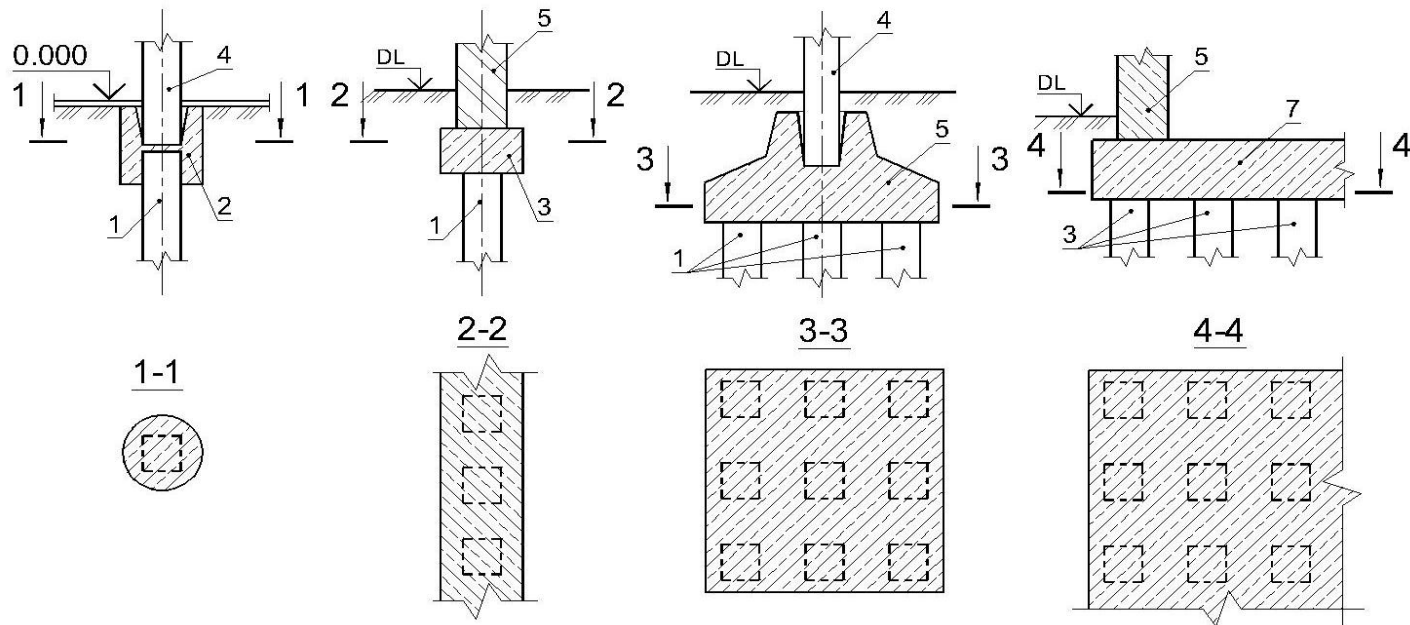
Если фундамент состоит из свай, расположенных в определенном порядке под всем сооружением, его называют **свайно-плитным** с размещением свай в виде сплошного свайного поля. Свайно-плитные фундаменты устраивают обычно под многоэтажные и высотные здания, если их строительство ведется в неблагоприятных грунтовых условиях, в том числе в сейсмоопасных районах. Свайно-плитные фундаменты устраивают также под сооружения башенного типа, имеющие ограниченные размеры в плане, тяжелое оборудование и др.



Конструктивные схемы расположения свай в плане:

а, б – соответственно для ленточных и кустовых свайных фундаментов; 1 – железобетонные сваи (забивные, вдавливаемые, набивные, буровые и др.); 2 – железобетонные ростверки

Классификация свайных фундаментов сооружений



Классификация видов свайных фундаментов в зависимости от характера размещения свай в плане:

а – с одиночной сваей (односвайный); *б* – ленточный свайный; *в* – отдельно стоящий свайный (отдельный из куста свай; *г* – свайно-плитный; 1 – свая; 2 – ростверк из асбестоцементной трубы и монолитного бетона с армированием; 3 – ростверк железобетонный; 4 – колонна железобетонная; 5 – кирпичная стена; *DL* – отметка планировки поверхности земли

Этапы проектирования свайных фундаментов

1. Оценка грунтовых условий площадки строительства.
2. Определение нагрузок и воздействий, действующих на свайный фундамент.
3. Выбор типа ростверка и глубины его заложения.
4. Выбор типа и длины свай.
5. Определение несущей способности свай и расчетных нагрузок, передаваемых на сваи.
6. Определение количества свай для фундамента, размещение их в плане и конструирование ростверка.
7. Определение осадок и неравномерностей осадок свайных фундаментов.

Оценка грунтовых условий строительства

Под оценкой грунтовых условий понимается обобщение результатов исследований свойств грунтов, выполненных на стадии инженерно-геологических изысканий, и выявление возможности их использования в качестве основания фундаментов зданий или сооружений.

Одним из главных вопросов при оценке грунтовых условий площадки строительства является *выбор несущего слоя грунта* основания для свай, в который предполагается заглубление их нижних концов. Как правило, этот слой должен быть наиболее прочным, менее сжимаемым по сравнению с другими инженерно-геологическими элементами (слоями грунта) в пределах длины свай и сжимаемой толщи основания свайных фундаментов.

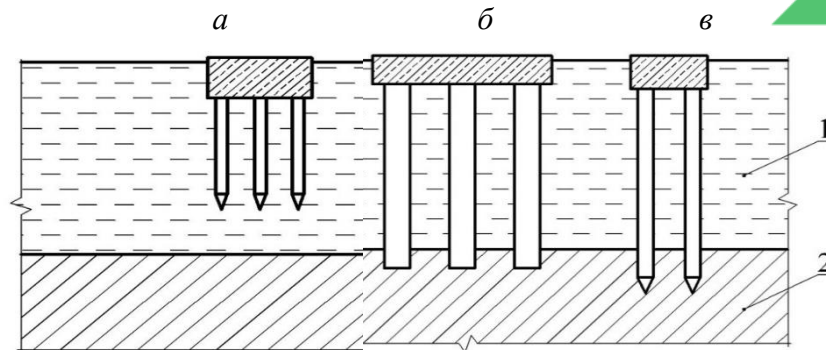


Схема выбора несущего слоя грунта для свайных фундаментов (а, в – фундаменты при различном конструктивном решении свай; б – плитно-свайный фундамент)

1 – несущий слой из слабого грунта для варианта а; 2 – тоже из прочного грунта для вариантов б, в)

Если за **несущий слой** свайного фундамента выбирается глинистый грунт, то его показатель консистенции I_L должен быть как правило $I_L < 0,6$. Если же за несущий слой грунта основания для свай выбирается песчаный грунт, то его разновидность должна соответствовать пескам средней плотности и плотным с коэффициентом пористости $e = 0,75$ и менее. Опирающие нижние концы свай на глинистые грунты текучей консистенции и пески рыхлые не рекомендуется.

Выбор типа ростверков

Ростверки стаканного типа состоят из плитной части и подколенника – стаканной части. Размеры ростверка в плане и по высоте должны приниматься кратными 10 см. Конструктивную высоту ростверка h_p (от его подошвы до дна стакана) назначают обычно не менее 40 см, а глубину стакана $h_{ст}$ принимают не менее большего размера стороны (диаметра) поперечного сечения колонны. Ростверк рассчитывают на изгиб (плитная часть, стаканная часть) и на продавливание (продавливание колонной и угловой сваей) в соответствии с требованиями СП 63.13330.2011. Армирование ростверка выполняют плоскими каркасами (плитная часть) и пространственными каркасами (стенки стакана).

Ленточные ростверки применяют обычно для зданий с несущими и самонесущими стенами. Ширина ростверка зависит от количества рядов свай в плане и от ширины стены здания. Свесы ростверка от граней свай рекомендуется принимать с учетом допустимых отклонений от проектного положения (в пределах $0,2-0,4d$; d – диаметр или размер стороны поперечного сечения сваи). Высоту ростверка h определяют расчетом в соответствии с СП 63.13330.2012, при этом ленточный ростверк рассматривается обычно как железобетонная балка. Для устройства ростверков применяют бетон класса по прочности В15 и более; а их армирование производят пространственными каркасами, преимущественно из арматуры класса А-III (А400).

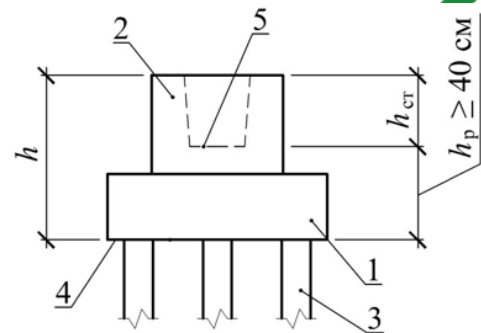


Схема конструкции отдельного ростверка стаканного типа:

1, 2 – соответственно плитная и стаканная части ростверка;
3 – сваи; 4 – подошва ростверка; 5 – дно стакана ростверка

Плитные ростверки применяют, как правило, для тяжелых зданий и сооружений. Такие ростверки рассчитывают на изгиб и продавливание (колонной или сваей, в том числе угловой) в соответствии с требованиями СП 63.13330.2011. Плитные ростверки армируют чаще плоскими арматурными каркасами (сетками). Большеразмерные плитные ростверки устраивают обычно по бетонной подготовке.

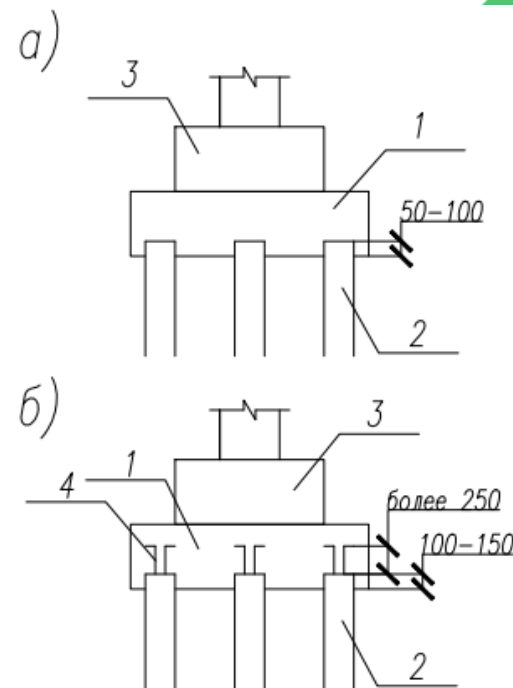
Выбор типа ростверков

Сопряжение свайного фундамента (ростверка) со сваями может быть свободным (свободно опирающимся) или жестким. **Свободное сопряжение** ростверка и свай учитывается в расчетах обычно как шарнирные сопряжения. В этом случае, при монолитных ростверках, сопряжение осуществляется путем заделки голов свай на глубину 5–10 см. При небольших вдавливающих нагрузках (до 400 кН) допускается выполнять опирание ростверка на выравненную (цементным раствором) поверхность головы.

Жесткое сопряжение свайного ростверка со сваями предусматривается в следующих случаях:

- свайный фундамент устраивается в слабых грунтах (глинистые грунты текучепластичной и текучей консистенции, илы, торфы, рыхлые пески и др.);
- на свайный фундамент передаются значительные горизонтальные и / или выдергивающие нагрузки;
- в свайном фундаменте устраиваются наклонные сваи.

Жесткое сопряжение железобетонных свай с монолитным железобетонным ростверком осуществляется заделкой выпусков арматуры сваи на длину их анкеровки в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012. Обычно это порядка 20 диаметров рабочей арматуры сваи. При предварительно напряженных сваях в их голове должен быть предусмотрен ненапрягаемый арматурный каркас, используемый в дальнейшем в качестве анкерной арматуры. **Анкеровка свай**, работающих на выдергивающие нагрузки, должна осуществляться с заделкой их арматуры в ростверк на глубину, определяемую расчетом на выдергивание.

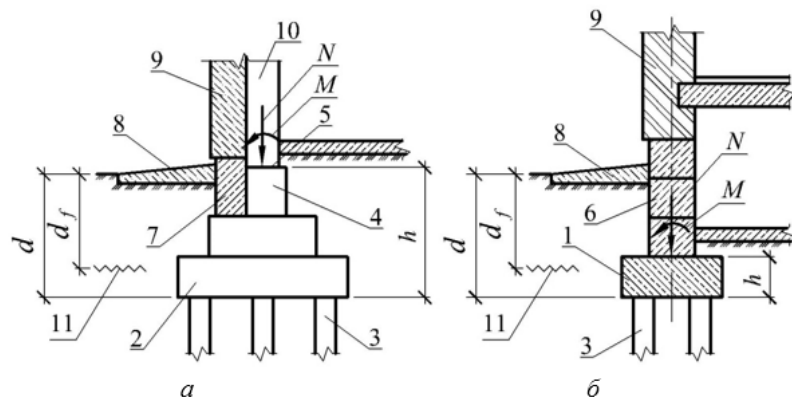


Схемы сопряжения ростверка и свай: а, б – соответственно свободное и жесткое; 1 – плитная часть железного ростверка; 2 – железобетонные сваи; 3 – стакан ростверка; 4 – выпуски арматуры

Назначение глубины заложения ростверка

Глубина заложения ростверка d должна назначаться в зависимости от конструктивных решений здания (наличия подвала, подземных коммуникаций, примыкающих сооружений и др.), величины и характера нагрузок на основание, а также грунтовых условий площадки строительства. В отличие от фундаментов на естественном основании ростверк передает основную нагрузку непосредственно на головы свай. При этом состояние (плотность сложения) грунта под его подошвой часто **не имеет существенного значения** для условий эксплуатации свайного фундамента. Однако при наличии плотных грунтов в основании ростверка часть внешней нагрузки, при развитии осадок фундамента, может передаваться на грунт подошвой ростверка. Такие фундаменты с низким ростверком принято называть плитно-свайными.

Опыт проектирования свайных фундаментов зданий свидетельствует о том, что глубина заложения подошвы ростверков d вначале **назначается по конструктивным соображениям**. Ростверк в зданиях, как правило, проектируется ниже пола подвала. Для удобства ведения работ ростверк стремятся устроить выше уровня подземных вод. Правила назначения глубины заложения ростверка d в пучинистых грунтах в целом аналогичны ленточным и отдельно стоящим фундаментам мелкого заложения.



Схемы к назначению глубины заложения подошвы ростверка:
 а, б – соответственно для отдельного и ленточного фундаментов;
 d – глубина заложения подошвы ростверка; h – высота ростверка;
 d_f – расчетная глубина сезонного промерзания; 1 – ростверк ленточный под стену; 2 – ростверк отдельный под колонну;
 3 – сваи железобетонные; 4 – подколонник; 5 – обреза фундамента;
 6 – стена подвала; 7 – фундаментная балка (рандбалка);
 8 – отмостка; 9 – наружная стена здания; 10 – колонна здания;
 11 – отметка расчетной глубины промерзания грунта

В таких грунтовых условиях должно учитываться влияние сил морозного пучения (нормальных и касательных) на работу ростверка, которые могут вызвать подъем свайного фундамента и нарушить нормальную эксплуатацию здания, сооружения.

Назначение глубины заложения ростверка

Расчетная глубина сезонного промерзания грунта d_f определяется по формуле:

$$d_f = k_h \cdot d_{fn} \quad (8.1)$$

где d_{fn} – нормативная глубина промерзания (м), определяемая по рекомендациям СП 22.13330.2016 (п. 5.5.2, 5.5.3), либо схематическим картам (рис) ; для песков и супесей значения d_{fn} , найденное по карте, следует умножить на коэффициент 1,2;

k_h – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима здания (сооружения), принимаемый для наружных фундаментов отапливаемых зданий по таблице 3.2; для наружных и внутренних фундаментов неотапливаемых зданий $k_h = 1,1$, кроме районов с отрицательной среднегодовой температурой.

Нормативную глубину сезонного промерзания грунта d_{fn} (м) при отсутствии данных многолетних наблюдений, согласно СП 22.13330.2016 (п. 5.5.3), следует определять на основе теплотехнических расчетов. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение допускается определять по формуле:

$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{M_t}, \quad (8.2)$$

где M_t – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за <https://kubsau.ru/education/chairs/substructions>

Особенности сооружения	Коэффициент k_h при расчетной среднесуточной температуре t воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам, °С				
	0	5	10	15	20 и более
Без подвала с полами, устраиваемыми: по грунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
на лагах по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленному цокольному перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
С подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

зиму в данном районе, принимаемых по СП (по строительной климатологии и геофизике), а при отсутствии в нем данных для конкретного пункта или района строительства – по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в аналогичных условиях с районом строительства;

d_0 – величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м; супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28 м; песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,30 м; крупнообломочных грунтов – 0,34 м.

The map displays the Soviet Union with isobars for January and July. Major cities and regions labeled include:

- Cities:** Ленинград (Leningrad), Москва (Moscow), Киев (Kyiv), Харьков (Kharkov), Одесса (Odessa), Симферополь (Simferopol), Севастополь (Sevastopol), Краснодар (Krasnodar), Астрахань (Astrakhan), Волгоград (Volgograd), Саратов (Saratov), Пенза (Penza), Ульяновск (Ulyanovsk), Куйбышев (Kuibyshev), Чкалов (Chkalov), Златоуст (Zlatoust), Челябинск (Chelyabinsk), Свердловск (Sverdlovsk), Курган (Kurgan), Омск (Omsk), Новосибирск (Novosibirsk), Барнаул (Barnaul), Красноярск (Krasnoyarsk), Иркутск (Irkutsk), Улан-Удэ (Ulan-Ude), Хабаровск (Khabarovsk), Владивосток (Vladivostok).
- Seas:** Балтийское море (Baltic Sea), Белое море (White Sea), Чёрное море (Black Sea), Каспийское море (Caspian Sea), Японское море (Japanese Sea).
- Rivers:** Волга (Volga), Дунай (Danube), Днепр (Dnieper), Дон (Don), Обь (Ob), Енисей (Enisei), Лена (Lena), Амур (Amur).
- Isobars:**
 - January (solid lines):** 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240.
 - July (dashed lines):** 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800.

Q

Назначение глубины заложения ростверка

Для уменьшения влияния сил морозного пучения на работу свайных фундаментов применяют различные **защитные мероприятия**. Например, в основании подошвы ростверка устраивают **уплотненную подсыпку** толщиной 150–200 мм из непучинистого грунта (щебень, крупный песок, гравийно-песчаная смесь и др.), которая выполняет роль защиты свайного фундамента от влияния нормальных сил морозного пучения. Боковую поверхность **покрывают слоем** противопучинистого материала (окрашивают или оклеивают), который выполняет роль защиты от влияния касательных сил морозного пучения фундамента τ . В отдельных случаях, на сильно пучинистых грунтах, между подошвой ростверка и поверхностью земли устраивают **воздушный зазор** высотой 100–200 мм, который также препятствует подъему ростверка при действии нормальных сил морозного пучения σ_0 . При этом, боковая поверхность свай на глубину сезонного промерзания грунта должна также покрываться противопучинистым материалом (рис).

При значительных уклонах местности в ростверке допускается устраивать перепады (уступы). Ростверк устраивают обычно из монолитного бетона и железобетона.

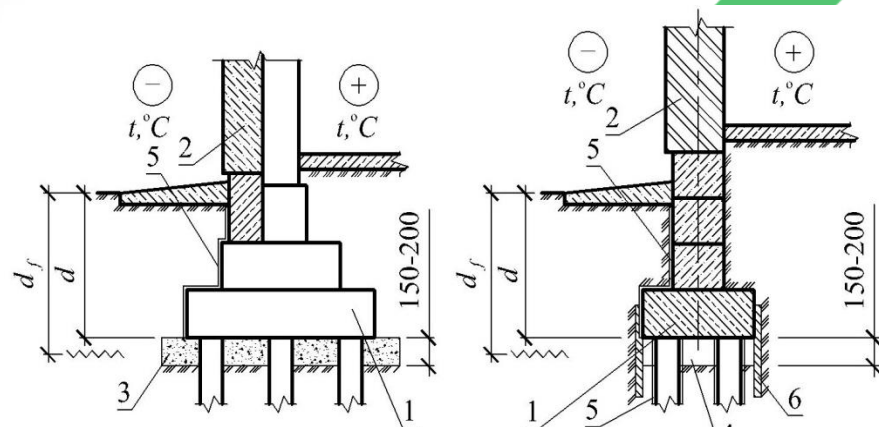


Схема конструктивных решений защиты свайных фундаментов при морозном пучении грунтов:

d – глубина заложения подошвы ростверка; d_f – расчетная

глубина сезонного промерзания грунтов; $t^{\circ}C$ – температура среды снаружи (–) и внутри (+) помещения здания; 1 – ростверк;

2 – наружная стена здания; 3 – подсыпка из непучинистого грунта; 4 – воздушный зазор; 5 – обмазка (противопучинистый материал) боковой поверхности ростверка и свай; 6 – защитная стенка от осыпающегося грунта; 7 – грунт обратной засыпки

Назначение глубины заложения ростверка

Пример. Требуется обосновать глубину заложения ростверка d отдельного фундамента под наружную колонну здания.

Исходные данные. Здание пятиэтажное, каркасное, с под-валом и кирпичными наружными стенами, строится в г. Новосибирске на свайных фундаментах. Температура воздуха в помещениях подвала 15°C . Высота подвала $H_n = 2,9$ м, а высота цоколя $H_{ц} = 1,7$ м. Грунт в основании ростверка (отм. $WL = -4,100$) – суглинок мягкопластичный с показателем текучести $I_L = 0,55$, а ниже глубины $2,4$ м – суглинок текучепластичный. Подземные воды залегают на глубине $2,4$ – $2,5$ м от поверхности земли. Нормативная глубина сезонного промерзания d_{fn} составляет $d_{fn} = 2,2$ м (рис).

Решение. По конструктивным соображениям, назначаем глубину заложения ростверка d . Для этого от поверхности планировки (отметка DL) откладываем высоту цоколя $H_{ц} = 1,7$ м и получаем отметку пола первого этажа, которую принимаем за $\pm 0,000$ (рис). Откладываем высоту подвала $H_n = 2,9$ м и получаем отметку пола подвала ($-2,900$). Затем, от отметки пола подвала откладываем расстояние $h_{cf} = 0,1$ м (толщина бетонного пола подвала), $h_{ст} = 0,5$ м (высота стакана) и $h_{пл} = 0,3$ м (высота плитной части ростверка). Получаем расстояние от отметки $\pm 0,000$ до отметки подошвы ростверка, равную: $2,9 + 0,1 + 0,5 + 0,3 = 3,8$ м. С учетом вышеизложенного глубина заложения подошвы ростверка d составляет:

$$d = H_{ц} + h_{cf} + h_{ст} + h_{пл} - H_{ц} = 2,9 + 0,1 + 0,5 + 0,3 - 1,7 = 2,1 \text{ м},$$

Учитывая, что грунт в основании ростверка и вокруг его боковой поверхности является пучинистым при промерзании, то глубина заложения его подошвы d должна быть не менее расчетной глубины сезонного промерзания d_f ($d > d_f$), определяемой по формуле:

$$d_f = k_h \cdot d_{fn} = 0,5 \cdot 2,2 = 1,1 \text{ м},$$

где $k_h = 0,5$ – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима здания.

Условие $d > d_f$ ($2,1 \text{ м} > 1,1 \text{ м}$) выполняется. Следовательно, окончательно принимаем глубину заложения подошвы ростверка $d = 2,1$ м (по конструктивным соображениям)

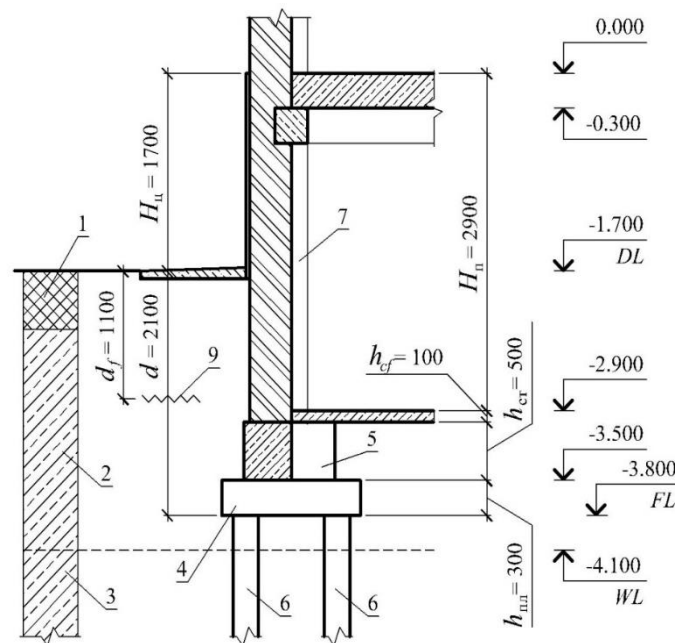


Схема к назначению глубины заложения подошвы ростверка



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина
*заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»,
д-р техн. наук, профессор Полищук А. И.*