

МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ СССР

ГЛАВСПЕШПРОМСТРОЙ

**ВРЕМЕННЫЕ УКАЗАНИЯ**

**ПО РАСЧЕТУ ТРУБЧАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ  
ДИАМЕТРОМ  $0,8 < D \leq 1,6$  м НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ  
И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ**

МСН 171-68

ММСС СССР

Заменен МСН 171-71

**ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Москва - 1968**

МИНИСТЕРСТВО МОНТАЖНЫХ И  
СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ С С С Р

---

ГЛАВСПЕЦПРОМСТРОЙ

ВРЕМЕННЫЕ УКАЗАНИЯ

ПО РАСЧЕТУ ТРУБЧАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ  
ДИАМЕТРОМ  $0,8 < D \leq 1,6$  м НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ  
И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ

МСН I?I-68  
ММСС СССР

Утвержденны  
Главспецпромстроем  
28 декабря 1967 г.

ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Москва - 1968

„Временные 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.

Указания составлены на основе анализа и обобщения данных многолетних исследований несущей способности трубчатых свай диаметром до 1,6 м, погружаемых с открытым нижним концом (без выемки или с частичной выемкой грунта из полости сваи), на вертикальную и горизонтальную нагрузки, выполненных во ВНИИГС и других организациях.

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

Указания составлены

к.т.н.Перлөем Е.М. и инж.Серебра А.Я.

Минмонтаж- спецстрой СССР  Главспец- промстрой	Нормы на монтажные и специаль- ные работы	МСН 171-68
	Временные указания по расчёту трубчатых железобетонных свай диаметром $0,8 \leq D \leq 1,6$ м на вертикальную и горизонтальную нагрузки	ММСС СССР

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

1.1. Расчётное сопротивление по первому предельному состоянию одиночной висячей трубчатой сваи, работающей на осевую сжимающую нагрузку  $P$  в тн, определяется как сумма расчётных сопротивлений грунтов основания под нижним концом трубчатой сваи по площади кольца и по её наружной и внутренней поверхностям по формуле:

$$P = 0,7m(\mathcal{U}_n \sum d_{ni} f_i'' h_{ni} + k\mathcal{U}_o \sum d_{oi} f_i'' h_{oi} + d_2 F R''), \quad (1.1)$$

где 0,7 - коэффициент однородности грунта;

$m$  - коэффициент условий работы, принимаемый  $m=1,0$ ;

$R''$  - нормативное сопротивление грунта под нижним концом свай в  $\text{т}/\text{м}^2$ , принимаемое по табл.1.1;

$\mathcal{U}_n$  - наружный периметр сваи в м;

$\mathcal{U}_o$  - внутренний периметр сваи в м;

ВНЕСЕНЫ Всесоюзным научно-иссле- довательским институтом гидромеханизации, сани- тарно-технических и спе- циальных строительных работ (ВНИИГС)	Утверждены Главспецпром- строем 28 декабря 1967 г.	Срок введе- ния 1 апреля 1968 г.
--	--	---

$f_i$  - нормативное сопротивление  $i$ -того слоя грунта основания по наружной и внутренней поверхности свай в  $\text{t/m}^2$ , принимаемое по табл.1.2;

$h_{ni}$  - толщина  $i$ -того слоя грунта, соприкасающегося с наружной поверхностью свай в м;

$h_{ei}$  - толщина  $i$ -того слоя грунта сердечника, соприкасающегося с внутренней поверхностью трубчатой сваи в м;

$F$  - площадь кольцевого сечения сваи в  $\text{m}^2$ ;

$d_1$  и  $d_2$  - коэффициенты, учитывающие влияние вибрационного способа погружения сваи, значения которых приведены в табл.1.3;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий сопротивление трения грунтового сердечника;

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. При погружении трубчатых свай без выемки или с частичной неодережающей выемкой грунта из полости и оставление на конечной стадии погружения грунтового сердечника высотой не менее 2-3 диаметров сваи  $D$ , высота грунтового сердечника  $\sum h_{ei}$ , вводимая в расчёт по формуле 1.1, принимается равной  $2D$ .

2. Толщины слоев грунта сердечника и глубины их заложения при определении  $f_i$  принимаются равными толщинам и заложением соответствующих наружных слоёв, проходящих сваей.

3. Коэффициент  $\beta$ , учитывающий сопротивление трения грунтового сердечника, принимается равным 1 для всех грунтов, за исключением супеси с  $B > 0$ , суглинков и глин с  $B > 0,5$ , для которых принимается  $\beta = 0$ .

Таблица 1.1.

Нормативные сопротивления грунта основания в плоскости нижних концов свай  $R''$

Глубина погружения свай от отсчётного уровня, в м	Нормативные сопротивления $R''$ в т/м <sup>2</sup> песчаных грунтов средней плотности						
	гравеллистик крупных		средн. круп- ности	мел- ких	пыле- вавых		
	глинистых грунтов консистенции В, равной						
	$\leq 0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	2	3	4	5	6	7	8
3	$\frac{750}{700}$	$\frac{650}{400}$	300	$\frac{290}{200}$	$\frac{180}{120}$	$\frac{120}{100}$	60
4	830	$\frac{660}{510}$	380	$\frac{300}{250}$	$\frac{190}{160}$	125	70
5	880	$\frac{670}{620}$	400	$\frac{310}{280}$	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

1	2	3	4	5	6	7	8
30	1420	940	740	550	370	190	130
35	1500	1000	800	600	400	200	140

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

2. Для свай, погружаемых на глубину не ме-  
нее 4 м, при наличии в основании плот-  
ных песчаных грунтов; значения  $R''$ ,  
указанные в таблице, увеличиваются на  
30%.
3. Расчётная глубина заложения подошвы  
свай для установления значения  $R''$   
определяется по указанию п.1.2.
4. Для промежуточных глубин погружения  
свай и промежуточных величин показате-  
лей консистенции В глинистых грунтов,  
определеняемых по указанию п.1.3, значе-  
ния  $R''$  вычисляются интерполяцией.

Таблица 1.2  
Нормативные сопротивления грунта основания  
на боковой поверхности свай  $f_i$

Средняя глубина распо- ложения слоя грунта в м	Нормативные сопротивления $f_i$ т/м <sup>2</sup> песчаных грунтов (для свай, забитых без подъёма)					
	крупных и средн. крупн.	мелких	пылеви- тых	-	+	-
	глинистых грунтов консистенции В, разной					
≤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

1	2	3	4	5	6	7
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	-

- ПРИМЕЧАНИЯ:
1. Для определения расчётного сопротивления грунтов основания по боковой поверхности (первый и второй члены формулы 1.1), грунты, прорезаемые сваей, расчленяются на слои с тем, чтобы каждый ~~и~~-тый слой имел толщину не более 2 м и содержал грунт одного напластования.
  2. Расчётная глубина расположения слоя при определении ~~и~~ принимается для его середины, и отсчитывается по указанию п.1.2.
  3. Для промежуточных глубин расположения ~~и~~ середин слоёв грунта и промежуточных показателей консистенции В глинистых грунтах, определяемых по указанию п.1.3, значения ~~и~~ вычисляются интерполяцией.
  4. Для торфяных грунтов сопротивление трения не учитывается ( $\mu = 0$ ); 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 др. органических включений.

5. При погружении с подмывом и последующим допогружением на конечной стадии без подмыва для всех грунтов вводится коэффициент 0,9.

1.2. За уровень отсчёта для определения глубины расположения подошвы сваи при определении  $R''$  или середины слоя при определении  $f_i''$  принимается уровень естественного рельефа или наименший уровень поверхности воды при погружении сваи на водоёме.

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

1.3. Значения показателей консистенции В определяются на основании данных лабораторных исследований образцов грунта по формуле:

$$B = \frac{W - W_p}{W_r - W_p}, \quad (1.2)$$

где:

$W$  - природная влажность,

$W_p$  - влажность на границе раскатывания,

$W_r$  - влажность на границе текучести.

1.4. Результаты расчёта несущей способности свай на вертикальную нагрузку должны быть пронесены путём натурных испытаний свай диаметром до 1,2 м статической нагрузкой по ГОСТ 5686-51, а диаметром более 1,2 м - различным способом по методике ВНИИГС. Количество свай,

Таблица I.3

Значения коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , учитывающих влияние вибрационного погружения трубчатых свай на величину сопротивления грунтов по лобовой и боковой поверхности

Коэффициент	Песок рыхлый и средней плотности		Супесь			Суглинок				Глина				
	мало-влажный	водо-насыщенный	$0 \geq V < 1$		$V > 1$	$0 < V < 0,25$	$0,25 < V < 0,5$	$0,5 < V < 0,75$	$V > 0,75$	$0 < V < 0,25$	$0,25 < V < 0,5$	$0,5 < V < 0,75$		
			$0 < V < 0,25$	$0,25 < V < 0,5$	$V > 1$	$< 0,25$	$< 0,5$	$< 0,75$		$< 0,25$	$< 0,5$	$< 0,75$		
$\alpha_1$	1	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	
$\alpha_2$	1,1	1,2	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	0,9	-	

ПРИМЕЧАНИЕ: При погружении свай ударным способом  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  принимаются разные I.

подлежащих испытаниям, должно приниматься не менее 1% от общего количества нагружаемых свай, но не менее 2 штук на сооружение. Методика раздельного испытания приводится в приложении 2.

§ 2. Расчёт несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым нижним концом на горизонтальную нагрузку<sup>x)</sup>

2.1. Указания п.п.2.2 - 2.14 распространяются на расчёт трубчатых свай, имеющих относительное заглубление в грунт  $1 \leq \frac{h}{D} \leq 15$ , где

$h$  - глубина забивки свай,

$D$  - наружный диаметр свай.

2.2. Расчёт предназначен для определения грунтовой по-гружения свай в грунт, максимального изгибающего момента, поперечной силы и прогибов свай. По величине максимально-го 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 требованиям п.2.2

2.4. Расчёт трубчатых свай на горизонтальные нагрузки следует производить, как правило, с учётом их ко-нечной жесткости.

---

x) Указания § 2 могут быть распространены на рас-чёт трубчатых свай и колодцев-оболочек диаметром до 3,0 м.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Расчёт свай как бесконечно жесткого фундамента допускается производить при относительном заглублении

$$\frac{h}{D} \leq 4 \text{ (см.п.2.14).}$$

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 (в возрасте  $t$ ) с глубиной (рис.1-а).

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

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

Здесь  $\beta$  - безразмерная величина, численное значение которой равно диаметру сваи в м;

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

2.7. Основные расчетные зависимости учитывают действие на трубчатую сваю следующих активных и реактивных сил (рис.1-б):

а) активные силы - горизонтальная нагрузка  $P_H$ , момент  $M = P_H H$  и вертикальная нагрузка  $P$ , включающая собственный вес сваи;

б) реактивные силы - нормальная к наружной боковой поверхности сваи реакция грунта ( $R_{BH}$ ), силы сопротивления сдвига по боковой поверхности ( $R_{\phi}$ ), нормальные реакции по лобовой поверхности сваи ( $R_{\phi}$ ), силы сопротивления сдвига по подошве ( $T_{\phi}$ ).

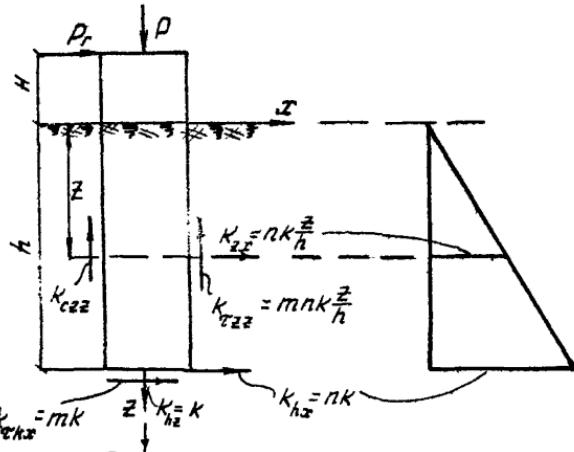


Рис. 1<sup>а</sup> Схема коэффициентов постели

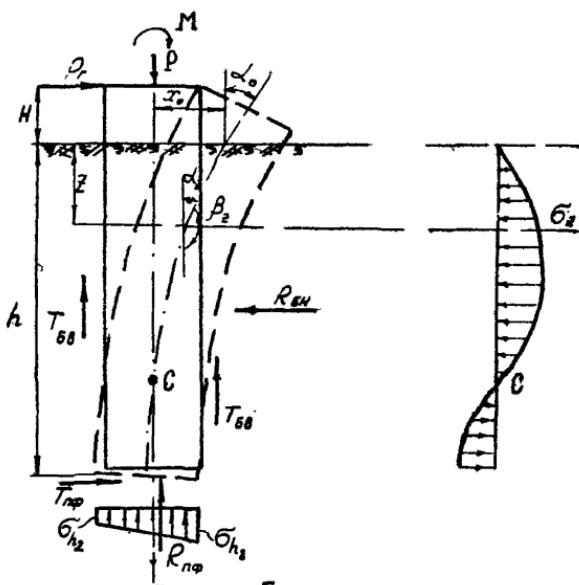


Рис. 1<sup>б</sup> Схема действия сил.

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

$$h \geq \sqrt{\frac{c_1 P_g}{\gamma(\beta \lambda_p - \lambda_a)D}} \quad (2.1)$$

где

$\beta$  - коэффициент пространственной работы трубчатой сваи в грунте, определяемый по п.2.6;

$\gamma$  - объемный вес грунта с учётом взвешивания в т/м<sup>3</sup>;

$\lambda_p$  и  $\lambda_a$  - коэффициенты пассивного и активного давления грунта с учётом сцепления;

$c_1$  - коэффициент, определяемый по формуле:

$$c_1 = \frac{B_1 + \psi B_2 + A_0(B_3 + \psi B_4)}{B_4 + A_0 B_5}, \quad (2.2)$$

где

$B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$  и  $B_{11}$  - безразмерные коэффициенты, определяемые по табл.2.1 в зависимости от отношения

$$\frac{h}{D},$$

$\psi = \frac{H}{h}$  - где  $H$  - расстояние от поверхности грунта до точки приложения горизонтальной силы в м.

$$A_0 = \frac{6EJ}{KDh^4}, \quad (2.3)$$

где

$EJ$  - жесткость сваи в т/м<sup>2</sup>;

$K$  - коэффициент постели сваи в плоскости нижнего конца в  $\text{т}/\text{м}^3$ , значение которого определяется по указанию п. 2.13.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Глубина погружения  $h$  определяется из выражения (2.1) подбором, поскольку величина  $C_1$  также зависит от  $h$ . В первом приближении величину  $h$  рекомендуется устанавливать, исходя из условия восприятия трубчатой сваей расчётной вертикальной нагрузки по формуле (1.1), а затем проверять, удовлетворяется ли условие (2.1).

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

$$\sigma_z = \frac{Z}{h} \left[ C_1 - \frac{Z}{h} (C_2 - C_3 \frac{Z}{h}) \right] \frac{P}{Dh}. \quad (2.4)$$

Средние значения напряжений по подошве определяются из выражения:

$$\sigma_{h_c} = \frac{4P}{\pi D^2 (1 + 1.5 \frac{h}{D})}. \quad (2.5)$$

Значения краевых напряжений по подошве сваи определяются из выражения:

$$\sigma_{h_{1,2}} = \frac{4}{\pi D^2} \left[ \frac{P}{1 + 1.5 \frac{h}{D}} \pm 0.4 (C_2 - 2C_3) \frac{D}{h} \right] \frac{P}{D}, \quad (2.6)$$

здесь

$P$  - вертикальная нагрузка на сваю с учётом собственного веса сваи и взвешивания.

$$C_2 = \frac{B_6 + \psi B_7 + A_6 (B_8 + \psi B_{12})}{B_4 + A_6 B_5}, \quad (2.7)$$

$$C_3 = \frac{B_8 + \psi B_{12}}{B_4 + A_6 B_5}, \quad (2.8)$$

где:

$B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}$  и  $B_{12}$  - безразмерные коэффициенты, определяемые по таблице 2.1.

Наибольшие краевые нормальные напряжения по лобовой поверхности сваи, определяемые по формуле (2.6), не должны превышать величины расчётного сопротивления грунта основания осевому сжатию:

$$|\tilde{G}_{h_{1,2}}| \leq 0.7R''$$

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

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

$$Q_z = \left\{ 1 - \frac{1}{z^2/h} \right\} \left[ 6C_1 - \frac{z}{h} (4C_2 - 3C_3 \frac{z}{h}) \right] P_r. \quad (2.9)$$

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

$$\text{где: } M_z = \left\{ 4 + \frac{z}{h} \left[ 1 - \frac{z}{h} (L_1 + L_2) \right] \right\} P_r h,$$
$$L_1 = \frac{z}{60h} \left( 10C_1 - 5C_2 \frac{z}{h} + 3C_3 \frac{z^2}{h^2} \right) u, \quad (2.10)$$

$$L_2 = \frac{\pi D}{64h^2} \left( 3C_2 - 4C_3 \frac{z}{h} \right)$$

ПРИМЕЧАНИЕ: Для построения эпюры  $\tilde{G}_z$ :  $Q_z$  и  $M_z$  рекомендуется задаваться относительной глубиной  $\frac{z}{h} = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$ .

Таблица 2.1

Значения безразмерных коэффициентов  $B$  при  $\lambda = 1,0$ ;  $m = 0,25$ 

$\frac{h}{D}$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$	$B_{11}$	$B_{12}$
1	0,34246	0,96293	9,34990	0,03808	1,69685	1,00648	4,80158	9,23330	0,70305	4,00925	9,19990	10,90000
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	0,35273	4,60120	0,00275	0,40246	0,31889	1,35038	5,30000	0,21785	1,00202	5,28880	6,96660
4	0,08072	0,29843	4,05120	0,00166	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	0,24509	0,18353	0,79312	3,31670	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	4,07060	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	3,92380	0,10298	0,47964	3,92000	5,59000
11	0,04139	0,16325	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

Примечание: Всё приведенные здесь величины коэффициентов увеличены в 10 раз, что не  
сказывается на результате расчёта параметров  $x_*$  и  $\alpha_*$ .

2.12. Перемещение и угол поворота трубчатой сваи у поверхности грунта определяются по формулам:

$$x_o = C_1 \frac{P}{K D h}, \quad (2.11)$$

$$\alpha_o = C_2 \frac{P}{K D h^2}; \quad (2.12)$$

Здесь  $x_o$  - перемещение у поверхности грунта;

$\alpha_o$  - угол поворота там же.

Перемещение  $U_n$  сваи в месте приложения силы  $P$  определяется из выражения:

$$U_n = x_o + \alpha_o H + \frac{PH^3}{3EI}. \quad (2.13)$$

2.13. Коэффициенты постели  $K$  грунта на уровне подошвы сваи, которые используются в расчёте, определяются с помощью таблицы 2.2, в которой приводятся значения коэффициентов постели  $K_1$  для грунта, расположенного на глубине 1 м от дневной поверхности:

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

где  $\bar{h}$  - численное значение глубины заложения сваи

$$(\bar{h} = \frac{h}{1 \text{ м}}).$$

Таблица 2.2

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

Наименование и характеристика грунтов	$K_1, \text{ т/м}^3$
1	2
Текучепластичные глины и суглинки; илы ( $0,75 < B < 1$ )	200

1	2
Мягкопластичные суглинки; супеси и глины ( $0,5 < B < 0,75$ )	400
Тугопластичные суглинки, супеси и глины ( $0,25 < B < 0,5$ ), пески мелкие и средние	700
Полутвердые супеси, суглинки и глины ( $0 < B < 0,25$ ), пески разнозернистые	1000
Твёрдые суглинки, супеси и глины ( $B < 0$ ), пески крупнозернистые	1500
Пески гравелистые, грунты крупнообломочные	2000

ПРИМЕЧАНИЕ: При напластовании неоднородных грунтов по глубине сваи для определения расчетного коэффициента постели рекомендуется принять средневзвешенное его значение, определенное по грунтам, расположенным в нижней трети глубины залегания, считая от подошвы сваи.

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

В этом случае безразмерные коэффициенты имеют следующие значения:

$$C_1' = \frac{B_s + \gamma B_n}{B_s}, \quad (2.14)$$

$$C_2' = \frac{B_s + B_n}{B_s}. \quad (2.15)$$

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

$$x'_o = \frac{c'_1 \cdot p}{\kappa D h}, \quad (2.16)$$

$$\alpha'_o = \frac{c'_2 \cdot p}{\kappa D h^2}. \quad (2.17)$$

Формулы для определения изгибающих моментов, попечечных и нормальных напряжений соответственно:

$$M_z = \left\{ \Psi + \frac{z}{h} \left[ 1 - \frac{z}{h} (L'_1 + L'_2) \right] \right\} P_r h, \quad (2.18)$$

где:

$$L'_1 = \frac{1}{12} \frac{z}{h} (2C'_1 - C'_2 \frac{z}{h}),$$

$$L'_2 = \frac{3\pi}{64} \left( \frac{D}{h} \right)^2 C'_2,$$

$$Q_z = \left[ 1 - \frac{1}{8} \left( \frac{z}{h} \right)^2 (3C'_1 - 2C'_2 \frac{z}{h}) \right] P_r, \quad (2.19)$$

$$C'_2 = \frac{z}{h} \left( C'_1 - \frac{z}{h} C'_2 \right) \frac{P_r}{D h}. \quad (2.20)$$

ПРИЛÉЧАНИЯ: 1. Параметры  $C'_1$ ,  $C'_2$ ,  $x'_o$ ,  $\alpha'_o$  и т.д. относятся к абсолютно-жестким сваям ( $EJ = \infty$ ).

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

$$M_{max} = 0,26 / \left( 1 + 3,85 \frac{H}{h} \right) P_r h.$$

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.

## Приложение 1.

### ПРИМЕРЫ РАСЧЁТА ТРУБЧАТЫХ СВАЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ

#### A. На вертикальную нагрузку

Наружный диаметр сваи  $D = 1,6 \text{ м}$

Внутренний диаметр сваи  $d = 1,36 \text{ м}$

Глубина забивки сваи  $h = 13,16 \text{ м}$

Расчётная высота грунтового

сердечника  $- h_c = 3,2 \text{ м}$

Грунтовые условия см. рис. 1

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

Предельная несущая способность трубчатой сваи определяется формулой:

$$P = m \left( U_n \sum L_i f_i'' h_{n_i} + k U_s \sum L_i f_i'' h_{c_i} + d_2 F R'' \right),$$

где:  $U_n = \pi D = 3,14 \times 1,6 = 5,02 \text{ м}$ ,

$$U_s = \pi d = 3,14 \times 1,36 = 4,26 \text{ м},$$

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

Вычисления, необходимые для определения сопротивлений по наружной и внутренней поверхности трубчатой сваи, сводим в нижеследующие таблицы:

Схема к примеру расчета трубчатой сваи диаметром 16 м

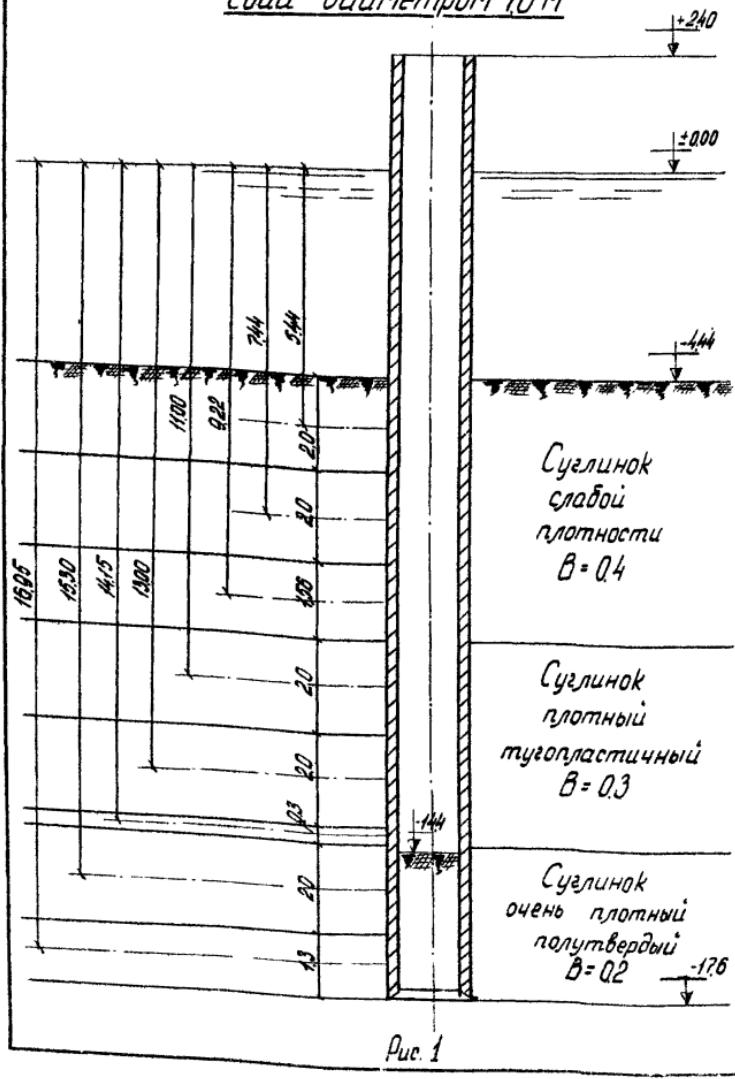


Рис. 1

в) Трение по внутренней поверхности свай.

Глубина середины слоя от поверхности, м	Показатель консистенции В	Толщина слоя $h_i''$ м	$f_i''$ т/м <sup>2</sup>	$d_i$	$d_i f_i'' h_i''$ т/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

$$\sum d_i f_i'' h_i'' = 23,4 \text{ т/м}$$

$$0,9 \sum d_i f_i'' h_i'' = 21,1 \text{ т/м}^X$$

б) Трение по наружной поверхности свай

Глубина середины слоя от поверхности, м	Показатель консистенции В	Толщина слоя $h_{ni}$ м	$f_i''$ т/м <sup>2</sup>	$d_i$	$d_i f_i'' h_{ni}$ т/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

$$\sum d_i f_i'' h_{ni} = 58 \text{ т/м}$$

$$0,9 \sum d_i f_i'' h_{ni} = 0,9 \cdot 58 = 52,2 \text{ т/м} .$$

Коэффициент 0,9 учитывает влияние подмыва.

График зависимости осадки свай от нагрузки на причале МДК (Архангельск)

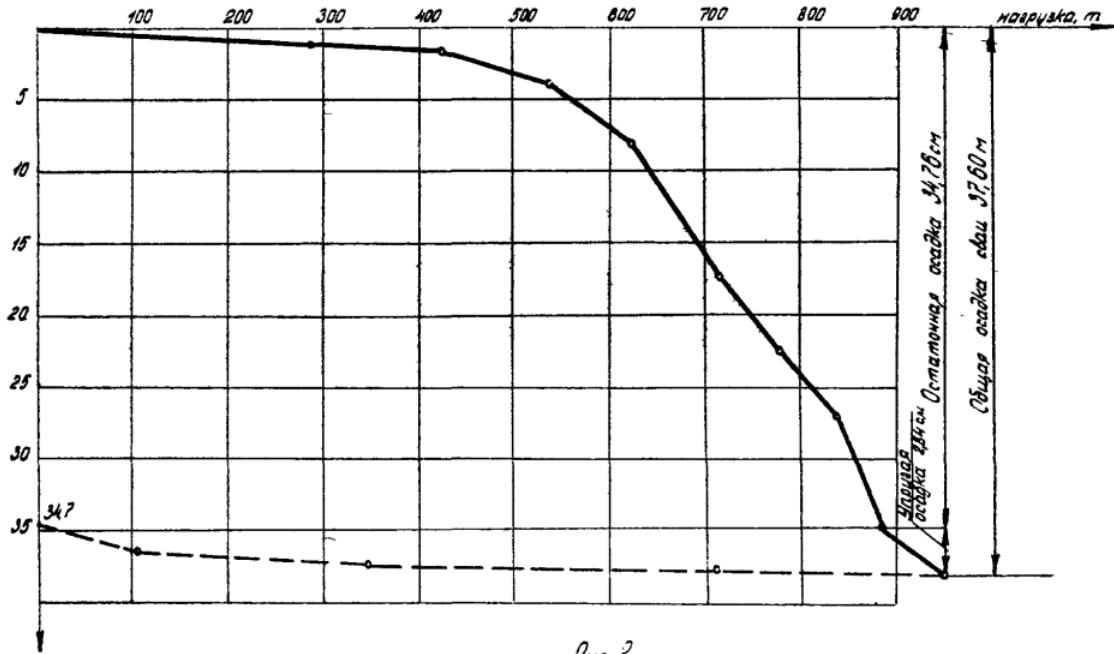


Рис. 2

При расположении нижнего конца сваи на глубине 17,60 м по таблице 1.1 при  $B = 0,2$  находим:

$$R'' = 590 \text{ т/м}^2 \text{ и по табл. 1.3 } \alpha_2 = 1,0.$$

Лобовое сопротивление по кольцевому сечению сваи  $\alpha_2 F_c R'' = 1,0 \times 0,556 \times 590 = 324 \text{ т.}$

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

$$\begin{aligned} P_{\text{расч. пред.}} &= 5,02 \times 52,2 + 4,26 \times 21,1 + 324 = 262 + 89,6 + 324 = \\ &= 675,6 \text{ т.} \end{aligned}$$

По данным статического испытания предельная несущая способность этой сваи  $P_{\text{исп. пред.}} = 630 \text{ т/см.рис. 2/}.$

Своя погружена на строительстве причала Цигломенского ЛДК в г. Архангельске в марте 1966 года, испытана статической нагрузкой в августе 1966 г.

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

#### 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

$$E = 2,7 \times 10^6 \text{ т/м}^2$$

Глубина погружения сваи

$$h = 9,25 \text{ м}$$

Горизонтальная нагрузка

$$F_H = 9,1 \text{ т}$$

Расстояние от поверхности грунта до точки приложения горизонтальной нагрузки

$$H = 1,5 \text{ м}$$

$$\text{Безразмерный коэффициент } \psi = \frac{H}{h} = \frac{1,5}{9,25} = 0,162$$

Грунтовые условия:

$$\text{Угол сдвига (осредненный по глубине)} \quad \varphi = 24^\circ$$

$$\text{Объемный вес грунта (под водой)} \quad f = 1,0 \text{ т/м}^3$$

$$\text{По табл. 2.2 принимаем } K_1 = 700 \text{ т/м}^3.$$

В соответствии с п. 13 коэффициент горизонтальной постели на уровне подошвы сваи  $K = K_1 \cdot h = 700 \times 9,25 = 6500 \text{ т/м}^3$ .

Требуется определить расчётом: необходимую глубину погружения сваи, перемещения сваи у поверхности грунта и в месте приложения горизонтальной силы  $P$ , построить эпюры изгибающих моментов  $M_z$  (в том числе определить максимальный изгибающий момент  $M_{max}$ ), поперечных сил  $Q_z$ , нормальных напряжений по боковой поверхности  $G_z$ .

Определяем жесткость сваи  $EJ$ .

$$\text{Момент инерции } J = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} = \frac{3,14(1,2^4 - 1^4)}{64} = 0,0533 \text{ м}^4.$$

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

Для определения безразмерных коэффициентов  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  предварительно вычисляем:

относительную глубину погружения сваи

$$\frac{h}{D} = \frac{9,25}{1,2} = 8 \text{ (округляем до ближайшего целого).}$$

По формуле (2.3) безразмерный коэффициент

$$A_o = \frac{6 EJ}{K D h^4} = \frac{6 \times 1,43 \times 10^5}{6500 \times 1,2 \times 9,25^4} = 1,5 \times 10^{-2}$$

Вычисляем коэффициенты  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  по формулам (2.2);

$$2.7; 2.8), \text{ пользуясь табл. 21 для } \frac{h}{D} = 3.$$

Для упрощения вычислений числители и знаменатели выражений для  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  увеличиваем в 100 раз.

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{B_1 + \gamma B_2 + A_0(B_3 + \gamma B_{12})}{B_4 + A_0 B_5} = \\ &= \frac{4,832 + 0,162 \times 13,808 + 1,5(3,2554 + 0,162 \times 4,067)}{0,069 + 1,5 \times 0,21235} = \frac{13,749}{0,387} = 35,5, \\ C_2 &= \frac{B_1 + \gamma B_2 + A_0(B_3 + \gamma B_{12})}{B_4 + A_0 B_5} = \\ &= \frac{15,726 + 0,162 \times 68,255 + 1,5(4,071 + 0,162 \times 5,738)}{0,587} = 88,6, \\ C_3 &= \frac{B_1 + \gamma B_2}{B_4 + A_0 B_5} = \frac{11,276 + 0,162 \times 52,277}{0,387} = 51,0. \end{aligned}$$

Проверяем достаточность глубины погружения свай по формуле (2.1).

$$h \geq \sqrt{\frac{C_f P}{f(\beta J_p - J_a) D}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 9,1}{1 \cdot [0,9/(1+0,2)] \cdot 2,37 - 0,42] \cdot 12}} = 8,8 \text{ м} < 9,25 \text{ м}.$$

Здесь  $\beta = 0,9 (1 + \frac{1}{D})$  - коэффициент пространственной работы трубчатой сваи (п.6),

$J_p = 2,37$  - коэффициент отпора грунта при  $\varphi = 24^\circ$ ,

$J_a = 0,42$  - коэффициент распора грунта при  $\varphi = 24^\circ$ .

Перемещение у поверхности грунта (2.11)

$$x_0 = \frac{C_f P}{K D h} = \frac{35,5 \times 9,1}{6500 \times 1,2 \times 9,25} = 4,9 \times 10^{-3} \text{ м} = 4,9 \text{ мм}.$$

Угол поворота у поверхности грунта (2.12)

$$\alpha_0 = C_2 \frac{P}{K D h^2} = \frac{88,6 \times 9,1}{6500 \times 1,2 \times 9,25^2} = 1,2 \times 10^{-3}$$

Перемещения точки приложения силы (2.13)

$$U_h = X_0 + \alpha_0 H + \frac{P_r H^3}{3EJ} = 4,5 + 1,2 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 10^3 + \\ + \frac{9,1 \times 1,5^3 \times 10^8}{3 \times 1,43 \times 10^5} = 6,37 \text{ мм.}$$

(замеренное при испытании перемещение было равно 5,3 мм).

Изгибающие моменты по глубине свай определяются по формуле (2.10).

$$M_z = \left\{ \Psi + \frac{z}{h} \left[ 1 - \frac{z}{h} (L_1 + L_2) \right] \right\} P_r h,$$

$$L_1 = \frac{1}{60} \frac{z}{h} \left[ 10C_1 - 5C_2 \frac{z}{h} + 3C_3 \left( \frac{z}{h} \right)^2 \right] =$$

$$= \frac{1}{60} \frac{z}{h} \left[ 10 \cdot 35,5 - 5 \cdot 88,6 \frac{z}{h} + 3 \cdot 51 \left( \frac{z}{h} \right)^2 \right] =$$

$$= \frac{z}{h} \left[ 59 - 7,4 \frac{z}{h} + 2,55 \left( \frac{z}{h} \right)^2 \right],$$

$$L_2 = \frac{\pi}{64} \left( \frac{P}{h} \right)^2 \left( 3C_2 - 4C_3 \frac{z}{h} \right) = \frac{3,14}{64} \left( \frac{12}{9,25} \right)^2 \left( 3 \cdot 88,6 - 4 \cdot 51 \frac{z}{h} \right) = 0,22 - 0,17 \frac{z}{h}.$$

Перерезывающие силы по длине свай определяются по формуле (2.9)

$$Q_z = \left\{ 1 - \frac{1}{12} \left( \frac{z}{h} \right)^2 \left[ 6C_1 - \frac{z}{h} (4C_2 - 3C_3 \frac{z}{h}) \right] \right\} P_r =$$

$$= \left\{ 1 - 0,5C_1 \left( \frac{z}{h} \right)^2 \left[ 1 - 0,667 \frac{C_2}{C_1} \frac{z}{h} \left( 1 - 0,75 \frac{C_3}{C_2} \frac{z}{h} \right) \right] \right\} P_r =$$

$$= \left\{ 1 - 0,5 \cdot 35,5 \left( \frac{z}{h} \right)^2 \left[ 1 - 0,667 \frac{88,6}{35,5} \frac{z}{h} \left( 1 - 0,75 \frac{51,0}{88,6} \frac{z}{h} \right) \right] \right\} 9,1 =$$

$$= \left\{ 1 - 17,75 \left( \frac{z}{h} \right)^2 \left[ 1 - 1,665 \frac{z}{h} \left( 1 - 0,431 \frac{z}{h} \right) \right] \right\} 91.$$

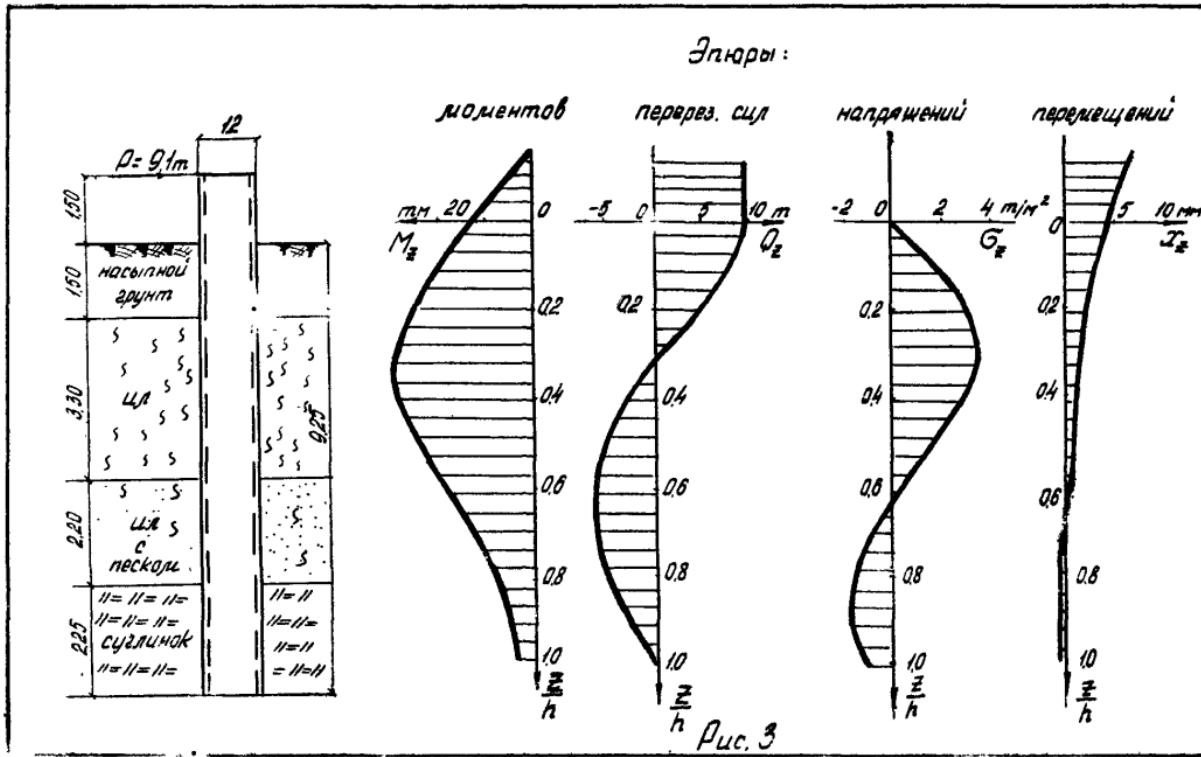
Нормальные напряжения по боковой поверхности сви определяются по формуле (2.4):

$$\begin{aligned} G_z &= \frac{z}{h} \left[ C_1 - \frac{z}{h} \left( C_2 - C_3 \frac{z}{h} \right) \right] \frac{\rho}{Dh} = C_1 \frac{z}{h} \left[ 1 - \frac{C_2 z}{C_1 h} \left( 1 - \frac{C_3 z}{C_1 h} \right) \right] \times \\ &\times \frac{\rho}{Dh} = 35,5 \frac{z}{h} \left[ 1 - \frac{88,6}{35,5} \frac{z}{h} \left( 1 - \frac{510 z}{88,6 h} \right) \right] \frac{91}{12 \cdot 9,25} = 29,1 \frac{z}{h} \left[ 1 - \right. \\ &\left. - 2,5 \frac{z}{h} \left( 1 - 0,575 \frac{z}{h} \right) \right]. \end{aligned}$$

Результаты вычисления  $M_z$ ,  $G_z$ ,  $Q_z$  приведены в нижеследующей таблице. (Эпюры см. рис. 3).

$\frac{z}{h}$	$M_z$ , тм	$Q_z$ , т	$G_z$ , т/м <sup>2</sup>
0,0	13,6	9,1	0,00
0,2	26,8	4,6	3,25
0,4	27,1	- 2,5	2,70
0,6	16,9	- 5,9	0,34
0,8	5,6	- 3,9	- 1,80
1,0	2,4	0,5	- 1,72

Максимальный изгибающий момент (по расчёту  $M_{max} = 29$  тм). По данным испытаниям  $M_{max} = 64$  тм.



## Приложение 2

### МЕТОДИКА

#### 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 на основании результатов испытания сваи (колодца-оболочки) на извлечение, а по лобовой - 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 устанавливается проектом в соответствии с требованиями СНиП П.Б-5-67.

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 ведущего усилия оболочке.

- ПРИМЕЧАНИЯ:**
1. Диаметр штампа рекомендуется принимать на 5-10 см меньше внутреннего диаметра сваи (колодца-оболочки).
  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 существенно меньше сопротивления грунта под штампом, для увеличения нагрузки на штамп рекомендуется предусмотреть дополнительную пригрузку (7) соответствующего веса на упругую балку (5).
  4. Анкерные тяги (6) крепятся к арматуре или стальному венцу верхней секции используемой оболочки (1) на сварке и к упорной балке (5) - гайками.
  5. В качестве упорной балки (5) 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 должны быть предусмотрены стальные зажимы для детали. При соединении должна быть обеспечена параллельность плоскости нижней поверхности штампа с осью колонны.

6. Порядок монтажа установки для раздельного испытания следующий:

- 1) устанавливается и выверяется штамп с колонной;

- 2) устанавливаются домкраты на верх колонны;
- 3) устанавливается анкерная балка и соединяется анкерными тягами со сваей (колодцем-оболочкой);
- 4) монтируется реперная система.

7. В процессе испытания одновременно проводятся измерения перемещений сваи (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 5686-51.

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

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

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Перемещение штампа и сваи считается затухающим, если оно не превышает  $0,1 \text{ мм}$  в течение 1 часа наблюдений при испытании в песчаных грунтах и в течение 2 часов - в глинистых грунтах.

11. Перемещения штампа и сваи 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 сваи.

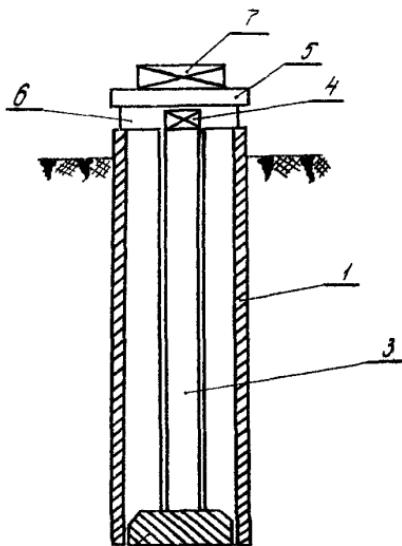


Рис. 1

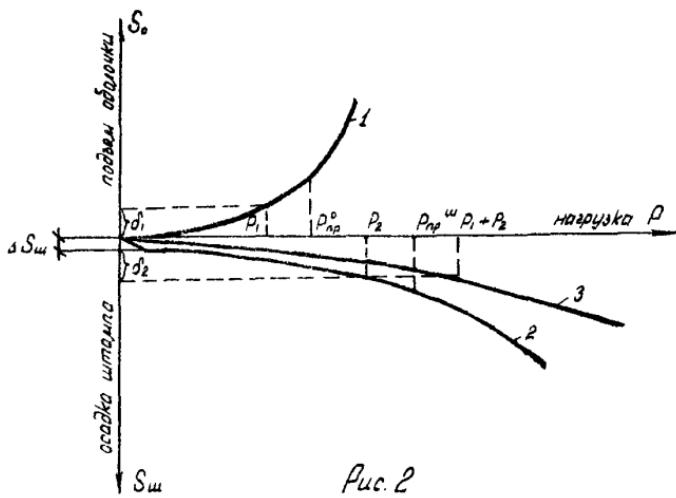


Рис. 2

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

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

а) перемещения (извлечения) свай (колодца-оболочки) ( $\Delta S_o$ ) - 1;

б) перемещения (осадки) штампа ( $\Delta S_m$ ) - 2;

в) обобщенный график перемещения (вдавливания) свай (колодца-оболочки) - 3.

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Если на графике  $S_m = f(P)$  выделяется "провалом" осадка штампа на первой стадии нагрузки ( $\Delta S_m$ ) на рис.2, её 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) 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 кольца трубчатой сваи (колодца-оболочки), необходимо величину удельного давления (среднего напряжения) под штампом умножить на соответствующую площадь подошвы испытуемой сваи (колодца-оболочки).

14. Определение величин предельной и расчётной несущей способности трубчатой сваи (колодца-оболочки) по грунту, испытанной раздельным способом, производится на основании рассмотрения обобщенного графика с учётом тех же критериев, которые применяются к результатам испытаний свай по стандартной методике в соответствии со СНиП П.Б.5-67.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

1.1. Расчёт несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым ниж- ним концом на вертикальную нагрузку . . . . .	3
2.1. Расчёт несущей способности трубчатых железобетонных свай с открытым нижним концом на горизонтальную нагрузку . . . . .	10

### ПРИЛОЖЕНИЯ:

1. Примеры расчёта трубчатых свай на вертикал- ную и горизонтальную нагрузки . . . . .	20
2. Методика проведения статических испыта- ний железобетонных трубчатых свай и ко- лодцев-оболочек на вертикальную нагрузку раздельным способом . . . . .	30

Л -9848/ Подп. в печать 2/Р-68, Тираж 500 Объем 2,25 п.л.  
Уч.изд. I,9 л. Изд. № 4224 Зак.68

---

Лоп ЦБТИ Минмонтажспецстроя СССР