

## Лекция №6.

**Свайные фундаменты в лессовых грунтах:**

**Общие положения по проектированию**

**Расчет несущей способности буронабивной сваи в грунтовых условиях II типа по просадочности**

**Расчет несущей способности забивной сваи в грунтовых условиях I типа по просадочности**

**Расчет несущей способности забивной сваи в грунтовых условиях II типа по просадочности**

Свайные фундаменты получили широкое распространение в практике строительства. Способность свай, прорезающих лессовую просадочную толщу, передавать нагрузку на подстилающие непросадочные слои грунта выдвинула их в число прогрессивных при строительстве на структурно-неустойчивых грунтах.

Забивные сваи изготавливают на заводах сборного железобетона. Длина свай с предварительно напрягаемой арматурой составляет 3...20 м, а без натяжения - 3...16 м.

Проектирование и устройство свайных фундаментов в лессовых просадочных грунтах отражены в СП 22.13330.

Проектирование свайных фундаментов осуществляют с учетом типа грунтовых условий по просадочности.

При инженерно-геологических изысканиях следует определять тип грунтовых условий по максимально возможным значениям просадки грунтов от собственного веса. Расстояние между выработками не должно быть больше 50 м. В пределах строительной площадки при возведении отдельного здания пробуривают не менее четырех скважин глубиной, превышающей просадочную толщу. Для ответственных зданий глубину бурения скважин принимают на 10 м ниже отметки предполагаемого положения нижних концов свай.

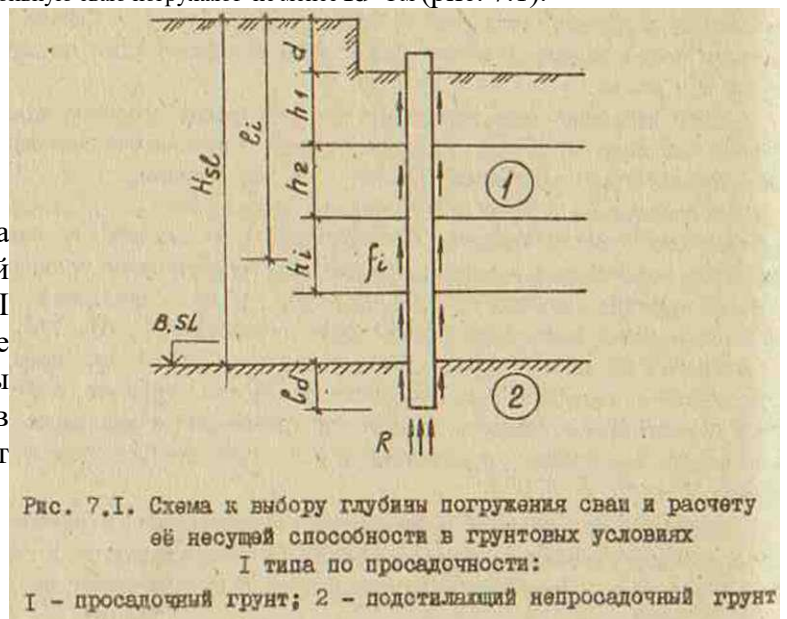
Сваи зданий I и II классов должны прорезать просадочную толщу и нижним концом опираться на подстилающие непросадочные грунты. Опорными несущими слоями могут служить крупнообломочные, гравелистые, крупные и средней крупности песчаные, пылевато-глинистые грунты с показателем текучести  $I_L \leq 0,1$ , заглубление забивной сваи в них не менее  $l_d = 0,5$  м. В прочие нескальные грунты и при  $I_L > 0,1$  забивную сваю погружают не менее  $l_d = 1$  м (рис. 7.1).

Буронабивные сваи заглубляют в подстилающие непросадочные грунты не менее чем на диаметр уширенной пяты и не менее  $l_d = 2$  м.

С учетом долгосрочного прогноза изменения гидрогеологической обстановки в грунтовых условиях I типа по просадочности нижние концы всех видов свай должны опираться на грунты, которые в водонасыщенном состоянии имеют показатель текучести  $I_L < 0,6$ .

При проектировании свай во II типе по просадочности требования к подстилающим слоям повышают с учетом возможной просадки от собственного веса грунта  $S_{slg}$  и ее соотношения с предельной деформацией  $S_u$  проектируемого здания.

При  $S_{slg} < S_u$  забивные сваи можно опирать на перечисленные выше грунты, в том числе пылевато-глинистые с показателем текучести  $I_L < 0,4$ , а буронабивные - с  $I_L < 0,2$ .



При  $S_{slg} > S_u$  показатель текучести опорного слоя грунта должен быть для забивных свай  $I_L < 0,2$  и для буронабивных  $I_L \leq 0$ . Если приведенные требования к значениям  $I_L$  на принятой глубине погружения свая не соблюдены, необходимо увеличить глубину погружения и расчетами проверять осадку сваи и ее несущую способность.

При проектировании зданий III класса при соответствующем технико-экономическом обосновании допустима неполная прорезка сваями просадочной толщи с заглублением не менее  $I$  м в грунт, имеющий относительную просадочность  $Es_l < 0,02$  при вертикальном давлении не менее  $P = 0,3$  МПа. При этом должны быть обеспечены требуемая несущая способность и условия расчета по деформациям.

Проектирование свайного фундамента начинают с выбора типа сваи, глубины ее погружения с учетом имеющегося оборудования, отметки заложения подошвы ростверка и т.д. Глубину заложения подошвы ростверка назначают как для малозаглубленных фундаментов.

Расчетную несущую способность свай в грунтовых условиях I типа по просадочности определяют по формуле:

где  $Y_c$  - коэффициент условий работы забивной сваи, принимаемый равным

1,0, набивной или буровой при опирании на пылевато-глинистые грунты со степенью влажности  $S_r < 0,9$  и на лессовые - 0,8, в остальных случаях - 1,0;

$Y_{cr}$  - коэффициент условий работы грунта под нижним концом забивной сваи, по табл. 3 СП 22.13330 в зависимости от способа её погружения; набивной или буровой с уширением, бетонируемым подводным способом - 0,9, во всех других случаях (кроме камуфлетных свай) - 1,0.

$R$  - расчетное сопротивление грунта прогнозируемой влажности под нижним концом забивной сваи, по табл. I СП 22.13330, буровой при опирании на пылевато-глинистые грунты (кроме лессовых) - по табл.7; на крупнообломочные и песчаные  $R$  рассчитывают по формулам СП 22.13330;

$A$  - площадь опирания на грунт забивной сваи, принимаемая по площади её поперечного сечения, набивной и буровой с уширением или без него - по площади поперечного сечения соответственно уширения или ствола;

$u$  - периметр поперечного сечения ствола сваи;

$Y_{cf}$  - коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности забивной сваи, табл. 3 СП 22.13330, набивной или буровой - в зависимости от способа их выполнения и вида грунта;

$f_i$  - расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, по табл. 2 СП 22.13330 при показателе текучести  $I_L$ , по формуле (7.2);

слои толщиной не более 2 м).

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи (обычно основание разделяют на отдельные однородные

В условиях возможного замачивания грунта основания расчетные сопротивления  $R$  и  $f_i$  должны определять для соответствующего слоя грунта по указанным таблицам СП 22.13330 при расчетном показателе текучести.

Если при расчете по формуле (7.2) значение  $I_L < 0,4$ , то в дальнейших расчетах

$$F_d = Y_c (Y_{cr} R \cdot A + u \sum Y_{cf} f_i \cdot h_i), \quad (7.1)$$

$$f_{Li} = \frac{0,9 e_i \cdot f_{si} - w_{pi}}{w_{Li} - w_{pi}}, \quad (7.2)$$

где  $e_i, f_{si}$  - соответственно коэффициент пористости и удельный вес частиц грунта  $i$ -го слоя;

$f_w$  - удельный вес воды;

$w_{pi}, w_{Li}$  - влажность соответственно на границе раскатывания и текучести  $i$ -го слоя грунта в долях единицы.

несущей способности сваи принимают  $I_L=0,4$ .

Сопротивления  $R$  и  $f_i$  изменяются в основном до глубины 5 м. Их значения до этого предела принимают по фактическому залеганию слоев грунта. При более глубоком расположении слоев считают, что  $R$  и  $f_i$

зависят только от вида и состояния грунта и равны соответствующим сопротивлениям для глубины 5 м. Нагрузку, допускаемую на одну сваю, определяют по формуле

где  $N$  - расчетная нагрузка, передаваемая на сваю (продольное усилие) в наиболее

невыгодном сочетании нагрузок при проектировании по I группе предельных состояний.

На площадках с грунтовыми условиями II типа по просадочности учитывают нагружающее трение на боковой поверхности сваи в результате проявления просадочных деформаций лессового грунта. Указанная особенность проявления нагружающего трения была рассмотрена при расчете по деформациям закрепленных силикатизацией массивов грунта.

Допускаемая нагрузка на сваю в грунтовых условиях II типа по просадочности с учетом отрицательной силы трения по формуле:

где  $F_d$  - несущая способность сваи за счет сопротивления грунта в водонасыщенном

состоянии в пределах слоев  $h_{mt}$ , расположенных ниже глубины  $h_{sl}$  (рис.7.2), и рассчитанная по формулам (7.1) и (7.2) с учетом прогнозируемого замачивания грунта;

$\gamma_k$  - то же, что и в формуле (7.3);

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от значения возможной просадки грунта от собственного веса: при  $S_{slg} \leq 5$  см, коэффициент  $\gamma_c = 0$ , при  $S_{slg} > 2S_u$  коэффициент  $\gamma_c = 0,8$ , для промежуточных значений  $\gamma_c$  находят интерполяцией;

$P_n$  - отрицательная сила трения, вычисляемая по формуле (7.6)

$h_{sl}$  - расчетная глубина, до которой производят суммирование отрицательных сил

бокового трения проседающих слоев грунта. Её принимают равной глубине, на которой  $S_{slg} = 5$  см (см. рис. 7.2);

$T_i$  - расчетное сопротивление на боковой поверхности сваи, определяемое для  $i$ -го слоя до глубины 6 м от уровня планировки по формуле:

$$P = \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (7.3)$$

где  $\gamma_k$  - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,4, если несущая способность сваи определяется расчетом.

Одиночные сваи в составе фундамента и вне его рассчитываются по несущей способности с соблюдением условия

$$P = \frac{F_d}{\gamma_k} \geq N, \quad (7.4)$$

$$P = \frac{F_d}{\gamma_k} - \gamma_c \cdot P_n. \quad (7.5)$$

$$P_n = \mu \sum_0^{h_{sl}} \tau_i \cdot h_i, \quad (7.6)$$

где  $\mu$  - то же, что и в формуле (7.1);

$$\tau_i = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{zg_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i, \quad (7.7)$$

$g$  - коэффициент бокового давления грунта, принимаемой равным 0,7;

$\Phi_i, C_i$  - расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления слоев грунта, принимаемые при расчете по I группе предельных состояний и осредненные по глубине  $h_{sl}$ ;

$G_{zgi}$  - вертикальные напряжения от собственного веса природного или водонасыщенного грунта в середине  $i$ -го слоя;

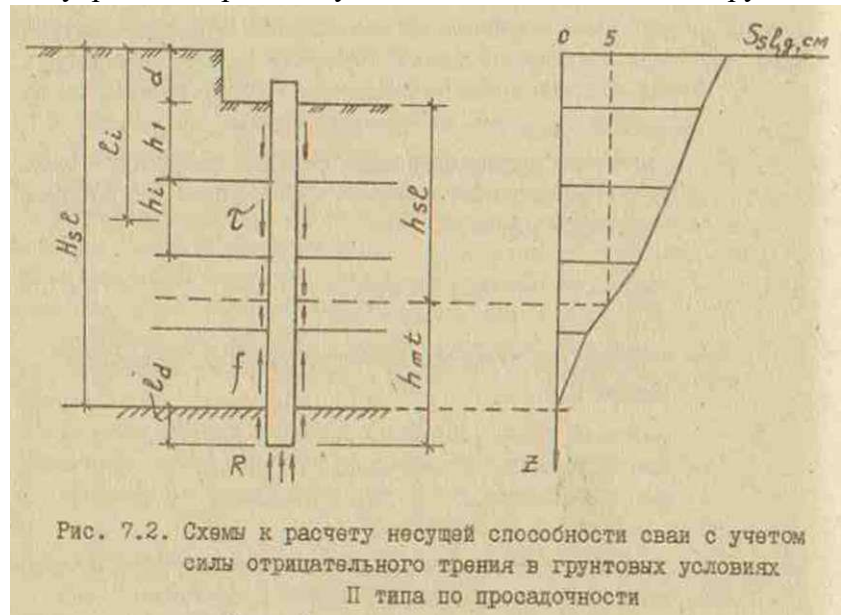
$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя просадочного грунта, оседающего при замачивании и соприкасающегося с боковой поверхностью ствола сваи.

Ниже глубины 6 м сопротивление считают постоянным и равным, рассчитанному для глубины 6 м.

Значение по формуле (7.6) находят в зависимости от направления замачивания грунта. Если оно происходит сверху, вычисляют для водонасыщенного грунта. При подъеме уровня подземных вод (замачивании снизу) отрицательную силу трения определяют для грунтов природной влажности.

Проектирование свайных ленточных или отдельно стоящих фундаментов осуществляют в обычной последовательности.

При проектировании свайного фундамента в грунтовых условиях II типа по просадочности его осадку определяют как для условного фундамента, который принимают ограниченным с боков вертикальными плоскостями, отстоящими от наружных граней крайних рядов вертикальных свай на расстояние  $l_{mt}$ .



$$l_{mt} = k_{mt} \cdot Lg \frac{\varphi_{s, mt}}{4}, \quad (7.8)$$

где  $k_{mt}$  - расстояние от нижнего конца сваи до глубины  $k_{sl}$  (рис. 7.3);  
 $\varphi_{s, mt}$  - осредненное расчетное значение угла внутреннего трения грунта в пределах слоев на глубину  $k_{mt}$ .

При подсчете давления по подошве условного фундамента следует учитывать нагрузку от силы отрицательного трения по формуле (7.6) на боковой поверхности ростверка в пределах его высоты и при периметре  $U_1$ , а также на боковой поверхности куста свай при периметре  $U_2$ , равном периметру по наружным граням крайних свай.

В случае проверки свай по прочности материала ствола расчет ведут в сечении на глубине  $h_{sl}$  на действие нагрузки  $N + P_n$  - при замачивании грунтов основания сверху и  $N + P^1_n$  - снизу при подъеме уровня подземных вод.

Для снижения трения по боковой поверхности свай в грунтовых условиях II типа по просадочности применяют антифрикционных покрытий или эластичные оболочки.

Несущую способность свай уточняют в полевых условиях, на строительной площадке, по результатам статических испытаний.

В грунтовых условиях I типа по просадочности испытание ведут с локальным замачиванием грунта в пределах всей длины свай. Не допускают применять для определения несущей способности свай данные динамических опытов (пробной забивки). В порядке исключения разрешено не производить статических испытаний на застроенной территории, где они уже ранее осуществлены или есть опыт строительства на свайных фундаментах.

В грунтовых условиях II типа по просадочности испытание свай статической нагрузкой обязательно. Определяют несущую способность в условиях длительного замачивания основания и полного проявления просадок от собственного веса грунта. Отрицательная сила трения  $P_n$  в водонасыщенных грунтах или  $P^1_n$  в грунтах природной влажности, действующая на боковой поверхности свай, может быть определена по ее наибольшему предельному сопротивлению при испытании выдерживающей нагрузкой.

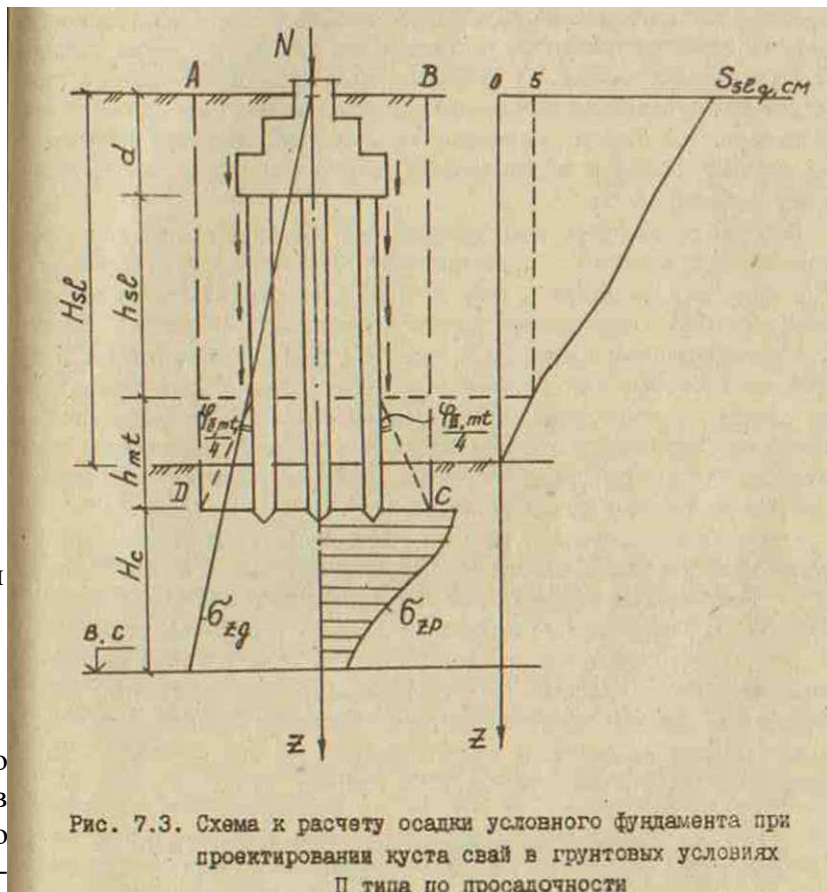


Рис. 7.3. Схема к расчету осадки условного фундамента при проектировании куста свай в грунтовых условиях II типа по просадочности

## 7.2. Примеры расчета несущей способности свай

### 7.2.1. Расчет буронабивной свай в грунтовых условиях II типа по просадочности.

Глубина заложения подошвы ростверка от отметки планировки = 1,5 м. Замачивание грунта предполагают сверху.

Находим тип грунтовых условий по просадочности, используя положения главы 3.

По формуле (3.8) находим удельный вес слоев в водонасыщенном состоянии.

Суммируя просадку отдельных слоев, получаем деформацию от собственного веса грунта всей толщи  $S_{slg} > 5$  см.

Грунтовые условия площадки относят ко II типу по просадочности.

Определяем требуемое заглубление конца сваи в непросадочный грунт. По формуле (7.2) находим показатель текучести  $I_L$  подстилающего грунта.

На рис. 7.4 показана схема к выбору глубины погружения сваи и интегральный график просадок от собственного веса грунта. Используя график, определяем зону проявления отрицательных сил трения на боковой поверхности сваи, нижняя граница которой находится на глубине  $S_{slg} = 5$  см.

В примере граница зоны на глубине 4,5 м, а длина участка действия отрицательных сил  $h_{sl}$  в пределах длины сваи составляет 3,0 м. Расчетное сопротивление  $T$  определяем от поверхности грунта (рис. 7.5) до глубины  $h_{sl}$  формуле (7.7).

$$\gamma_{sat, I} = \frac{I,74 \times 10}{I + 0,20} + \frac{I \times 0,86 \times 10}{I + 0,86} = 19,2 \text{ кН/м}^3.$$

Аналогичным образом вычисляется  $\gamma_{sat, II}$  и для других слоев грунта (табл. 7.2).

Таблица 7.2

К расчету просадки основания от собственного веса грунта

Глубина расположения слоев, м	$\gamma_{sat, I}, \text{кН/м}^3$	$\sigma_{zg}, \text{кПа}$	$\sigma_{zg, I}, \text{кПа}$	$K_{se}$	$\varepsilon_{se, I}$	$h_i, \text{см}$	$S_{se, g}, \text{см}$
0...0,5	19,2	10	5	I	0	50	0
0,5...1,5	19,2	29	20	I	0,002	100	0,2
1,5...3,0	19,2	59	44	I	0,006	150	0,9
3,0...5,0	19,9	99	79	I	0,010	200	2,0
5,0...7,0	19,9	138	119	I	0,012	200	2,4
7,0...9,0	20,0	178	158	I	0,011	200	2,2

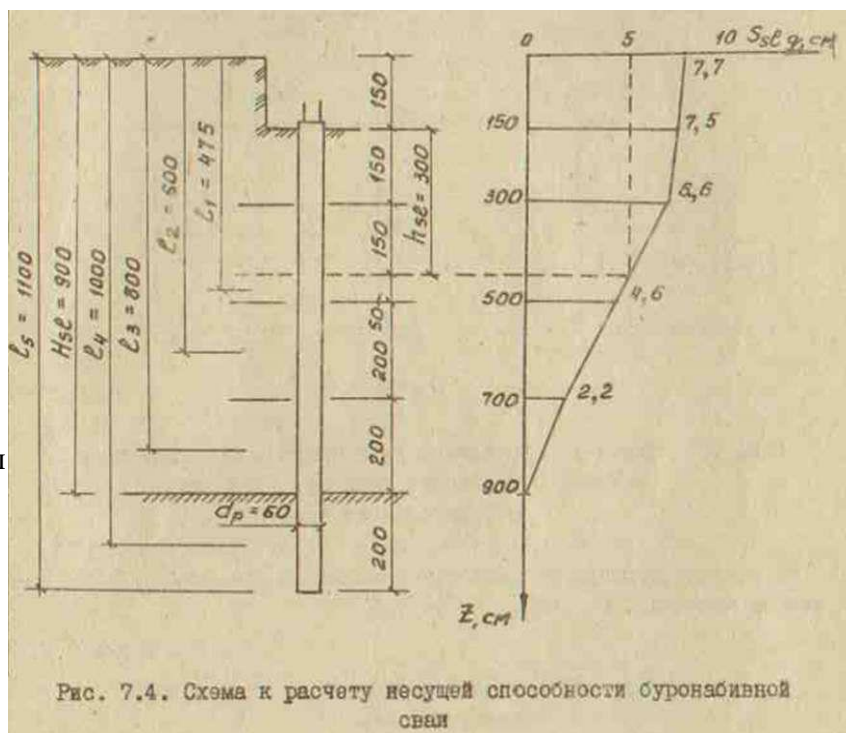


Рис. 7.4. Схема к расчету несущей способности буронабивной сваи

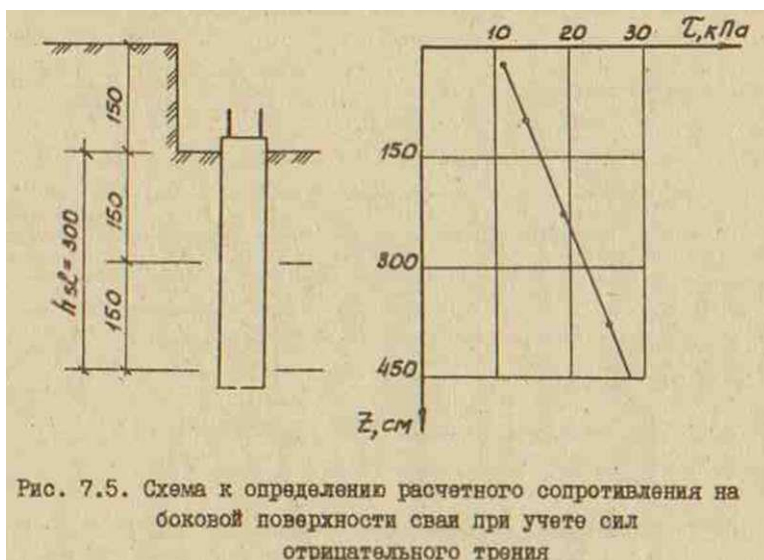


Рис. 7.5. Схема к определению расчетного сопротивления на боковой поверхности сваи при учете сил отрицательного трения

С учетом выполненных расчетов напряжений (табл. 7.2) получены значения (табл. 7.3).

Силу отрицательного трения  $R_n$

определим по формуле (7.6)

Для нахождения сил трения в

слоях грунта, ниже глубины  $h_{sl}$ ,

нужно определить показатель теку-

чести по формуле (7.2), а затем по

СП 22.13330 установить сопротивление

в середине каждого  $i$ -го слоя толщиной не более 2 м (табл. 7.4). В таблице через  $l_i$  обозначено расстояние от середины  $i$ -го слоя или нижнего конца сваи до поверхности грунта.

Для расчета допускаемой нагрузки на сваю согласно формуле (7.5) необходимо предварительно определить коэффициент условий работы  $\gamma_c$ .

Расчетная нагрузка, допускаемая на сваю,

$$R = \frac{711}{1,4} = 0,16 \times 124 = 488 \text{ кН.}$$

Т а б л и ц а

К расчету сил отрицательного трения на боковой поверхности свай

$z$ , м	$\sigma_{zg}$ , кПа	$c_{\tau}$ , кПа	$tg \varphi$	$\tau$ , кПа	$\tau_i$ , кПа
0,0	0	10	0,287	10	11
0,5	10	10	0,287	12	11
1,5	29	10	0,287	16	14
3,0	59	10	0,287	22	19
4,5	89	10	0,287	28	25

Т а б л и ц а 7.4

К определению сил сопротивления буронабивной сваи

$l_i$ , м	при $\gamma_c = 0,9$	$f_{li}$ , кПа	$R_i$ , кПа	$h_i$ , м
4,75	0,43	26	-	0,5
6,0	0,43	26	-	2,0
8,0	0,44	25	-	2,0
10,0	0	65	-	2,0
11,0	0	-	1450	-

По формуле (7.1) вычисляем несущую способность сваи

$$F_d = 1 \left\{ 1 \times 1450 \times \frac{3,14 \times 0,6^2}{4} + 3,14 \times 0,6 \times \right.$$

$$\left. \times [0,7 (26 \times 0,5 + 26 \times 2,0 + 25 \times 2,0) + 0,6 \times 65 \times 2,0] \right\} = 711 \text{ кН.}$$

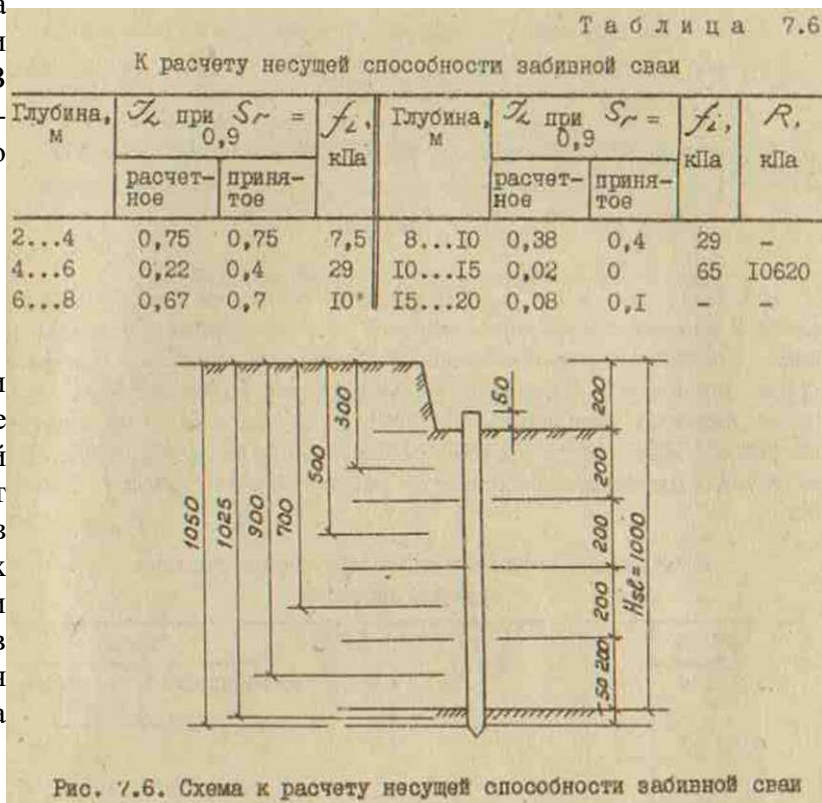
Проектирование фундамента ведут по указанной величине нагрузки на сваю,

## 7.2.2. Расчет забивной сваи в грунтовых условиях I типа по просадочности.

Подошва ростверка расположена на глубине  $d = 2$  м от отметки планировки поверхности грунта. В процессе эксплуатации проектируемого здания возможно замачивание грунта основания.

Определим показатель текучести всех слоев грунта в условиях возможного замачивания по формуле (7.2)(табл.7.6).

Показатель текучести подстилающего слоя по формуле (7.2)  $I_L = 0,02$ , заглубление забивной сваи  $l_d$  в этот непросадочный грунт принимаем не менее 0,5 м. Из условий прорезки просадочных слоев грунта и выпуска головы сваи на 0,5 м для заделки арматуры в ростверк, и принятого заглубления нижнего конца сваи ее длина составит 9 м (рис. 7.6).



Подбираем железобетонную сваю квадратного сечения типа С 9-30, т.е. длиной 9 м сечением 30 x 30 см. Для принятых значений  $I_L$  (табл. 7.6) находим по СП 22.13330 в середине  $i$ -го слоя расчетные сопротивления на боковой поверхности  $f_i$  и под нижним концом сваи  $R$ , полагая, что для лессовых грунтов  $f_i$  ниже глубины 5 м принимают как для глубины 5 м.

Несущая способность висячей сваи в условиях возможного замачивания грунта

$$F_{cl} = 1 \left[ 1,0 \times 10620 \times 0,09 + 1,2 \times 1,0 (7,5 \times 2,0 + 29 \times 2,0 + 10 \times 2,0 + 29 \times 2,0 + 65,4 \times 0,5) \right] = 956 + 220 = 1176 \text{ кН.}$$

Расчетная нагрузка, допускаемая на сваю, для рассмотренных условий

$$P = \frac{1176}{1,4} = 840 \text{ кН.}$$

### 7.2.3. Расчет забивной сваи в грунтовых условиях II типа по просадочности.

Значения относительной просадочности  $E_s$  определены для разных глубин в пределах разведанной толщи (табл. 7.8).

I	0...3	0,11	1,67	2,68	0,78	0,29	0,20	20	21	I4	I9
2	3...5	0,15	1,79	2,69	0,72	0,33	0,22	24	22	I7	20
3	5...7	0,13	1,62	2,69	0,88	0,30	0,19	18	20	I2	18
4	7...9	0,16	1,74	2,69	0,79	0,34	0,20	20	21	I4	I9
5	9...11	0,14	1,70	2,69	0,81	0,34	0,23	20	21	I4	I9
6	11...13	0,16	1,77	2,68	0,75	0,30	0,21	24	22	I7	20
7	13...15	0,16	1,78	2,69	0,75	0,30	0,22	24	22	I7	20
8	15...17	0,13	1,84	2,69	0,65	0,33	0,20	24	22	I7	20
9	17...19	0,14	1,77	2,69	0,74	0,30	0,19	26	22	I7	20
I0	19...21	0,17	1,83	2,69	0,73	0,37	0,23	28	22	I7	20
II	21...22,6	0,20	1,87	2,70	0,73	0,43	0,27	26	22	I7	20
I2	22,6...30	0,21	2,03	2,71	0,61	0,46	0,25	76	21	75	21

Просадочные свойства грунта выявлены до глубины 22,6 м, на которой их подстилают твердые глины.

[illegible]

С учетом прорезки пропарочной толщи принята глубина погружения забивной сваи (рис. 7.7). Для заделки арматуры сваи в ростверк высотой 0,5 м. Заглубление сваи в подстилающий слой глины не менее 0,5...1 м.

Расчетная длина сваи  $22,6 - 2,3 + 0,5 + 1 = 21,8$  м. Принимаем составную сваю общей длиной 22 м, два звена по II м и размером поперечного сечения 30 x 30 см. С учетом принятых размеров фактически свая заглублена в подстилающие глины на 1,2 м

Вычисляем просадку грунта от собственного веса. Принимаем коэффициент  $k_{sl} = 1,25$ , так как  $h_{sl} = 22,6$  м > 20 м.

Суммарная просадка от собственного веса грунта  $S_{slg} = 64,5$  см > 5 см.

Грунтовые условия площадки относятся ко II типу по просадочности, следует учитывать действие отрицательной силы трения на её боковой поверхности. Рассмотрим случаи замачивания грунта, которое происходит:

- сверху и весь окружающий сваю грунт находится в водонасыщенном состоянии;
- снизу при подъеме уровня подземных вод до сечения на глубине  $h_{sl}$ , выше него массив сохраняет природную влажность.

На рис. 7.7 показана схема нахождения глубины  $h_{sl}$ , в пределах которой следует учитывать отрицательную силу трения  $R_n$  или  $R_n'$ . В примере  $h_{sl} = 19,5$  м. Ниже глубины  $d + h_{sl} = 2,3 + 19,5 = 21,8$  м сопротивление грунта по боковой поверхности будет оказывать положительное влияние на несущую способность сваи.

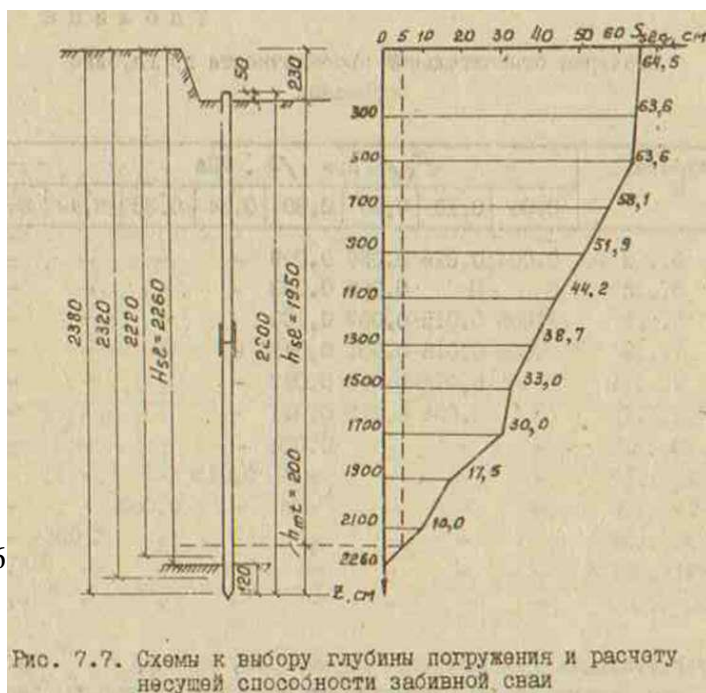


Рис. 7.7. Схемы к выбору глубины погружения и расчету несущей способности забивной сваи

Таблица 7.9  
К расчету просадки основания от собственного веса грунта

Глубина расположения слоев, м	$\gamma_{sat, i}^*$ , кН/м <sup>3</sup>	$\sigma_{zg, i}$ , кПа	$\bar{\sigma}_{zg, i}$ , кПа	$k_{se}$	$\varepsilon_{zg, i}$	$h_i$ , см	$S_{slg, i}$ , см
0...3	19,5	58	29	1,25	0,003	300	0,9
3...5	19,8	98	78	1,25	0,000	200	0,0
5...7	19,0	136	117	1,25	0,022	200	5,5
7...9	19,4	175	155	1,25	0,025	200	6,2
9...11	19,4	213	194	1,25	0,031	200	7,7
11...13	19,6	253	233	1,25	0,022	200	5,5
13...15	19,7	291	272	1,25	0,023	200	5,7
15...17	20,2	333	312	1,25	0,012	200	3,0
17...19	19,7	372	352	1,25	0,050	200	12,5
19...21	19,8	413	392	1,25	0,030	200	7,5
21...22,6	19,7	473	428	1,25	0,050	160	10,0
Итого:							64,5

Вычислим по формуле (7.2) показатель текучести грунта при его водонасыщении. Для слоя лессовидного суглинка на глубине 21,8...22,6 м от поверхности  $I_L = 0$ . В соответствии с указаниями СП 22.13330 принимаем  $f_1 = 56$  кПа для глубины 5 м, так как фактически слой находится ниже.

Для слоя глины, на глубине от 22,6 м до 23,8 м и толщиной  $h_2 = 1,2$  м имеем  $I_L = -0,22 > 0$

По СНиП 2.02.03-85 находим на средней глубине 23,2 м значение  $f_2 = 83$  кПа, а на глубине расположения нижнего конца сваи, равной 23,8 м,  $R = 13208$  кПа.

Несущая способность сваи по формуле (7.1) при наличии сил сопротивления грунта только ниже глубины  $h_{sl}$   $F_d = 1362$  кН.

Вычислим усредненное значение показателей прочности лессовидных суглинков природной влажности  $\gamma$  в водонасыщенном состоянии в пределах глубины 19,6 м (табл. 7.10).

Т а б л и ц а 7.10

К расчету усредненных показателей прочности лессовидных суглинков

Глубина расположения слоев, м	$h_z$ , м	Грунт							
		природный				водонасыщенный			
		$c_n$ , кПа	$c_n \cdot h_i$ , кПа·м	$\varphi_n$ , град	$\varphi_n \cdot h_i$ , град·м	$c_n'$ , кПа	$c_n' \cdot h_i$ , кПа·м	$\varphi_n'$ , град	$\varphi_n' \cdot h_i$ , град·м
2,3...3,0	0,7	20	14	21	15	14	10	19	13
3,0...5,0	2,0	24	48	22	44	17	34	20	40
5,0...7,0	2,0	18	36	20	40	12	24	18	36
7,0...9,0	2,0	20	40	21	42	14	28	19	38
9,0...11,0	2,0	20	40	21	42	14	28	19	38
11,0...13,0	2,0	24	48	22	44	17	34	20	40
13,0...15,0	2,0	24	48	22	44	17	34	20	40
15,0...17,0	2,0	24	48	22	44	17	34	20	40
17,0...19,0	2,0	26	52	22	44	17	34	20	40
19,0...21,0	2,0	28	56	22	44	17	34	20	40
21,0...21,8	0,8	26	21	22	18	17	14	20	16
$\Sigma = 19,5$		$\Sigma = 451$		$\Sigma = 421$		$\Sigma = 308$		$\Sigma = 381$	

Вычислим  $c_n$ ,  $\varphi_n$  и  $c_n'$ ,  $\varphi_n'$ .

$$c_n = \frac{451}{19,5} = 23 \text{ кПа}, \quad \varphi_n = \frac{421}{19,5} = 21,6^\circ;$$

$$c_n' = \frac{308}{19,5} = 16 \text{ кПа}, \quad \varphi_n' = \frac{381}{19,5} = 19,6^\circ.$$

Значения показателей прочности природного и водонасыщенного грунта при расчете по I группе предельных состояний таковы:

$$c_{\Sigma} = \frac{23}{1,5} = 15,3 \text{ кПа}; \quad \varphi_{\Sigma} = \frac{21,6}{1,15} = 18,8^\circ;$$

$$c_{\Sigma}' = \frac{16}{1,5} = 10,7 \text{ кПа}; \quad \varphi_{\Sigma}' = \frac{19,6^\circ}{1,15} = 17,0^\circ.$$

Находим по формуле (7.7) значения расчетного сопротивления на боковой поверхности сваи природного и водонасыщенного грунта (табл. 7.П).

Т а б л и ц а 7.П

К расчету отрицательного трения по боковой поверхности свай

Глубина слоя, м	Глубина середины слоя, м	$k_i$ , м	$\bar{\sigma}_{zg}$ , кПа	$tg \varphi$	$\tau_i$ , кПа	$\bar{\sigma}'_{zg}$ , кПа	$tg \varphi'$	$\tau'_i$ , кПа
2,3...3,0	2,65	0,7	44	0,34	25,8	52	0,31	22,0
3,0...5,0	4,0	2,0	68	0,34	31,5	78	0,31	27,6
5,0...7,0	6,0	2,0	102	0,34	39,6	117	0,31	36,1
7,0...9,0	8,0	2,0			39,6			36,1
9,0...11,0	10,0	2,0			39,6			36,1
11,0...13,0	12,0	2,0			39,6			36,1
13,0...15,0	14,0	2,0			39,6			36,1
15,0...17,0	16,0	2,0			39,6			36,1
17,0...19,0	18,0	2,0			39,6			36,1
19,0...21,0	20,0	2,0			39,6			36,1
21,0...21,8	21,4	0,8			39,6			36,1

Отрицательная сила бокового трения грунта:

природной влажности

$$P_n = 1,2 (25,8 \times 0,7 + 31,5 \times 2,0 + 39,6 \times 16,8) = 896 \text{ кН};$$

водонасыщенного

$$P'_n = 1,2 (22,0 \times 0,7 + 27,6 \times 2,0 + 36,1 \times 16,8) = 812 \text{ кН}.$$

Наименьшая допускаемая нагрузка на сваю при замачивании грунта подземными водами и проявлении отрицательной силы так называемого сухого трения на участке  $h_{sl}$

$$P = \frac{1362}{1,4} - 0,8 \times 896 = 256 \text{ кН}.$$

Допускаемая нагрузка на сваю при замачивании грунта сверху к проявлению отрицательной силы так называемого влажного трения.

$$P = \frac{1362}{1,4} - 0,8 \times 812 = 323 \text{ кН}.$$

Направление прогнозируемого замачивания грунта существенно влияет на значение допускаемой нагрузки на сваю