

9758,3

МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ СССР
ГЛАВСПЕЦПРОМСТРОЙ

Бр $\frac{173}{1128}$

УКАЗАНИЯ

ПО РАСЧЕТУ ТРУБЧАТЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ
ДИАМЕТРОМ 0,8 \leq 16 м
НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ
НАГРУЗКИ

МСН 171-71

ММСС СССР

ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ

Москва-1971

Министерство монтажных и специальных строительных
работ СССР

БР $\frac{173}{1128}$

Главспецпромстрой

УКАЗАНИЯ

по расчету трубчатых железобетонных свай диаметром
 $0,8 < D \leq 1,6$ м на вертикальную и горизонтальную
нагрузки

МСН 171-71

ММСС СССР

Утверждены
Главспецпромстроем
21 мая 1971 г.

Центральное бюро научно-технической информации

Москва - 1971

9
072

Настоящие указания разработаны лабораторией фундаментостроения ВНИИГС Минмонтажспецстроя СССР для применения их при проектировании свайных фундаментов из трубчатых свай промышленных и гидротехнических сооружений, возводимых в глинистых и песчаных грунтах. Они изданы взамен временных указаний МСН 171-68 и уточняют ряд положений расчета трубчатых свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки с учетом материалов исследований, накопленных за последнее время. В частности, при расчете трубчатых свай на вертикальную нагрузку уточняются значения коэффициента, учитывающего сопротивление грунтового сердечника, а расчет на горизонтальную нагрузку дополнен случаем совместного действия горизонтальной силы и изгибающего момента и вспомогательными графиками, облегчающими вычислительную работу.

Указания учитывают специфику работы трубчатых свай диаметром $0,8 < D \leq 1,6$ м с грунтовым сердечником как забивных свай.

Указания составлены кандидатом техн. наук Е.М. Перлеем, А.Я. Серебро и Н.Л. Маламент.



Минмонтажспец- ! Нормы на монтажные и специаль- ! МСН 171-71
 строй СССР ! ные строительные работы ! ММСС СССР

Главспецпром- ! Указания по расчету трубчатых ! Взамен
 строй ! железобетонных свай диаметром ! МСН 171-68
 ! $0,8 < D \leq 1,6$ м на вертикальную ! ММСС СССР
 ! и горизонтальную нагрузки

1. Расчет несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым нижним концом на вертикальную нагрузку

1.1. Расчетное сопротивление по первому предельному состоянию одиночной висячей трубчатой сваи, работающей на осевую сжимающую нагрузку P (в тс), определяется как сумма расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом трубчатой сваи по площади кольца и по ее наружной и внутренней поверхностям по формуле:

$$P = 0,7m(U_n \sum d_{1l} f_l^H h_{nl} + U_b \sum k d_{2l} f_l^H h_{cl} + d_2 F_0 R^H) \quad (1)$$

- где 0,7 - коэффициент однородности грунта;
 m - коэффициент условий работы, принимаемый $m = 1,0$;
 R^H - нормативное сопротивление грунта под нижним концом свай, принимаемое по табл. 1, тс/м²;
 U_n - наружный периметр свай, м;
 U_b - внутренний периметр свай, м;
 f_l^H - нормативное сопротивление l - го слоя грунта основания по наружной и внутренней поверхностям свай, принимаемое по табл. 2, тс/м²;
 h_{nl} - толщина l - го слоя грунта, соприкасающегося с наружной поверхностью свай, м;

ВНЕСЕНЫ ! Утверждены ! Срок введения
 Всесоюзным научно-исследователь- ! Главспец- ! 1 октября
 ским институтом гидромеханизации, ! промстроем ! 1971 г.
 санитарно-технических и специаль- ! 21 мая !
 ных строительных работ (ВНИИГС) ! 1971 г. !

h_{cl} - толщина l - го слоя грунта сердечника, соприкасающегося с внутренней поверхностью трубчатой сваи, м;

F_0 - площадь кольцевого сечения сваи, м²;

α_1, α_2 - коэффициенты, учитывающие влияние вибрационного способа погружения сваи, значения которых приведены в табл.3;

k - коэффициент, учитывающий сопротивление трения грунтового сердечника.

- ПРИМЕЧАНИЯ: 1. При погружении трубчатых свай без выемки или с частичной неопережающей выемкой грунта из полости и оставлением на конечной стадии погружения грунтового сердечника высотой не менее 2-3 диаметров сваи D высота грунтового сердечника $\leq h_{cl}$, вводимая в расчет по формуле I, принимается равной $2D$.
2. Толщины слоев грунта сердечника и глубины их заложения при определении f_{cl}^H принимаются равными толщинам и глубине заложения соответствующих наружных слоев, проходимых свай.
3. Коэффициент k , учитывающий сопротивление трения грунтового сердечника, принимается: $k = 1$ - для песчаных грунтов плотных и средней плотности и глинистых грунтов с $B \leq 0,25$; $k = 0$ - для глинистых грунтов с $B \geq 0,5$. Для глинистых грунтов при $0,25 < B < 0,50$ коэффициент k принимается по интерполяции.

Таблица I

Нормативные сопротивления грунта основания в
плоскости нижних концов свай R^H

Глубина погружения свай от отсчетного уровня, м	Нормативные сопротивления R^H песчаных грунтов средней плотности, тс/м ²						
	гравелистых	крупных	средней крупности	мелких	пылеватых	глинистых грунтов консистенции В, равной	
	≤ 0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	750 700	650 400	300	290 200	180 120	120 100	60
4	830	660 510	380	300 250	190 160	125	70
5	880	670 620	400	310 280	200	130	80
7	970	690	430	330	220	140	85
10	1050	730	500	350	240	150	90
15	1170	750	560	400	280	160	100
20	1260	820	620	450	310	170	110
25	1340	880	680	500	340	180	120
30	1420	940	740	550	370	190	130
35	1500	1000	800	600	400	200	140
и более							

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. В случаях, когда значения R^H указаны дробью, числитель относится к песчаным грунтам, а знаменатель - к глинистым.

2. Для свай, погружаемых на глубину не менее 4 м, при наличии в основании плотных песчаных грунтов значения R^H , указанные в таблице, увеличиваются на 30%.

3. Расчетная глубина заложения подошвы свай для установления значения R^H определяется по указанию п.1.2.

4. Для промежуточных глубин погружения свай и промежуточных величин показателей консистенции В глинистых грунтах, определяемых по указанию п.1.3, значения R^H вычисляются интерполяцией.

Таблица 2

Нормативные сопротивления грунта основания на боковой поверхности свай f_i^H

Средняя глубина расположения слоя грунта, м	Нормативные сопротивления f_i^H песчаных грунтов (для свай, забитых без подмыва), тс/м ²					
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых			
	глинистых грунтов консистенции В, равной					
	≤ 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1	3,5	2,3	1,5	1,2	0,5	0,2
2	4,2	3,0	2,0	1,7	0,7	0,3
3	4,8	3,5	2,5	2,0	0,8	0,4
4	5,3	3,8	2,7	2,2	0,9	0,5
5	5,6	4,0	2,9	2,4	1,0	0,6
7	6,0	4,3	3,2	2,5	1,1	0,7
10	6,5	4,6	3,4	2,6	1,2	0,8
15	7,2	5,1	3,8	2,8	1,4	1,0
20	7,9	5,6	4,1	3,0	1,6	1,2
25	8,6	6,1	4,4	3,2	1,8	-
30	9,3	6,6	4,7	3,4	2,0	-
35	10,0	7,0	5,0	3,6	2,2	-
и более						

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Для определения расчетного сопротивления грунтов основания по боковой поверхности (первый и второй члены формулы I) грунты, прорезаемые сваями, расчленяются на слои с тем, чтобы каждый

слой имел толщину не более 2 м и содержал грунт одного напластования.

- Расчетная глубина расположения слоя при определении f_i^H принимается для его середины и отсчитывается по указанию п.1.2.
- Для промежуточных глубин расположения середин слоев грунта и промежуточных показателей консистенции В глинистых грунтах, определяемых по указанию п.1.3, значения f_i^H вычисляются интерполяцией.
- Для торфяных грунтов сопротивление трения не учитывается ($f_i^H = 0$); сопротивление насыпных грунтов допускается учитывать при наличии данных испытания на выдергивание пробных свай, погруженных в эти грунты, и при условии отсутствия в них опилок, древесных остатков и других органических включений.
- При погружении с подмывом и последующим допогружением на конечной стадии без подмыва для всех грунтов вводится коэффициент 0,9.

I.2. За уровень отсчета для определения глубины расположения подошвы свай (при определении R^H) или середины слоя (при определении f_i^H) принимается уровень естественного рельефа или наинизший уровень поверхности воды при погружении свай на водоеме.

При планировке территории подсыпкой, намывом или срезкой на толщину слоя $t \leq 3$ м за уровень отсчета принимается уровень природного рельефа; при $t > 3$ м за отсчетный принимается уровень, отличающийся на величину $\pm (t - 3$ м) от уровня природного рельефа, причем знак (+) принимается для наращенных, знак (-) для срезанных при планировке территорий.

I.3. Результаты расчета несущей способности свай на вертикальную нагрузку должны быть проверены путем натурных испытаний свай статической нагрузкой по ГОСТ 5686-69. Испытание свай диаметром более 1,2 м допускается проводить отдельным способом по методике ВНИИГС (см. приложение I).

Таблица 3

Значения коэффициентов α_1 и α_2 , учитывающих влияние вибрационного погружения трубчатых свай на величину сопротивления грунтов по боковой и лобовой поверхности

Коэффициент	Песок рыхлый и средней плотности		Супесь			Суглинок					Глина		
	мало-влажный	водонасыщенный	$0 \geq B$	$0 < B < I$	$B > I$	$0 < B < 0,25$	$0,25 < B < 0,5$	$0,5 < B < 0,75$	$B > 0,75$	$0 < B < 0,25$	$0,25 < B < 0,5$	$0,5 < B < 0,75$	$B > 0,75$
α_1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6
α_2	1,1	1,2	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	0,9	-

П Р И М Е Ч А Н И Е . При погружении свай ударным способом α_1 и α_2 принимаются равными 1.

2. Расчет несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым нижним концом на горизонтальную нагрузку^{х)}

2.1. Пункты 2.2-2.14 настоящих указаний распространяются на расчет трубчатых свай, имеющих относительное заглубление в грунт $I \leq \frac{l}{D} \leq 15$, где l - глубина забивки свай, D - наружный диаметр свай.

2.2. Расчет предназначен для определения глубины погружения свай в грунт, максимального изгибающего момента, поперечной силы и прогибов свай. По величине максимального изгибающего момента должна быть проверена прочность и (если это необходимо) трещиностойкость поперечного сечения свай.

2.3. Наружный и внутренний диаметры свай должны назначаться с учетом удовлетворения требований п.2.2.

2.4. Расчет трубчатых свай на горизонтальные нагрузки следует производить, как правило, с учетом их конечной жесткости.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Расчет свай как бесконечно жесткого фундамента допускается производить при относительном заглублении $\frac{l}{D} \leq 4$ (см.п.2.14).

2. Сечения свай при изгибе считаются плоскими, а местные деформации не учитываются.

2.5. Грунт, окружающий сваю, рассматривается как упруго деформируемая среда, характеризуемая коэффициентами постели на сжатие и на сдвиг в горизонтальной и вертикальной плоскостях, линейно изменяющимися (возрастающими) с глубиной (см.рисунок,а).

2.6. Пространственная работа трубчатой свай в грунте учитывается безразмерным эмпирическим коэффициентом

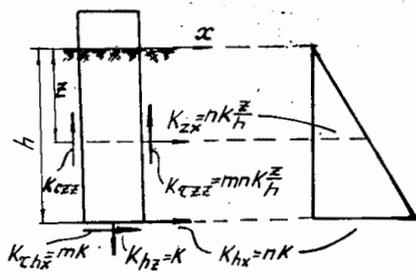
$$\beta = 0,9 \times \left(1 + \frac{1}{D}\right), \quad (2)$$

где \bar{D} - безразмерная величина, численное значение которой равно диаметру свай, м;

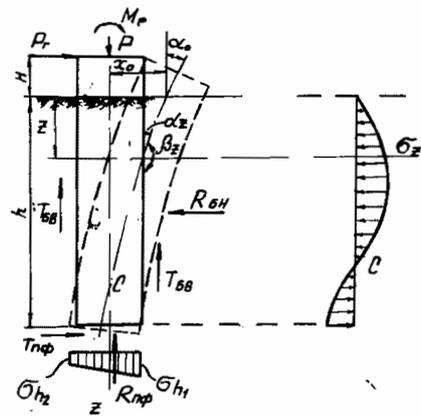
0,9 - коэффициент, учитывающий круглую форму поперечного сечения свай.

х) Глава 2 указаний может применяться при расчете трубчатых свай и колодцев-оболочек диаметром до 3,0 м.

а) Схема коэффициентов постели



б) Схема действия сил



2.7. Основные расчетные зависимости учитывают действие на трубчатую сваю следующих сил (см. рисунок, б):

а) активные силы - горизонтальная нагрузка P_r , приложенная на высоте H от поверхности грунта, момент M_p (от заделки головы сваи в ростверк) и вертикальная нагрузка P , включающая собственный вес сваи;

б) реактивные силы - нормальные к наружной боковой поверхности сваи реакции грунта (R_{BH}), силы сопротивления сдвигу по боковой поверхности ($T_{BВ}$), нормальные реакции по лобовой поверхности сваи ($R_{лф}$), силы сопротивления сдвигу по подошве ($T_{лф}$);

в) в главе 2 настоящих указаний не рассматривается случай расчета сваи при ее загрузке одним изгибающим моментом M_p без горизонтальной силы P_r (т.е. принимается $P_r \neq 0$).

2.8. Глубина забивки трубчатой сваи, необходимая для восприятия горизонтальной нагрузки P_r и работы сваи в упругой стадии, определяется из условия:

$$h \geq \sqrt{\frac{C_1 P_r}{\gamma (\beta \lambda_p - \lambda_a) D}} \quad (3)$$

где β - коэффициент пространственной работы трубчатой сваи в грунте, определяемый по формуле (2);

γ - объемный вес грунта с учетом взвешивания, тс/м³;
 λ_p и λ_a - коэффициенты пассивного и активного давления грунта с учетом сцепления;
 C_1 - коэффициент, определяемый по графикам приложения 2 или по формуле:

$$C_1 = \frac{B_1 + \psi B_2 + A_0 (B_3 + \psi B_{11})}{B_4 + A_0 B_5} \quad (4)$$

где B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 и B_{11} - безразмерные коэффициенты, определяемые по табл. 4 в зависимости от отношения $\frac{h}{D}$,

$$\psi = \frac{H + H'}{h} \quad (5)$$

где H - расстояние от поверхности грунта до точки приложения горизонтальной силы, м.

$$H' = \pm \frac{M_p}{P_r} \quad (6)$$

Знак перед величиной M_p в формуле (6) и соответственно перед H' в формуле (5) принимается: (+) при совпадении по направлению моментов от силы P_r и от M_p и (-) при их противоположных направлениях.

$$A_0 = \frac{BEJ}{kDh^4} \quad (7)$$

где EJ - жесткость сваи, тс/м²;

k - коэффициент постели сваи в плоскости нижнего конца, значение которого определяется по указанию п. 2.13, тс/м³.

ПРИМЕЧАНИЕ. Глубина погружения h определяется из выражения (3) подбором, поскольку величина C_1 также зависит от h . В первом приближении величину h рекомендуется устанавливать, исходя из условия восприятия трубчатой сваей расчетной вертикальной нагрузки по формуле (1), а затем проверять, удовлетворяется ли условие (3).

2.9. Нормальные напряжения в грунте (осредненные) по контакту с боковой поверхностью трубчатой сваи определяются формулой:

$$\sigma_z = \left[C_1 \frac{z}{h} - C_2 \left(\frac{z}{h} \right)^2 + C_3 \left(\frac{z}{h} \right)^3 \right] \frac{P}{Dh}. \quad (8)$$

Средние значения напряжений по подошве определяются из выражения:

$$\sigma_{hc} = \frac{4P}{\pi D^2 (1 + 1,5 \frac{z}{h})} \quad (9)$$

Значения краевых напряжений по подошве сваи определяются из выражения:

$$\sigma_{h,2} = \frac{4}{\pi D^2} \left[\frac{P}{1 + 1,5 \frac{z}{h}} \pm 0,4 (C_2 - 2C_3) \left(\frac{D}{h} \right)^2 P \right], \quad (10)$$

где P — вертикальная нагрузка на сваю с учетом собственного веса сваи и взвешивания;

C_2 и C_3 — коэффициенты, определяемые по графикам приложения 2 или по формулам:

$$C_2 = \frac{B_6 + \psi B_7 + A_0 (B_8 + \psi B_{12})}{B_4 + A_0 B_5}, \quad (11)$$

$$C_3 = \frac{B_9 + \psi B_{10}}{B_4 + A_0 B_5}, \quad (12)$$

где $B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}, B_{12}$ — безразмерные коэффициенты, определяемые по табл. 4.

Наибольшие краевые нормальные напряжения по лобовой поверхности сваи, определяемые по формуле (10), не должны превышать величины расчетного сопротивления грунта основания осевому сжатию:

$$|\sigma_{h,2}| \leq 0,7 R^H$$

При невыполнении указанного условия необходимо увеличить глубину забивки сваи и вновь определить значения напряжений по подошве.

2.10. Поперечные силы в любом сечении по глубине сваи определяются из выражения:

$$Q_z = \left[1 - \frac{C_1}{2} \left(\frac{z}{h} \right)^2 + \frac{C_2}{3} \left(\frac{z}{h} \right)^3 - \frac{C_3}{4} \left(\frac{z}{h} \right)^4 \right] P \quad (13)$$

Таблица 4

Значения безразмерных коэффициентов B при $n = 1,0$; $m = 0,75$

$\frac{h}{D}$	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}
1	0,34246	0,96293	9,34990	0,03808	1,69685	1,00648	4,80158	9,23330	0,70305	4,00925	9,19990	10,9000
2	0,15149	0,55739	5,74070	0,00689	0,62630	0,49087	2,08073	6,28330	0,32828	1,55166	6,26660	7,95000
3	0,10671	0,38273	4,60120	0,00275	0,40246	0,31889	1,35038	5,30000	0,21735	1,00202	5,28880	6,96660
4	0,08072	0,29843	4,05120	0,00165	0,31517	0,24650	1,05126	4,80830	0,17060	0,78360	4,80000	6,47500
5	0,06625	0,25008	3,72840	0,00117	0,27019	0,20722	0,89009	4,51330	0,14569	0,67003	4,50660	6,18800
6	0,05790	0,22145	3,51650	0,00093	0,24309	0,18353	0,79312	4,31670	0,13038	0,60120	4,31110	5,98340
7	0,05231	0,20199	3,36680	0,00079	0,22514	0,16763	0,72799	4,17610	0,12010	0,55542	4,17140	5,84280
8	0,04832	0,18808	3,25540	0,00069	0,21235	0,15726	0,68255	4,07080	0,11276	0,52277	4,06660	5,73750
9	0,04562	0,17793	3,16940	0,00064	0,20288	0,14782	0,64698	3,98880	0,10728	0,49852	3,98510	5,65550
10	0,04359	0,17009	3,10100	0,00059	0,19553	0,14121	0,62002	3,92330	0,10298	0,47964	3,92000	5,59000
11	0,04139	0,16328	3,04510	0,00055	0,19003	0,13600	0,59855	3,86970	0,09992	0,46567	3,86660	5,53640
12	0,03996	0,15809	2,99880	0,00052	0,18487	0,13174	0,58105	3,82490	0,09674	0,45224	3,82220	5,49160
13	0,03871	0,15369	2,95980	0,00050	0,18095	0,12821	0,56655	3,78710	0,09443	0,44214	3,78460	5,45380
14	0,03773	0,14981	2,92700	0,00048	0,17780	0,12524	0,55432	3,75470	0,09261	0,43406	3,75300	5,42140
15	0,03665	0,14623	2,89760	0,00046	0,17478	0,12270	0,54389	3,72670	0,09080	0,42625	3,72450	5,39340

П Р И М Е Ч А Н И Е : Все приведенные здесь величины коэффициентов увеличены в 10 раз, что не сказывается на результате расчета параметров χ_0 и α_0 .

2.11. Изгибающие моменты в поперечных сечениях трубчатой сваи по глубине определяются по формуле:

$$M_z = \left\{ \psi + \frac{z}{h} - \frac{3\kappa C_2}{64} \left(\frac{D}{h}\right)^2 \left(\frac{z}{h}\right)^2 + \left[\frac{\kappa C_3}{16} \left(\frac{D}{h}\right)^2 - \frac{C_1}{6} \right] \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \frac{C_2}{12} \left(\frac{z}{h}\right)^4 - \frac{C_3}{20} \left(\frac{z}{h}\right)^5 \right\} P_r h. \quad (14)$$

ПРИМЕЧАНИЕ. Для построения эпюр Q_z , Q_z и M_z рекомендуется задаваться относительной глубиной $\frac{z}{h}$ равной 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0. Соответствующие значения степеней величины $\frac{z}{h}$, входящие в формулы (8), (13), (14), приведены в табл.5.

Таблица 5

Значения степеней относительной глубины $\frac{z}{h}$

$\frac{z}{h}$	$\left(\frac{z}{h}\right)^2$	$\left(\frac{z}{h}\right)^3$	$\left(\frac{z}{h}\right)^4$	$\left(\frac{z}{h}\right)^5$
0,0	0,00	0,000	0,0000	0,00000
0,2	0,04	0,008	0,0016	0,00032
0,4	0,16	0,064	0,0256	0,01024
0,6	0,36	0,216	0,1296	0,07776
0,8	0,64	0,512	0,4096	0,32768
1,0	1,00	1,000	1,0000	1,00000

2.12. Перемещение X_0 и угол поворота α_0 трубчатой сваи у поверхности грунта (в том числе в месте заделки головы сваи в низкий ростверк) определяются по формулам:

$$X_0 = C_1 \frac{P_r}{k D h}, \quad (15)$$

$$\alpha_0 = C_2 \frac{P_r}{k D h^2}. \quad (16)$$

Перемещение головы сваи U_H в месте ее закрепления на высоте H от поверхности грунта (в том числе в месте заделки головы в высокий ростверк) определяется по формуле:

$$U_H = \left[C_1 + \psi C_2 + \frac{\psi^3 (2+3\nu)}{A_0} \right] \frac{P_r}{k D h}, \quad (17)$$

где

$$\nu = \frac{H'}{H},$$

(18)

H' определяется по (6). При этом правило знаков для ν то же, что и для H' (см. п. 2.8).

2.13. Коэффициенты постели K грунта на уровне подошвы свай, которые используются в расчете, определяются с помощью табл. 6, в которой приводятся значения коэффициентов постели K_1 для грунта, расположенного на глубине I м от дневной поверхности:

$$K = K_1 \bar{h},$$

где \bar{h} - численное значение глубины заложения свай,

$$\left(\bar{h} = \frac{h}{1m} \right).$$

Таблица 6

Коэффициент постели K_1 для грунтов на глубине
1,0 м от поверхности

Наименование и характеристика грунтов	K_1 , тс/м ²
Текучепластичные глины и суглинки; или (0,75 < В < 1)	200
Мягкопластичные суглинки; супеси и глины (0,5 < В < 0,75)	400
Тугопластичные суглинки, супеси и глины (0,25 < В < 0,5), пески мелкие и средние	700
Полутвердые супеси, суглинки и глины (0 < В < 0,25), пески разнородные	1000
Твердые суглинки, супеси и глины (В < 0), пески крупнозернистые	1500
Пески гравелистые, грунты крупнообломочные	2000

ПРИМЕЧАНИЕ. При напластовании неоднородных грунтов по глубине свай для определения расчетного коэффициента постели рекомендуется принимать средневзвешенное его зна-

чение, определенное по грунтам, расположенным в верхней трети глубины залегания, считая от поверхности грунта.

2.14. При относительном заглублении трубчатой сваи $\frac{h}{D} \leq 4$ расчет на горизонтальную нагрузку допускается производить как бесконечно жесткого фундамента ($EJ = \infty$) по более простым формулам.

В этом случае безразмерные коэффициенты имеют следующие значения:

$$C_1' = \frac{B_2 + \psi B_{11}}{B_5}, \quad (19)$$

$$C_2' = \frac{B_2 + B_{12}}{B_5}. \quad (20)$$

Линейное и угловое перемещение у поверхности грунта соответственно определяются из выражений:

$$x_0' = \frac{C_1' P_r}{k D h}, \quad (21)$$

$$\alpha_0' = \frac{C_2' P_r}{k D h^2}. \quad (22)$$

Формулы для определения изгибающих моментов, поперечных сил и нормальных напряжений соответственно:

$$M_z = \left[\psi + \frac{z}{h} - \frac{3\pi C_2'}{64} \left(\frac{D}{h}\right)^2 \left(\frac{z}{h}\right)^2 - \frac{C_1'}{6} \left(\frac{z}{h}\right)^3 + \frac{C_2'}{12} \left(\frac{z}{h}\right)^4 \right] P_r h, \quad (23)$$

$$Q_z = \left[1 - \frac{C_1'}{2} \left(\frac{z}{h}\right)^2 + \frac{C_2'}{3} \left(\frac{z}{h}\right)^3 \right] P_r, \quad (24)$$

$$\sigma_z = \left[C_1' \frac{z}{h} - C_2' \left(\frac{z}{h}\right)^2 \right] \frac{P_r}{D h}. \quad (25)$$

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Параметры $C_1', C_2', x_0', \alpha_0'$ и т.д. относятся к абсолютно жестким сваям ($EJ = \infty$).

2. Для приближенного вычисления M_{max} рекомендуется упрощенная формула:

$$M_{max} = 0,26(1 + 3,85\psi) P_r h \quad (26)$$

2.15. Результаты расчета свай на горизонтальную нагрузку должны быть проверены путем натурных испытаний. Методика проведения испытаний и количество свай, подлежащих испытанию, устанавливаются проектной организацией в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69.

Примеры расчета трубчатых свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки приведены в приложении 3.

Приложение I

М Е Т О Д И К А

ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБЧАТЫХ СВАЙ И КОЛОДЦЕВ-ОБОЛОЧЕК НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ РАЗДЕЛЬНЫМ СПОСОБОМ

1. Настоящая методика рекомендуется для проведения статических испытаний железобетонных трубчатых свай наружным диаметром $D \geq 1,2$ м и колодцев-оболочек.

2. Сущность способа раздельного испытания заключается в том, что в процессе его проведения одновременно определяются силы сопротивления по боковой и лобовой поверхностям трубчатой сваи или колодца-оболочки. При этом сопротивление по боковой поверхности определяется по результатам испытания сваи (колодца-оболочки) на извлечение, а по лобовой — по результатам вдавливания штампа, расположенного в плоскости подошвы.

3. Число свай (колодцев-оболочек), подлежащих испытанию на каждом объекте, и минимальный срок от конца погружения до начала статических испытаний устанавливаются проектом в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69.

4. Установка для проведения раздельного статического испытания (рис.1) включает: оболочку 1, жесткий железобетонный штамп 2 для передачи давления на грунт основания, стальную колонну 3 для передачи усилия на штамп, гидродомкраты необходимой грузоподъемности 4, упорную (анкерную) балку 5 и анкерные тяги 6 для передачи выдергивающего усилия оболочке.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Диаметр штампа рекомендуется принимать на 5–10 см меньше внутреннего диаметра сваи (колодца-оболочки).

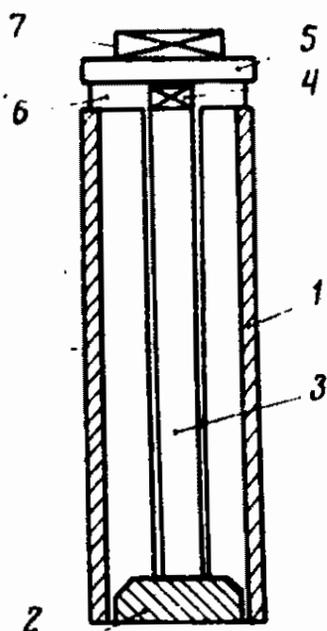


Рис. 1.

2. Стальная колонна 3 должна быть по возможности более жесткой и рассчитана на восприятие максимального усилия домкратов с учетом ее продольной гибкости.
3. В случаях, когда ожидается, что сопротивление по боковой поверхности оболочки может оказаться значительно меньше сопротивления грунта под штампом, для увеличения нагрузки на штамп рекомендуется предусмотреть дополнительную пригрузку 7 соответствующего веса на упорную балку 5.
4. Анкерные тяги 6 крепятся к арматуре или стальному венцу верхней секции испытываемой оболочки 1 на сварке и к упорной балке 5 – гайками.
5. В качестве упорной балки рекомендуется использовать переходник вибратора.

5. Непосредственно перед установкой штампа производится выемка грунта из полости оболочки до ножа или на 10 см ниже его, зачистка подошвы и подсыпка выравнивающего слоя крупнозернистого песка толщиной 10 см для установки на него штампа.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. При наличии в подошве сваи (колодца-оболочки) грунтов с очень низкими коэффициентами фильтрации рекомендуется перед установкой штампа откачать воду из внутренней полости. В остальных случаях откачка воды не рекомендуется во избежание разрыхления грунта основания.

2. Перед установкой штампа рекомендуется соединить его с колонной. Для этого на верхней поверхности штампа предусматриваются стальные закладные детали. При соединении должна быть обеспечена перпендикулярность плоскости нижней поверхности штампа с осью колонны.

6. Порядок монтажа установки для раздельного испытания следующий:

- а) устанавливают и выверяют штамп с колонной;

- б) устанавливают домкраты на верх колонны;
- в) устанавливают анкерную балку и соединяют анкерными тросами со свайей (колодцем-оболочкой);
- г) монтируют реперную систему.

7. В процессе испытания одновременно проводятся измерения перемещений свай (колодца-оболочки) при ее извлечении (выходе) из грунта и осадки штампа в зависимости от величины приложенной нагрузки.

8. Реперные устройства и прогибомеры, применяемые для измерения перемещений при раздельном испытании, должны удовлетворять аналогичным требованиям, предъявляемым к ним при испытании свай по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 5686-69.

9. Нагрузка при испытании увеличивается ступенями. Величина ступени назначается в зависимости от прочности грунта: для слабых - $0,5 \text{ кгс/см}^2$, а для плотных - до 2 кгс/см^2 .

10. Переход на следующую ступень нагрузки допускается после затухания осадки штампа и перемещения свай (колодца-оболочки).

ПРИМЕЧАНИЕ. Перемещение штампа и свай считается затухшим, если оно не превышает $0,1 \text{ мм}$ в течение 1 ч наблюдений при испытании в песчаных грунтах и в течение 2 ч - в глинистых грунтах.

11. Перемещения штампа и свай измеряются самостоятельными прогибомерами (не менее 2 шт. на каждый элемент), связанными с неподвижными реперами.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. В целях контроля необходимо установить 2 дополнительных прогибомера для измерения взаимных смещений штампа и свай.

2. При окончательной обработке данных о перемещениях необходимо учитывать деформацию сжатия колонны в зависимости от нагрузки.

12. На основании материалов испытаний строятся графики зависимости от нагрузки (рис.2):

- перемещения (извлечения) свай (колодца-оболочки) (S_0)-1,
- перемещения (осадки) штампа ($S_{ш}$) - 2,
- обобщенный график перемещения (вдавливания) свай (колодца-оболочки) - 3.

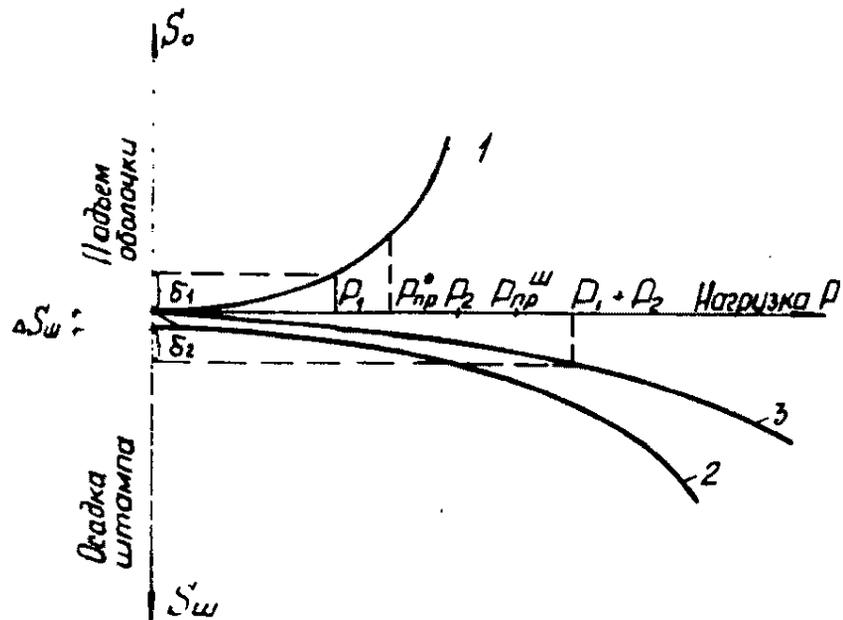


Рис. 2.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Если на графике $S_w = f(P)$ (см. рис.2) выделяется "провалом" осадка штампа на первой стадии нагрузки (ΔS_w), ее следует исключить из рассмотрения, как случайную, вызванную неплотностью песчаной подсыпки или плохим прилеганием к ней штампа.

2. Наряду с графиками "нагрузка-перемещение" строятся графики "нагрузка-время".

13. Обобщенный график 3 (см.рис.2) зависимости осадки трубчатой сваи или колодца-оболочки от нагрузки строится путем суммирования нагрузок (P_1, P_2, \dots, P_n), воспринимаемых боковой и лобовой поверхностями при одинаковых перемещениях оболочки сваи ($\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$) и штампа.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для определения нагрузки, приходящейся на полную лобовую поверхность или поверхность кольца трубчатой сваи (колодца-оболочки), необходимо величину удельного давления (среднего напряжения) под штампом умножить на соответствующую площадь подошвы испытуемой сваи (колодца-оболочки).

14. Величины предельной и расчетной несущей способности по грунту трубчатой сваи (колодца-оболочки), испытанной раздельным способом, определяются на основании рассмотрения обобщенного графика с учетом тех же критериев, которые применяются к результатам испытания свай по стандартной методике в соответствии со СНиП П-Б.5-67.

ГРАФИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ C_1, C_2, C_3

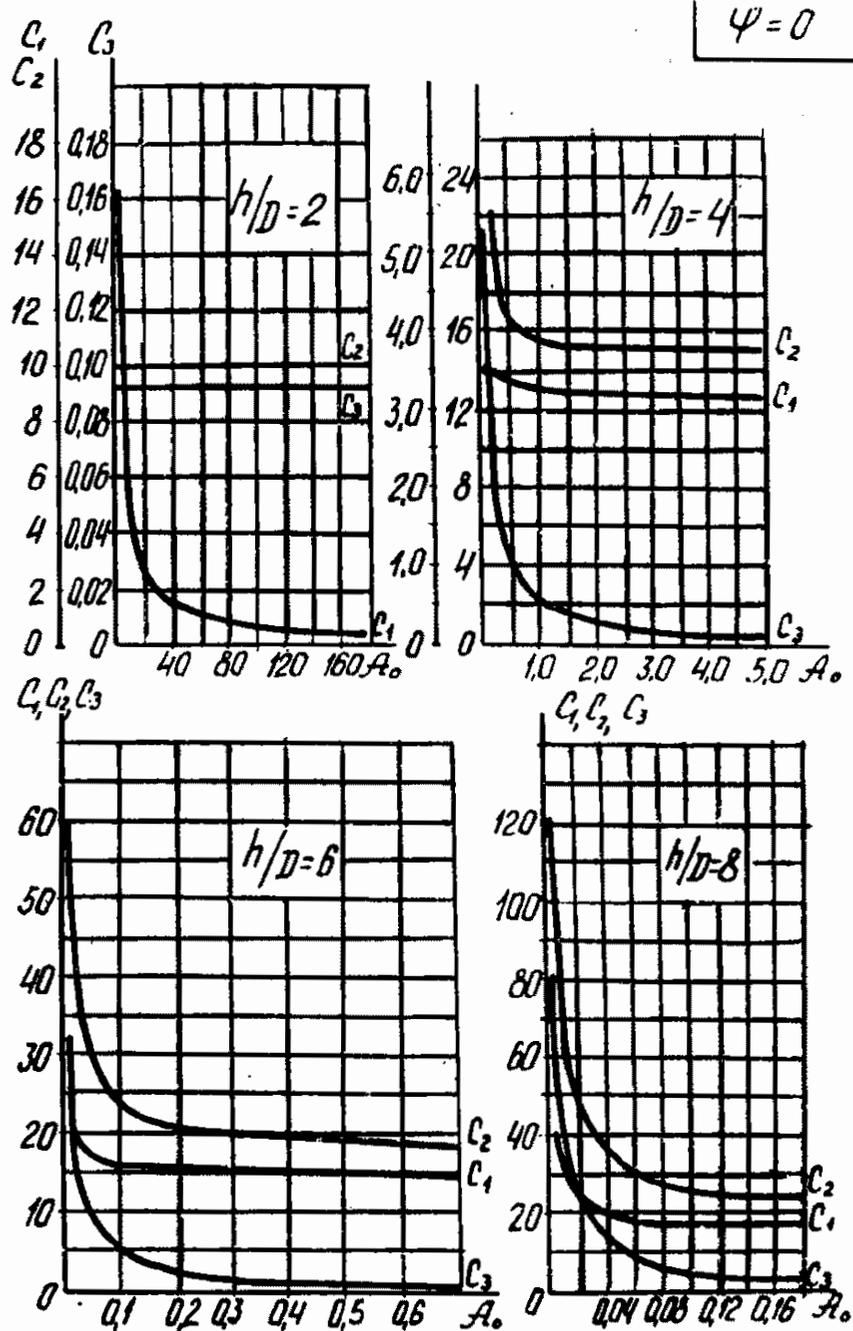


Рис. I.

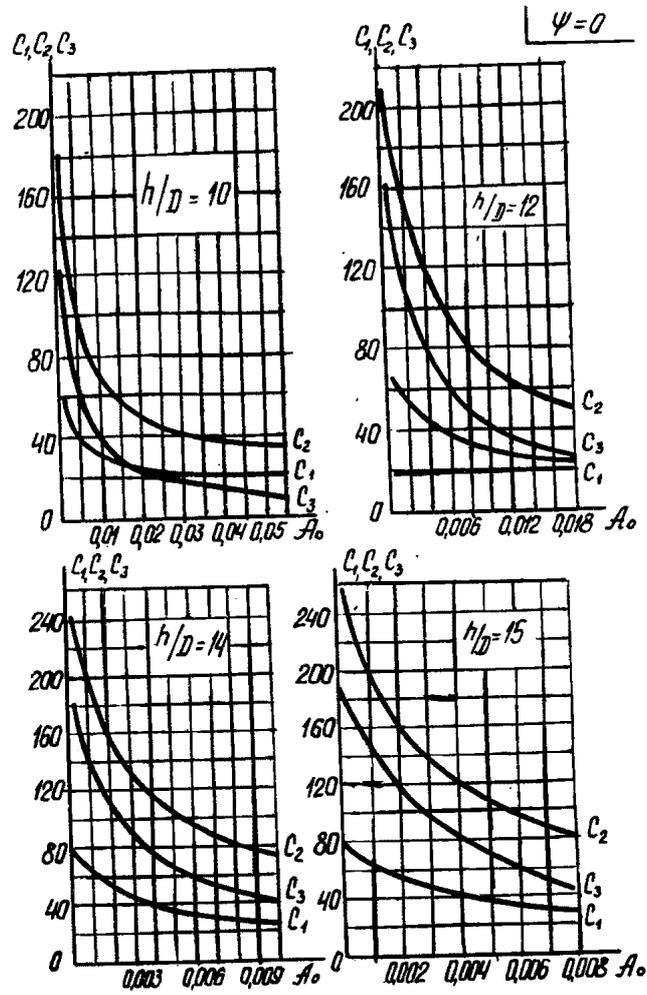


Рис. 2.

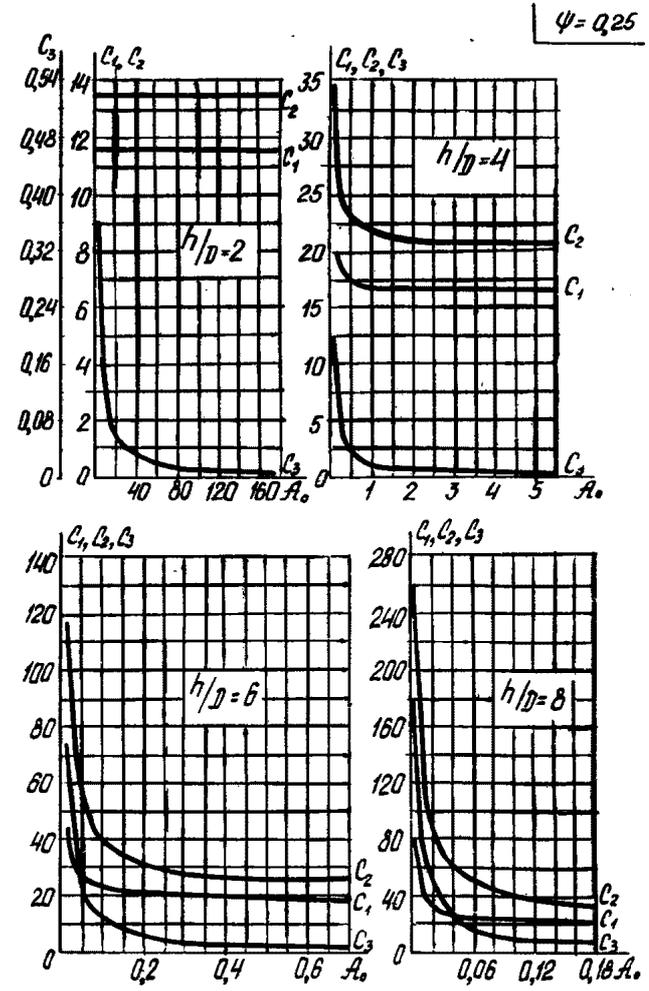


Рис. 3.

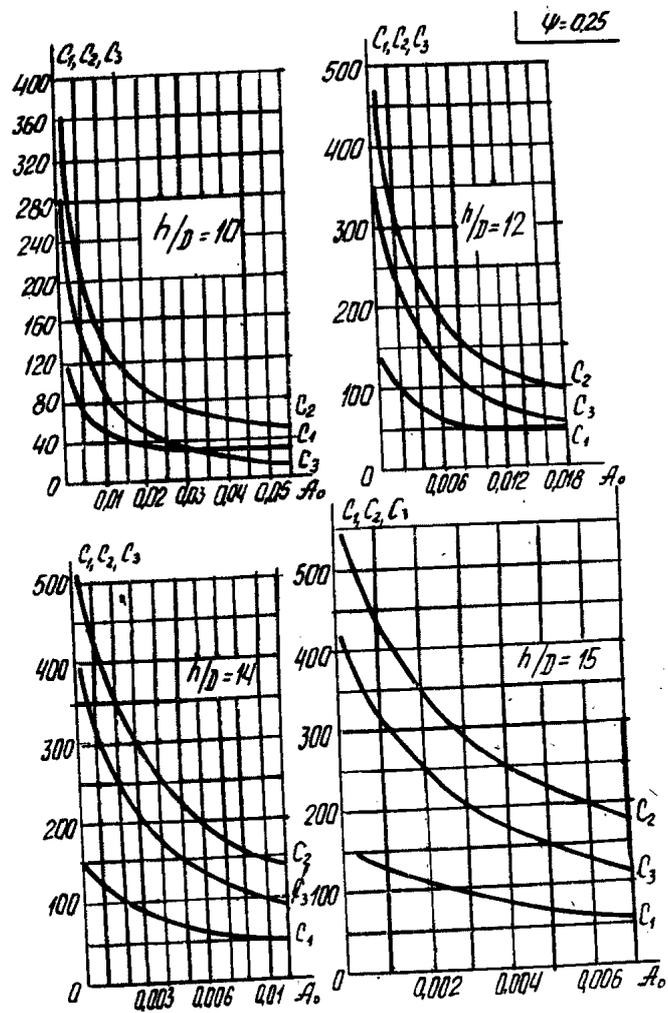


Рис. 4.

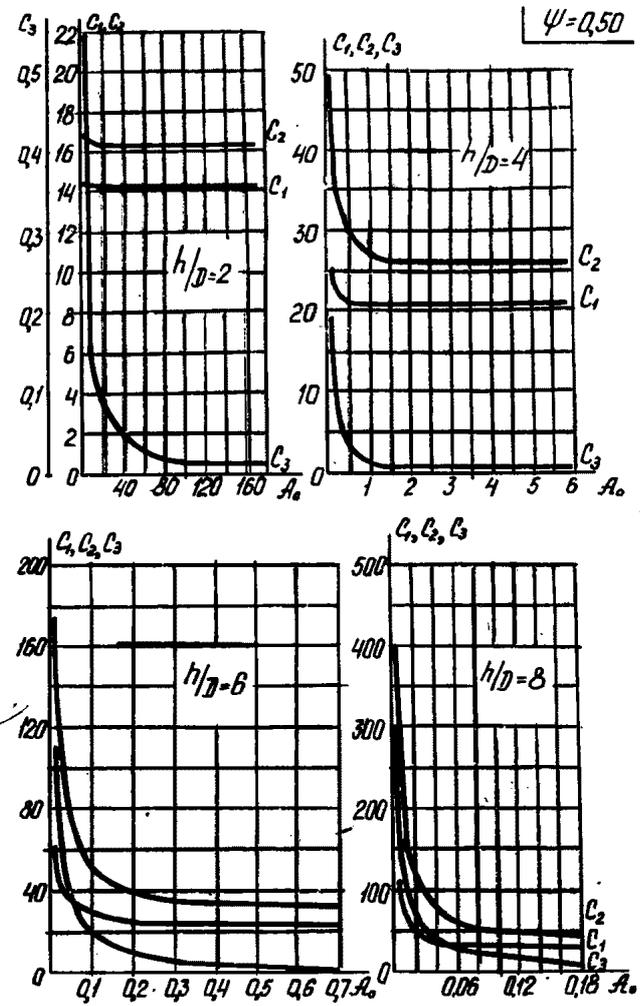


Рис. 5.

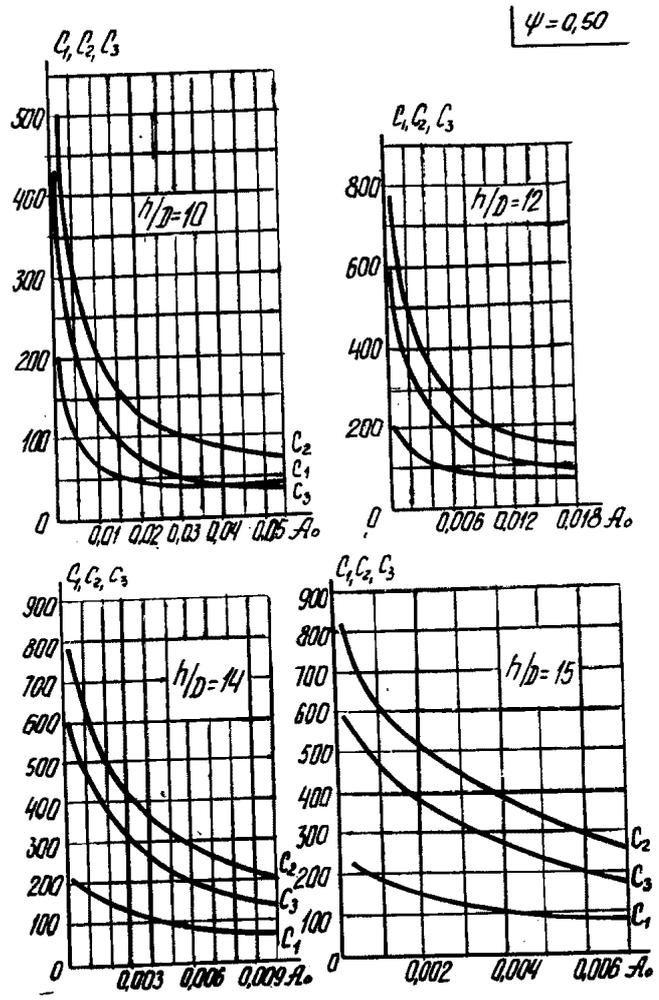


Рис. 6.

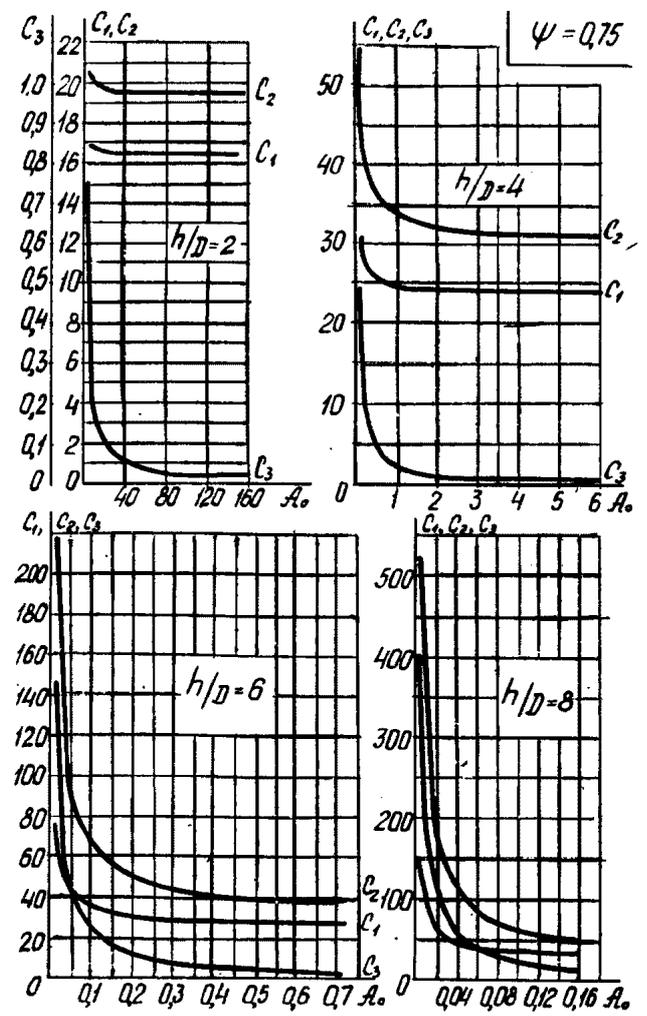


Рис. 7.

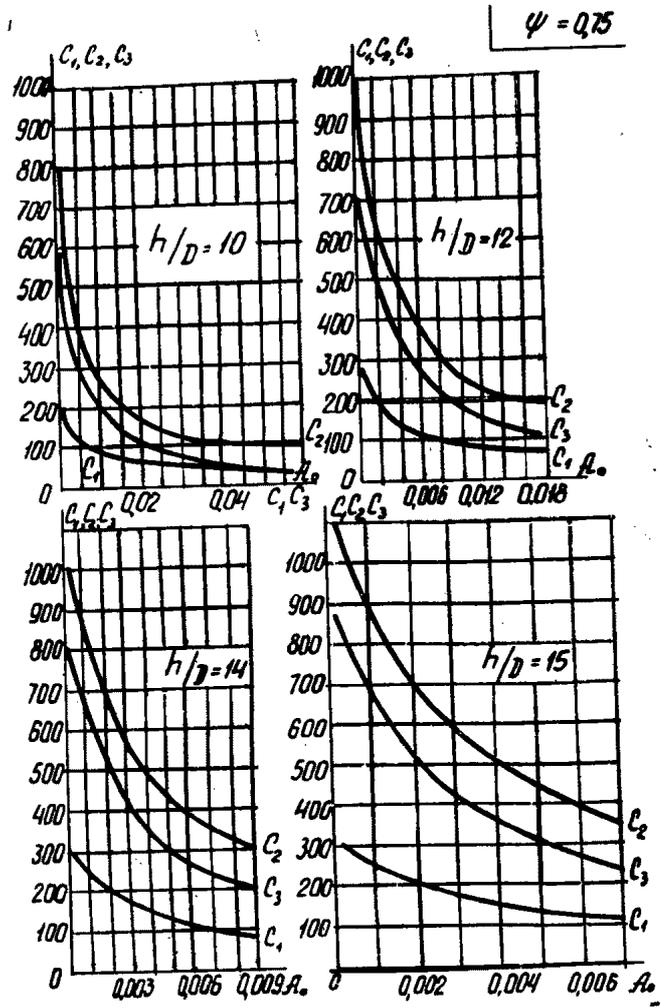


Рис. 8.

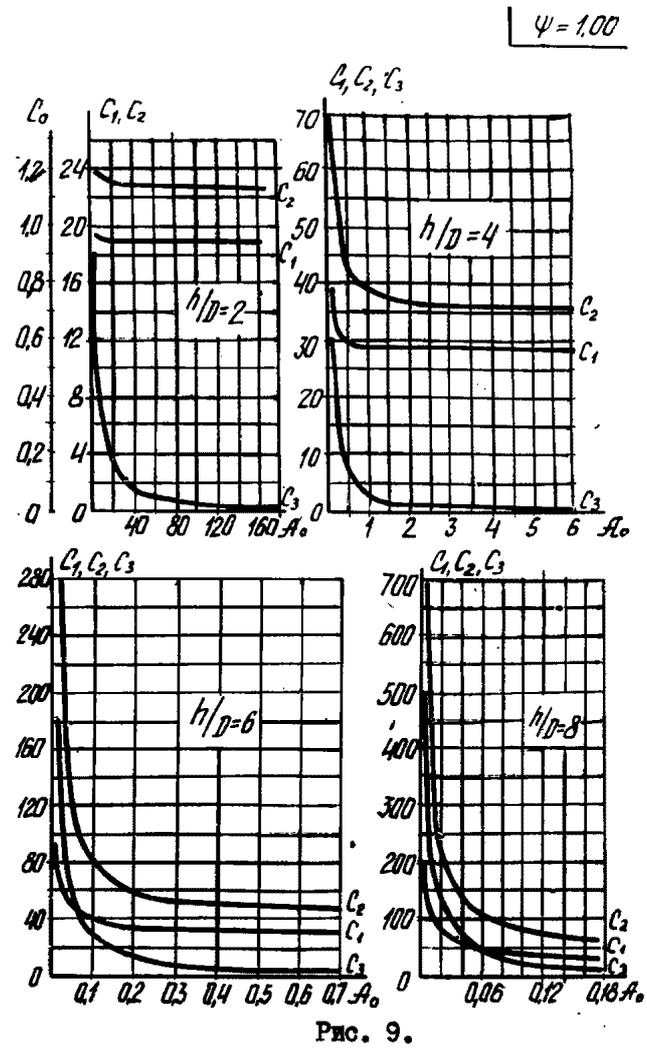


Рис. 9.

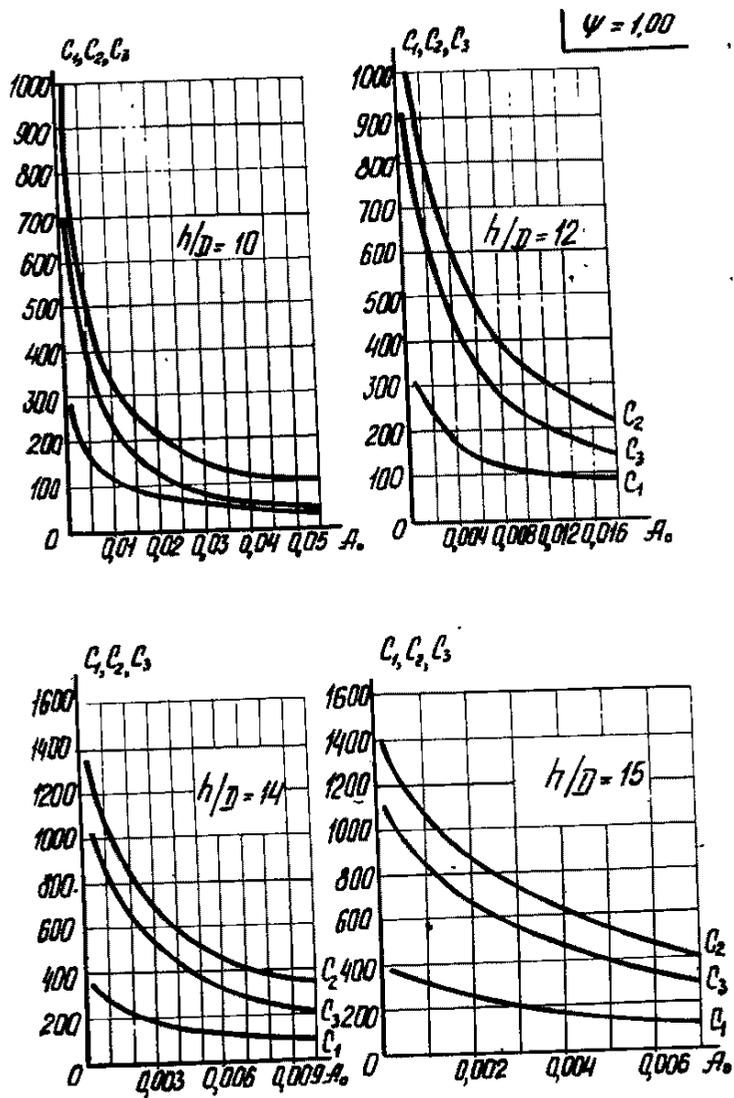


Рис. 10.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТРУБЧАТЫХ СВАЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ

А. На вертикальную нагрузку

Исходные данные

Наружный диаметр сваи $D = 1,6 \text{ м.}$
 Внутренний диаметр сваи $d = 1,36 \text{ м.}$
 Глубина забивки сваи $h = 13,16 \text{ м.}$
 Расчетная высота грунтового сердечника $h_c = 3,2 \text{ м.}$
 Грунтовые условия см. на рис. I данного приложения.

Схема к примеру расчета трубчатой сваи наружным диаметром 1,6 м.

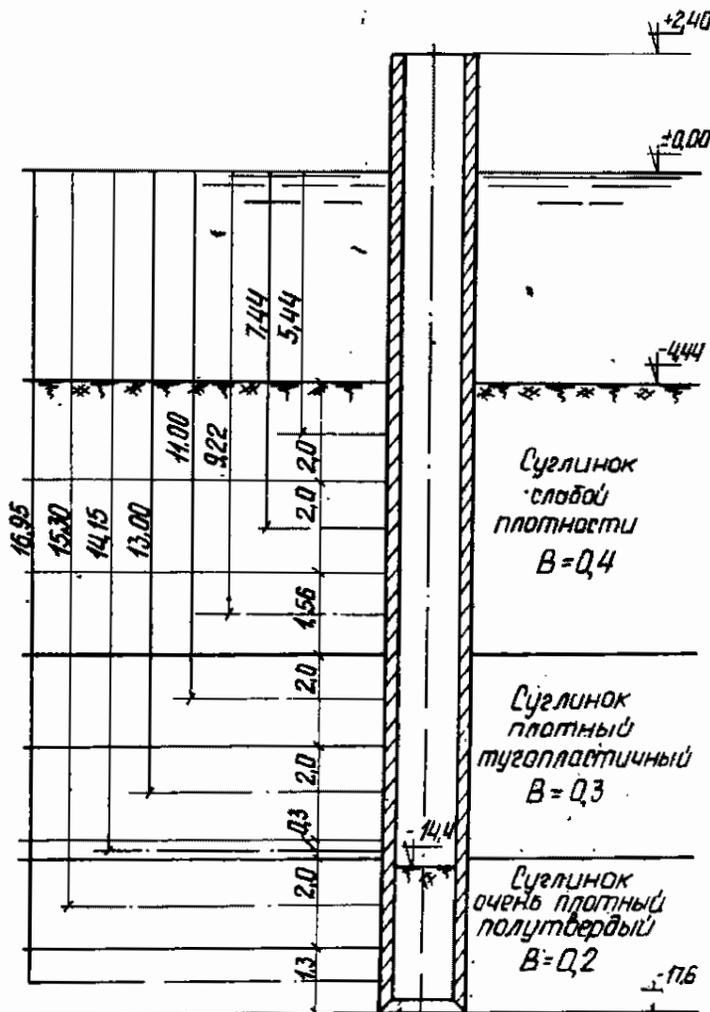


Рис. I

Погружение сваи производилось с частичной выемкой грунта размывом и оставлением на конечной стадии погружения грунтового сердечника высотой равной $2D$.

Предельная несущая способность трубчатой сваи определяется формулой:

$$P = m(U_n \sum \alpha_{ii} f_i^n h_{ni} + U_b \sum k_L \alpha_{ii} f_i^n h_{ei} + \alpha_2 F_0 R^n),$$

где $U_n = \pi D = 3,14 \times 1,6 = 5,02$ м;
 $U_b = \pi d = 3,14 \times 1,36 = 4,26$ м;

$$F_0 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14(1,6^2 - 1,36^2)}{4} = 0,556 \text{ м}^2.$$

Вычисления, необходимые для определения сопротивлений по внутренней и наружной поверхности трубчатой сваи, сводим в табл. I и 2 данного приложения.

Таблица I

Вычисление трения по внутренней поверхности сваи

Глубина середины слоя от поверхности, м	Показатель консистенции В	Толщина слоя h_{ei} , м	f_i^n , тс/м ²	α_{ii}	$\alpha_{ii} f_i^n h_{ei}$, тс/м
15,2	0,2	1,6	7,23	1,0	11,5
16,8	0,2	1,6	7,45	1,0	11,9

$$\sum \alpha_{ii} f_i^n h_{ei} = 23,4 \text{ тс/м}$$

$$0,9 \sum \alpha_{ii} f_i^n h_{ei} = 21,1 \text{ тс/м} \quad \times/$$

х/ Коэффициент 0,9 учитывает влияние подмыва

Вычисление трения по наружной поверхности сваи

Глубина середины слоя от поверхно- сти, м	Показатель консистен- ции В	Толщина слоя $h_{ни}$, м	f_i^H тс/м ²	α_{ii}	$\alpha_{ii} f_i^H h_{ни}$ тс/м
5,44	0,4	2,0	2,92	0,9	5,20
7,44	0,4	2,0	3,20	0,9	5,75
9,22	0,4	1,56	3,30	0,9	4,50
11,00	0,3	2,0	4,70	0,9	8,40
13,00	0,3	2,0	4,90	0,9	8,8
14,15	0,3	0,3	5,0	0,9	1,35
15,3	0,2	2,0	7,20	1,0	14,40
16,95	0,2	1,3	7,40	1,0	9,60

$$\sum \alpha_{ii} f_i^H h_{ни} = 58 \text{ тс/м}$$

$$0,9 \sum \alpha_{ii} f_i^H h_{ни} = 52,2 \text{ тс/м}$$

При расположении нижнего конца сваи на глубине 17,60 м по табл. I главы I настоящих указаний при В = 0,2 находим $R^H = 590 \text{ тс/м}^2$ и по табл. 3 $\alpha_2 = 1,0$.

Лобовое сопротивление по кольцевому сечению сваи $\alpha_2 f_0 R^H = 1,0 \times 0,556 \times 590 = 324 \text{ тс}$.

Расчетная предельная несущая способность сваи при $k = 1,0$ и $m = 1$ составит:

$$P_{пред}^{расч} = 5,02 \times 52,2 + 4,26 \times 21,1 + 324 = 262 + 89,6 + 324 = 675,6 \text{ тс}$$

По данным статического испытания предельная несущая способность этой сваи $P_{пред}^{исп} = 630 \text{ тс}$ (рис.2).

Свая погружена на строительстве причала в марте 1966 г., испытана статической нагрузкой в августе 1966 г.

Погружение сваи осуществлялось вибратором ВП-170 с подмывом, удалением грунта из полости сваи и оставлением грунтового сердечника высотой $h_c = 3,2 \text{ м}$.

График зависимости осадки сваи от нагрузки

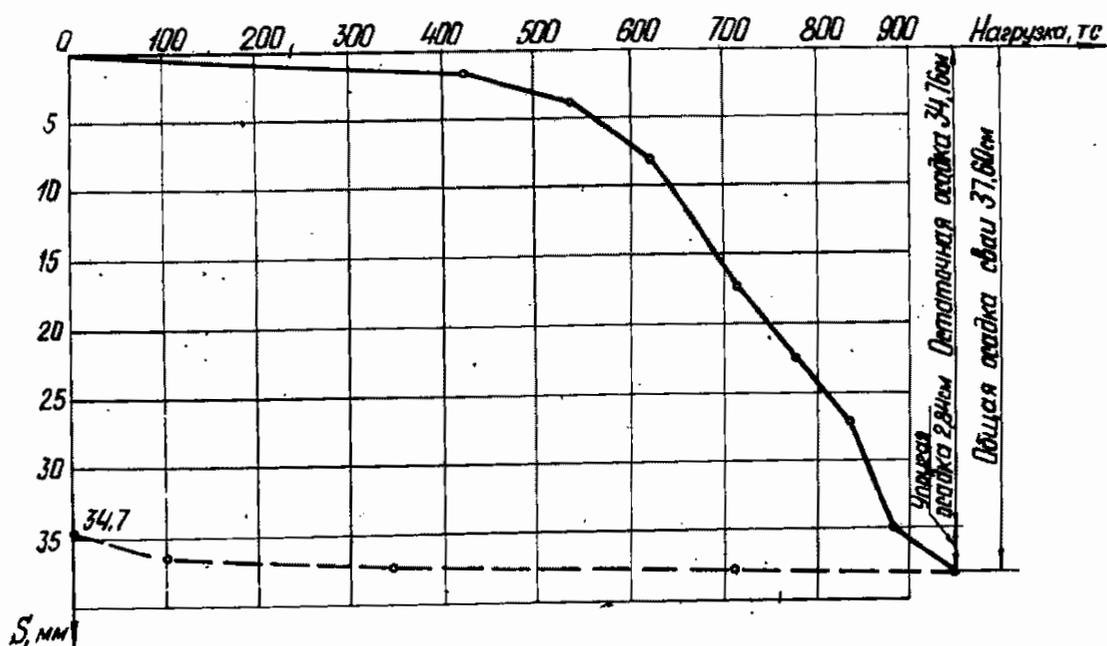


Рис. 2.

Б. На горизонтальную нагрузку

Исходные данные

Наружный диаметр сваи	$D = 1,2 \text{ м.}$
Внутренний диаметр сваи	$d = 1,0 \text{ м.}$
Модуль упругости бетона сваи	$E = 2,7 \times 10^6 \text{ тс/м}^2.$
Глубина погружения сваи	$h = 9,25 \text{ м.}$
Горизонтальная нагрузка	$P = 9,1 \text{ тс}$
Момент в голове сваи	$M_p = - 3,0 \text{ тс.м.}$
Расстояние от поверхности грунта до точки приложения горизонтальной нагрузки	$H = 1,5 \text{ м.}$
Грунтовые условия (рис.3); угол внутреннего трения (осредненный по глубине)	$\varphi = 24^\circ.$
Объемный вес грунта (под водой)	$\gamma = 1,0 \text{ тс/м}^3.$

Требуется определить расчетом необходимую глубину погружения сваи, перемещение сваи у поверхности грунта и в месте приложения горизонтальной нагрузки P , построить эпюры изгибающих

Э п ю р ы

Моментов Перерезывающих сил Напряжений Перемещений

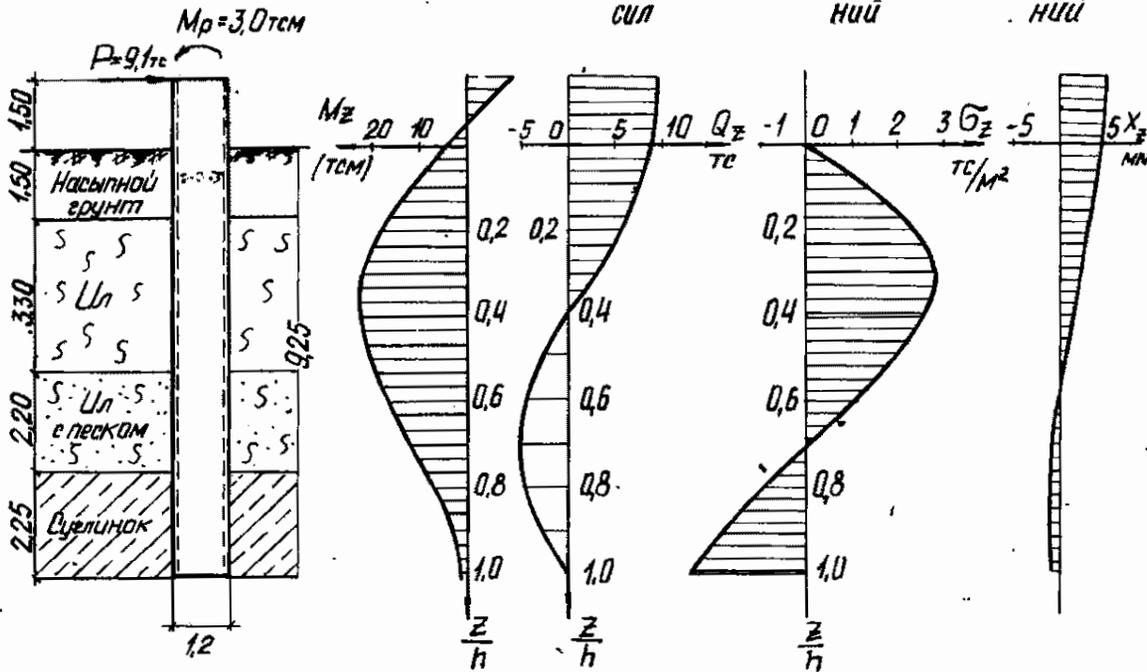


Рис. 3.

моментов M_z (в том числе определить максимальный изгибающий момент M_{max}), поперечных сил Q_z и нормальных напряжений по боковой поверхности σ_z .

Определяем жесткость сваи EJ .

Момент инерции

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{3,14(12^4 - 1)}{64} = 0,053 \text{ м}^4$$

Жесткость сваи $EJ = 2,7 \times 10^6 \times 0,053 = 1,43 \times 10^5 \text{ тс} \cdot \text{м}^2$.

По табл. 6 главы 2 данных указаний определяем K_z , осредненное по верхней трети глубины погружения сваи:

$$K_z = \frac{1,5 \times 700 + 1,6 \times 200}{3,1} = 440 \text{ тс/м}^3$$

В соответствии с п.2.13 коэффициент постели на уровне подошвы сваи $K = K_z \bar{h} = 440 \times 9,25 = 4070 \text{ тс/м}^3$.

По формуле 7 безразмерный коэффициент

$$A_0 = \frac{6EJ}{kDh^4} = \frac{6 \times 1,43 \times 10^5}{4070 \times 1,2 \times 9,25^4} = 2,4 \times 10^{-2}$$

Относительная глубина погружения сваи

$$\frac{h}{D} = \frac{9,25}{1,2} = 7,7 \approx 8.$$

Безразмерный коэффициент

$$\psi = \frac{H+H'}{h} = \frac{H+\frac{M_p}{P_r}}{h} = \frac{150 - \frac{100}{9,1}}{9,25} = 0,0433.$$

Определение коэффициентов, входящих в формулы (8), (13), (14), приведено в табл.3, а вычисление ординат эпюр M_x, Q_x и σ_x - в табл.4 и 5 (см.рис. 1,3 приложения 2). Приближенное значение M_{max} по формуле 26:

$$M_{max} = 0,26(1+3,85 \psi) P_r h = 0,26(1+3,85 \times 0,0433) \times 9,1 \times 9,25 = 25,5 \text{ тс.м.}$$

Проверяем достаточность глубины погружения сваи по формуле (3):

$$h \geq \sqrt{\frac{C_1 P_r}{8(\beta \lambda_p - \lambda_a) D}} = \sqrt{\frac{24 \times 9,1}{10(1,65 \times 2,37 - 0,42) \times 1,2}} = 7,2 \text{ м} < 9,25 \text{ м,}$$

где $\beta = 0,9(1 + \frac{1}{D}) = 0,9(1 + \frac{1}{1,2}) = 1,65;$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 12^\circ) = 0,42;$$

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = \operatorname{tg}^2(45^\circ + 12^\circ) = 2,37.$$

Перемещение у поверхности грунта (15)

$$\chi_0 = \frac{C_1 P_r}{k D h} = \frac{24 \times 9,1}{4070 \times 1,2 \times 9,25} = 4,83 \times 10^{-3} = 4,83 \text{ мм}$$

Угол поворота у поверхности грунта (16)

$$\alpha_0 = \frac{C_2 P_r}{k D h^2} = \frac{50 \times 9,1}{4070 \times 1,2 \times 9,25^2} = 1,09 \times 10^{-3}.$$

Таблица 3

Определение коэффициентов, входящих в формулы (8), (13), (14)

$\frac{h}{D}$	ψ	C_1	C_2	C_3	$\frac{3\mathcal{F}C_2}{64} \left(\frac{D}{h}\right)^2$	$\frac{\mathcal{K}C_3}{16} \left(\frac{D}{h}\right)^2$	$\frac{C_1}{6}$	$\frac{C_2}{12}$	$\frac{C_3}{20}$	$\frac{C_1}{2}$	$\frac{C_2}{3}$	$\frac{C_3}{4}$	
		(по графикам приложения 2)											
8	0,0	22	44	20									
	0,25	34	80	42									
	0,0433	24	50	28									
		(по интерполяции)			0,115	0,071	-4,00	-3,93	4,16	1,15	12	16,7	5,75

Таблица 4

Определение ординат эпюры M_z

ψ	$\frac{z}{h}$	$-\frac{3\mathcal{F}C_2(D)^2(z)^2}{64(h)^2}$	$-\frac{\mathcal{K}C_3(D)^2(z)^3}{16(h)^3}$	$\frac{C_2(z)^4}{12(h)}$	$-\frac{C_3(z)^5}{20(h)}$	$\frac{W}{I}$	$P_1 h$ (тс.м)	M_z (тс.м)
		III	IV	V	VI			
0,0433	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0433	84,2	3,64
0,0433	0,2	-0,0046	-0,0314	0,0066	-0,0004	0,214	84,2	18,0
0,0433	0,4	-0,0184	-0,2520	0,1060	-0,0118	0,267	84,2	22,5
0,0433	0,6	-0,0414	-0,8500	0,5400	-0,0895	0,202	84,2	17,0
0,0433	0,8	-0,0736	-2,0100	1,7000	-0,3770	0,083	84,2	7,0
0,0433	1,0	-0,1150	-3,9300	4,1600	-1,1500	0,008	84,2	0,67

Определение ординат эпюр Q_x и σ_x .

$\frac{x}{h}$	$-\frac{C_1(x/h)^2}{2}$	$\frac{C_2(x/h)^3}{3}$	$-\frac{C_3(x/h)^4}{4}$	$1+\frac{IV}{V}$	$\frac{Q_x}{TC}$	$C_1 \frac{x}{h}$	$-C_2 \left(\frac{x}{h}\right)^2$	$C_3 \left(\frac{x}{h}\right)^3$	$\frac{IX}{X}$	$\frac{P_r}{\frac{Dh}{TC/M^2}}$	$\sigma_x, TC/M^2$
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,0	0,0	0,0	0,0	I,0	9,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,82	0,0
0,2	-0,48	0,18	-0,01	0,64	5,87	4,8	-2,00	0,18	2,98	0,82	2,44
0,4	-1,92	1,07	-0,15	0,003	0,03	9,6	-8,00	1,47	3,07	0,82	2,52
0,6	-4,32	3,60	-0,74	-0,46	-4,23	14,4	-18,00	4,96	1,36	0,82	1,12
0,8	-7,68	8,55	-2,36	-0,49	-4,46	19,2	-32,00	11,80	-1,00	0,82	-0,82
1,0	-12,00	16,70	-5,75	-0,05	-0,46	24,00	-50,00	23,00	-3,00	0,82	-2,46

Перемещение точки приложения силы P_r (17)

$$U_H = \left[C_1 + \psi C_2 + \frac{\psi(2+3\nu)}{A_0} \right] \frac{P_r}{k D h} = \left[24 + 0,0433 \times 50 + \frac{0,0433(2-3 \times 0,733)}{0,024} \right] \times$$

$$\times \frac{9,1}{4070 \times 12 \times 9,25} = 5,27 \times 10^{-3} = 5,27 \text{ мм},$$

где $\nu = \frac{H'}{H} = \frac{M_p}{P_r H} = - \frac{100}{91 \times 15} = -0,733$.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
1. Расчет несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым нижним концом на вертикальную нагрузку	3
2. Расчет несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым нижним концом на горизонтальную нагрузку	9
 ПРИЛОЖЕНИЯ:	
1. Методика проведения статических испытаний железобетонных трубчатых свай и колодцев-оболочек на вертикальную нагрузку отдельным способом	17
2. Графики для определения коэффициентов $C_1, C_2, C_3 \dots$	21
3. Примеры расчета трубчатых свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки	31

Редактор Н.Лямина
Корректор Г.Корнеева

Л - 107449 Подп. в печать 15/XI-71 г. Тираж 1000
Объем 2,5 п. л. Уч.-изд. 2,2 л. Изд. № 5756 Зак. 353

ЛОП ЦЕНТИ Минмонтажспецстроя СССР

