



**НИИОСП**

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
ИМЕНИ Н.М. ГЕРСЕВАНОВА  
ГОССТРОЯ СССР

**РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
ФУНДАМЕНТОВ  
ИЗ НАБИВНЫХ СВАЙ  
ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,  
ВОЗВОДИМЫХ  
В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ**

МОСКВА-1980

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
ИМЕНИ Н.М. ГЕРСЕВАНОВА  
ГОССТРОЯ СССР

**РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
ФУНДАМЕНТОВ  
ИЗ НАБИВНЫХ СВАЙ  
ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,  
ВОЗВОДИМЫХ  
В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ**

"Рекомендации по проектированию фундаментов из набивных свай для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" разработаны докт. техн. наук В.А.Ильичевым, канд. техн. наук Д.В.Монголовым и канд. техн. наук В.М.Шавичем на основе исследований, выполненных в лаборатории динамики грунтов НИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова Госстроя СССР. При составлении табл. I использованы также результаты экспериментальных исследований, выполненных инж. Л.Л.Егоровой (НИИОСП).

Рекомендации одобрены секцией Ученого Совета НИИ оснований.

Консультации по проектированию фундаментов из набивных свай для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, можно получить в НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР (109389, г. Москва, Л-389, ул. 2-я Институтская, д. 6, тел. 171-89-13, 171-88-90) и в Секторе сейсмики НИИ оснований (277029, г. Кшинев-29, Новобачойское шоссе, 19, тел. 52-50-84, 52-50-24).

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. "Рекомендации по проектированию фундаментов из набивных свай для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах", составлены в развитие раздела 12 главы СНиП П-17-77 "Свайные фундаменты. Нормы проектирования" и распространяются на проектирование в сейсмических районах набивных свай, устраиваемых только в сухих устойчивых грунтах, не требующих закрепления стенок скважин, при диаметре ствола свай не менее 40 см и отношении длины свай к диаметру не более 20.

1.2. Производство работ по изготовлению набивных свай и приемка работ осуществляется в соответствии с правилами для несейсмических районов, при этом необходимо обеспечить надлежащий контроль качества изготовления свай, гарантирующий получение их форм и размеров в строгом соответствии с проектом.

1.3. Армирование набивных свай в сейсмических районах является обязательным, при этом минимальный процент армирования должен приниматься равным 0,05.

## 2. УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ

2.1. Условия опирания нижних концов свай в сейсмических районах должны удовлетворять требованиям п.п. 8.13, 9.5 и 12.10 главы СНиП П-17-77, при этом величина заглубления свай в грунт должна быть не менее 4 м. Для зданий и сооружений, отнесенных к п.3 табл.4 СНиП П-А,12-69<sup>X</sup> "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования", и в случае опирания свай на скальные грунты допускается применение свай длиной менее 4 м.

2.2. При проектировании фундаментов из набивных свай в сейсмических районах предпочтение следует отдавать набивным сваям, изготавливаемым в скважинах с уплотненным основанием или уширением, устраиваемым за счет втрамбовывания в основание щебня, гравия, жесткого бетона и т.п.

2.3. Расчет свайных фундаментов из набивных свай с учетом сейсмических воздействий на особое сочетание нагрузок по предельным состояниям первой группы выполняется в соответствии с требованиями п.12.2 главы СНиП П-17-77 с учетом п.п.2.4-2.14 настоящих Рекомендаций.

2.4. Несущая способность набивной верхней свая, работающей на осевую сжимающую нагрузку, с учетом сейсмических воздействий опреде-

ляется по формуле

$$F_c = m(m_c m_{rc} m_R R F + u \sum_{h_p}^l m_{ci} m_f f_i l_i), \quad (I)$$

где  $m, m_R, R, F, u, m_f, f_i, l_i$  - значения те же, что и в формуле (10) главы СНиП II-17-77;

$m_c, m_{ci}$  - коэффициенты условий работы, учитывающие влияние сейсмических колебаний на напряженное состояние грунта под нижним концом и на боковой поверхности свая в  $i$ -ом слое грунта, принимаются по табл. I;

$h_p$  - глубина, до которой не учитывается сопротивление грунта на боковой поверхности свая, определяется в соответствии с п. 2.5;

$l$  - длина ствола свая в грунте (при ушпренной пите - до начала ушпрения);

$m_{rc}$  - коэффициент условий работы нижнего конца свая при сейсмических воздействиях; определяется в соответствии с п. 2.6.

Таблица I

Значения коэффициентов условий работы

Расчетная сейсмичность в баллах	$m_c$		$m_{ci}$			
	магловлажные песчаные грунты средней плотности и плотные (за исключением шпелватых)	глинистые грунты консистенции				
		твердой	полутвердой и тугопластичной	тугопластичной	магкопластичной	текучепластичной
7	0,85	I	0,9	0,9	0,8	0,75
8	0,75	0,95	0,8	0,8	0,7	0,65
9	0,6	0,8	0,65	0,65	0,6	0,5

2.5. Глубина, до которой не учитывается сопротивление грунта на боковой поверхности при определении несущей способности набивной свая на осевую сжимающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий, определяется по формуле (2), но принимается не более  $\frac{L}{\alpha_A}$ :

$$h_p = \frac{0,25 \xi_1}{\alpha_A} \left[ \frac{2,5 \alpha_A \xi_2 H^* \cos \varphi_I}{\beta \left( \frac{\xi_3}{\alpha_A} \sigma_I \tan \varphi_I + c_I \right)} - 1 \right], \quad (2)$$

$$H^* = H + \xi_4 \alpha_A M \quad (3)$$

где  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$  - безразмерные коэффициенты, значения которых в зависимости от приведенной глубины погружения свай  $\bar{\ell}$ , определяемой по указаниям п.2.7, и условий сопряжения свай с ростверком приведены в табл.2;

$\alpha, \beta_c$  - соответственно коэффициент деформации и условная ширина поперечного сечения свай; определяются в соответствии с указаниями п.3 Приложения СНиП П-17-77;

$\varphi, c, \gamma$  - значения те же, что и в формуле (I4) Приложения СНиП П-17-77, при этом значения угла внутреннего трения принимаются с учетом требований п.12.6 главы СНиП П-17-77;

$H, M$  - расчетные значения соответственно горизонтальной силы и изгибающего момента, приложенных к свае в уровне поверхности грунта, при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий.

Таблица 2  
Значения безразмерных коэффициентов  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$

Приведенная глубина погружения свай $\bar{\ell}$	Свая, свободно стоящая или за- щемленная в высокий ростверк				Свая, заземленная в низкий, ростверк, исключающий возможность поворота го- ловы свай		
	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$
2	1,5	1,66	0,8	0,60	-	-	-
3	2,1	1,2	0,8	0,46	2,5	0,72	1,2
$\geq 4$	2,5	0,98	0,8	0,45	3,1	0,65	1,2

2.6. Коэффициент условий работы нижнего конца свай при сейсмических воздействиях  $m_{rc}$  принимается равным 1 для свай с приведенной глубиной погружения  $\bar{\ell} \geq 4$  и определяется по формуле (4) для свай с меньшей приведенной глубиной погружения

$$m_{rc} = 1 - \frac{H^* \beta}{\alpha \bar{\ell}}, \quad (4)$$

где

$H^*$  - значение то же, что и в формуле (3), в тс;  
 $\beta$  - коэффициент, принимаемый равным 0,01 м/тс;

- $d$  - диаметр ствола сваи; для свай с уширенной пятой - наибольший диаметр поперечного сечения уширения, в м;  
 $\bar{\ell}$  - приведенная глубина погружения сваи; определяется по указаниям п.2.7.

2.7. Приведенная глубина погружения сваи  $\bar{\ell}$  определяется по формуле

$$\bar{\ell} = \alpha_A \ell, \quad (5)$$

где

$\alpha_A$  - значение то же, что и в формуле (2);

$\ell$  - длина ствола сваи в грунте; для свай с уширенной пятой - расстояние от поверхности грунта до начала уширения, если отношение диаметра уширения к диаметру ствола сваи не менее 1,5; в противном случае - расстояние от поверхности грунта до подошвы уширенной пяты.

2.8. Расчет свайных фундаментов с учетом сейсмических воздействий в просадочных грунтах следует выполнять с учетом п.12.9 главы СНиП II-17-77.

При проектировании свайных фундаментов в просадочных грунтах необходимо выполнить два самостоятельных расчета: 1) на основное сочетание нагрузок в соответствии с разделом 9 главы СНиП II-17-77; 2) на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий в соответствии с настоящими Рекомендациями, при этом определение несущей способности свай с учетом сейсмических воздействий в просадочных грунтах II типа производится без учета возможности развития негативного трения грунта.

2.9. Несущая способность набивных свай на выдергивание нагрузки с учетом сейсмических воздействий определяется по результатам полевых испытаний свай имитированными сейсмическими воздействиями.

2.10. Несущая способность набивных свай, устраиваемых в грунтовых условиях, отсутствующих в табл. I, определяется по результатам полевых испытаний свай имитированными сейсмическими воздействиями.

2.11. Несущая способность с учетом сейсмических воздействий набивных свай, для которых отсутствуют данные по расчету их несущей способности при статических нагрузках, определяется по результатам полевых испытаний свай имитированными сейсмическими воздействиями.

2.12. Определение усилий в свае, а также давления, передаваемого на грунт боковыми поверхностями сваи при расчете на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий, можно произво-

дать в соответствии с Приложением СНиП П-17-77, при этом:

а) приведенная глубина погружения свай принимается в соответствии с указанными п.2.7 настоящих Рекомендаций;

б) для свай с уширенной пятой значения коэффициентов в табл.2 Приложения СНиП П-17-77 следует принимать, как при заделке свай в скалу на глубине, соответствующей длине ствола свай в грунте до начала уширения, если отношение диаметра уширения к диаметру ствола свай не менее 1,5; в противном случае значения коэффициентов принимаются, как при опирании свай на нескальный грунт;

в) проверка устойчивости грунта по условию ограничения давления, передаваемого на грунт боковыми поверхностями свай, должна выполняться в любом случае независимо от размеров свай и вида грунта, окружающего свай, при этом значения расчетного угла внутреннего трения грунта  $\varphi_{г}$  принимаются с учетом требований п.12.6 главы СНиП П-17-77;

г) при расчете свай в просадочных грунтах II типа в случае неизбежного замачивания основания верхний участок свай, равный по длине величине  $S_{пр,гр}$  - просадке грунта от собственного веса, рассматривается, как свободный от контакта с грунтом и расположенный между подошвой ростверка и поверхностью грунта.

2.13. Для наиболее распространенной конструкции свайного фундамента в сейсмических районах, когда сваи с приведенной глубиной погружения  $\bar{\ell} \geq 2$  заделаны в низкий ростверк, исключая возможность поворота головы свай, изгибающий момент  $M_{\max}$  и поперечная сила  $Q_{\max}$  достигают максимального значения в уровне подошвы находящегося на грунте ростверка, а давление, передаваемое на грунт боковыми поверхностями свай, достигает максимального значения  $\sigma_{\max}$  на глубине  $Z = \frac{1,2}{\alpha_A}$ . Указанные величины могут определяться по

формулам

$$M_{\max} = \frac{a_m H}{\alpha_A}, \quad (6)$$

$$Q_{\max} = H, \quad (7)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{a_p \alpha_A H}{b_c}, \quad (8)$$

где

$H$  - значение то же, что и в формуле (3);  
 $\alpha_A, b_c$  - значения те же, что и в формуле (2);  
 $a_m, a_p$  - коэффициенты, значения которых зависят от приведенной глубины погружения свай  $\bar{\ell}$ : при  $\bar{\ell} = 2$

$a_m = 1,06$ ;  $a_p = 0,73$ ; при  $\bar{e} \geq 4$   $a_m = 0,94$   
 $a_p = 0,65$ ; для промежуточных значений  $\bar{e}$  коэффициенты принимаются по интерполяции.

2.14. Проверка сечений железобетонных свай по сопротивлению материала на совместное действие расчетных усилий (продольной силы, изгибающего момента и поперечной силы) должна производиться в соответствии с главой СНиП II-2I-75 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" как для внецентренно-сжатого или растянутого элемента с учетом требований п.5.2 главы СНиП II-I7-77, при этом величина  $N_z$  осевой нагрузки в рассматриваемом сечении на глубине  $z$  определяется при сжатии и растяжении соответственно по формулам (9) или (10)

$$N_z = N - \sum_0^z f_i l_i ; \quad (9)$$

$$\text{где} \quad N_z = N \quad (10)$$

$N$ ,  $u$ ,  $f_i$ ,  $l_i$  - значения те же, что и в формулах (I) и (19) главы СНиП II-I7-77 соответственно.

### 3. ИСПЫТАНИЯ СВАЙ ИМИТИРОВАННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

3.1. На основании полевых испытаний, выполненных в соответствии с настоящими Рекомендациями, определяется несущая способность свай по грунту на вертикальную нагрузку с учетом сейсмических воздействий и коэффициент деформации системы "свая-грунт", с использованием которого производится проверка сечений свай по сопротивлению материала на совместное действие расчетных усилий (нормальной силы, изгибающего момента и перерезывающей силы) и проверка устойчивости свай по условию ограничения давления, оказываемого на грунт боковыми поверхностями свай.

3.2. Несущая способность свай на осевую сжимающую или выдергивающую нагрузку по результатам полевых испытаний имитированными сейсмическими воздействиями определяется по формуле (35) главы СНиП II-I7-77, при этом коэффициент  $K_c$ , характеризующий снижение несущей способности свай при сейсмических воздействиях определяется по формуле

$$K_c = m_1 m_2 , \quad (9)$$

где

$m_1, m_2$  - коэффициенты, учитывающие снижение несущей способнос-

ти свая на вертикальную нагрузку соответственно при изменении напряженного состояния грунта в процессе прохождения сейсмических волн и при горизонтальных динамических воздействиях от раскачиваемого сооружения.

3.3. Коэффициент  $m_1$  определяется по результатам испытания свай, нагруженных вертикальной статической нагрузкой, на сейсмозрывные воздействия. Испытания проводятся в следующей последовательности:

а) с помощью гидравлического домкрата свая загружается безнерционной осевой вдавливающей ступенчато-возрастающей нагрузкой с условной стабилизацией затухания осадки в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-78 до величины  $P_0$ , при которой осадка головы свая достигает значения  $\Delta$ , определяемого по формуле (16) главы СНиП II-17-77; перед началом загрузки между домкратом и упорной конструкцией устанавливается виброизолятор (пружина или катки);

б) не позднее, чем через 24 часа после окончания стабилизации осадки при нагрузке  $P_0$ , осуществляется сейсмозрывное воздействие требуемой интенсивности в результате замедленного взрыва зарядов взрывчатого вещества (ВВ), расположенных в скважинах на определенном расстоянии от испытываемых свай, с соблюдением правил техники безопасности и обеспечением безопасности существующих зданий; продолжительность сейсмозрывного воздействия при испытаниях должна составлять не менее 7 с. Промежуток времени между взрывами отдельных зарядов ВВ назначается в зависимости от затухания колебаний грунта по записям контрольных взрывов от момента вступления волны с максимальной амплитудой до момента, когда амплитуда колебаний от одного взрыва уменьшится не менее, чем вдвое. Ориентировочно этот промежуток времени  $t$  может быть принят в пределах  $2T \leq t \leq 3T$ , где  $T$  - период колебаний грунта возле опытных свай. В процессе испытаний на сейсмозрывные воздействия вертикальная статическая нагрузка не поддерживается постоянной, а должна иметь возможность уменьшаться по мере снижения сопротивления грунта. При испытаниях на сейсмозрывные воздействия регистрируются горизонтальные составляющие колебаний грунта на поверхности возле опытных свай в двух взаимно перпендикулярных направлениях, осадка свая  $\Delta$  за время испытаний и уменьшение давления в гидравлической системе домкрата (т.е. вертикальной нагрузки). Векторные значения ускорения колебаний поверхности грунта возле опытных свай должны быть не менее  $2 \text{ м/с}^2$  для расчетной сейсмичности 7

баллов,  $4 \text{ м/с}^2$  для 8 баллов и  $7 \text{ м/с}^2$  для 9 баллов. Глубина скважины для размещения зарядов ВВ и расстояние между скважинами назначается организацией, производящей буровзрывные работы, в зависимости от величины заряда, диаметра скважины, грунтовых условий и длины верхнего участка скважины, забиваемого грунтом для исключения выброса при взрыве (длина указанного участка должна в любом случае приниматься не менее 5 м).

3.4. Ориентировочную массу  $C$  заряда ВВ (кг) для обеспечения требуемой интенсивности колебаний грунта возле опытных свай допускается определять по формуле (I2) и уточнять по результатам контрольных взрывов одиночных зарядов на площадке

$$C = \bar{c} \alpha^2 (lg R)^2 R^3 \quad (I2)$$

$$\bar{c} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{м}^{-5} ,$$

где

$\alpha$  - модуль вектора ускорений горизонтальных колебаний поверхности грунта возле опытной свай ( $\text{м/с}^2$ );

$R$  - расстояние от скважины с зарядом ВВ до испытываемой свай (м); назначается из условия  $R \geq 15 + 1,5 l$ , где  $l$  - глубина погружения свай в грунт, в м.

3.5. Величина коэффициента  $m_1$ , по результатам испытаний свай на сейсмозврывные воздействия определяется по формуле

$$m_1 = \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta_1}{\Delta_0}} , \quad (I3)$$

где

$P_0$  и  $P_1$  - величина вертикальной статической нагрузки соответственно до начала и после окончания сейсмозврывных воздействий;

$\Delta_0$  - величина осадки свай при нагрузке  $P_0$  перед началом испытаний на сейсмозврывные воздействия;

$\Delta_1$  - величина дополнительной осадки свай за время испытаний свай на сейсмозврывные воздействия.

3.6. Коэффициент  $m_2$  определяется по результатам испытаний свай, нагруженных вертикальной статической нагрузкой, на горизонтальные динамические воздействия. Испытания проводятся в следующей последовательности:

а) свая загружается вертикальной статической нагрузкой так же, как и при испытаниях на сейсмозврывные воздействия;

б) с помощью вибратора направленного действия, установленного

на катках возле свай и жестко связанного с ней, создаются горизонтальные динамические воздействия на сваи продолжительностью не менее  $1\pi$  с при постоянной частоте вращения, не превышающей 10 герц; в качестве вибратора направленного действия мог бы быть использован вибропогружатель типа ВП-1, ВП-2 или ВПШ, оборудованные двигателями постоянного тока для создания колебаний с необходимой амплитудой за счет изменения частоты вращения. Горизонтальное раскачивание свай необходимо осуществлять с постоянной амплитудой  $A_A$ , величина которой в уровне поверхности грунта определяется из условия  $A_g > I, 2y_0$ , но принимается не менее 3 мм ( $y_0$  - горизонтальное перемещение свай в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной сейсмической нагрузки к свайному фундаменту сооружения); в процессе испытаний на горизонтальные динамические воздействия вертикальная нагрузка должна не поддерживаться постоянной, а иметь возможность уменьшаться по мере снижения сопротивления грунта; при испытаниях свай на горизонтальные динамические воздействия регистрируется амплитуда колебаний свай в уровне поверхности грунта  $A_A$ , осадка свай  $\Delta_p$  за время испытаний и контрольных запусков вибратора, а также уменьшение давления в гидравлической системе домкрата (т.е. вертикальной нагрузки).

3.6. Величину горизонтального перемещения свай  $y_0$  в уровне поверхности грунта при статическом приложении к свайному фундаменту сооружения расчетной горизонтальной сейсмической нагрузки можно определить по формуле

$$y_0 = \frac{\rho H}{\alpha_A^3 EJ} \quad (14)$$

Значения коэффициента  $\rho$  вычисляются:

- для свай, заземленных в мягкий или высокий ростверк, исключая возможность поворота головы свай, соответственно по формуле (15) или (16)

$$\rho = A_0 - \frac{B_0^2}{C_0}; \quad (15)$$

$$\rho = A_0 + \alpha_A B_0 \left( l_0 - \frac{\alpha_A \bar{P}}{C_0 + \alpha_A l_0} \right); \quad (16)$$

или

$$\rho = \frac{B_0}{\alpha_A^2} + \frac{C_0 l_0}{\alpha_A} + \frac{l_0^2}{2}; \quad (17)$$

- для свай, шарнирно сопряженных с ростверком или заземленных

в ростверк, не исключаящий возможность поворота головы свай, а также для свободно стоящих свай по формуле

$$p = A_0 + \alpha_A \rho_0 B_0 + \frac{\alpha_A B_0 M}{H} \quad (18)$$

В формулах (14) - (18) приняты следующие обозначения:

$H, M$  - значения те же, что и в формуле (3);

$\alpha_A, E_s J$  - значения те же, что и в формуле (6) Приложения СНиП II-17-77, значения  $\alpha_A$  по результатам испытаний определяется в соответствии с п.п. 3.14, 3.15 настоящих Рекомендаций;

$A_0, B_0, C_0$  - коэффициенты, значения которых принимаются по табл.2 Приложения СНиП II-17-77;

$\rho_0$  - расстояние от подошвы ростверка до поверхности грунта (для свободно стоящих свай - высота приложения горизонтальной нагрузки над поверхностью грунта).

3.7. Величина коэффициента  $m_2$  по результатам испытаний свай на горизонтальные динамические воздействия определяется по формуле

$$m_2 = \frac{P_2}{P_0} \frac{1}{1 + \frac{\Delta_2}{\Delta_0}}, \quad (19)$$

где

$P_0$  и  $P_2$  - величина вертикальной статической нагрузки на свае соответственно до начала и после окончания горизонтальных динамических воздействий;

$\Delta_0$  - величина осадки свай при нагрузке  $P_0$  перед началом испытаний на горизонтальные динамические воздействия;

$\Delta_2$  - величина дополнительной осадки свай за время испытаний на горизонтальные динамические воздействия и контрольных запусков вибратора.

3.8. Испытания горизонтальными динамическими и сейсмическими воздействиями рекомендуется производить на различных сваях. Допускается проведение указанных испытаний на одной и той же свае, при этом испытания горизонтальной динамической нагрузкой должны выполняться после испытаний на сейсмозрывные воздействия. В случае, когда оба вида испытаний проводятся на одной и той же свае, вертикальную статическую нагрузку, уменьшающуюся в процессе опыта в результате сейсмозрывных воздействий, необходимо довести до первоначального значения, равного  $P_0$ .

3.9. Испытания имитированными сейсмическими воздействиями свай, нагруженных осевой выдергивающей статической нагрузкой, для определения коэффициентов  $m_1$  и  $m_2$  проводятся аналогично испытаниям свай,

загруженных осевой вдавливающей нагрузкой, при этом перед началом испытаний сваи загружаются статической осевой ступенчато-возрастающей выдерживающей нагрузкой до величины  $\varphi$ , равной несущей способности сваи на выдерживающую нагрузку и определяемой по формуле (15) главы СНиП II-17-77. При вычислении коэффициентов  $M_1$  и  $M_2$  величины осадок сваи  $\Delta_0$ ,  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  в этом случае заменяется на соответствующие значения вертикальных перемещений (выхода) сваи.

3.10. Для проведения испытаний имитированными сейсмическими воздействиями не должны использоваться сваи, испытанные ранее статической нагрузкой для определения их несущей способности.

3.11. Сваи, испытанные имитированными сейсмическими воздействиями, не должны в дальнейшем использоваться в свайном фундаменте сооружения.

3.12. Количество свай, подлежащих испытаниям имитированными сейсмическими воздействиями, устанавливается проектной организацией и принимается не менее 1/3 от числа свай, испытанных вертикальной статической нагрузкой на данном объекте.

3.13. В случае невозможности проведения испытания свай на сейсмозвонные воздействия на конкретной площадке строительства, допускается использовать результаты испытаний по наложенной методике таких же свай в аналогичных грунтовых условиях.

3.14. Испытания одиночной сваи горизонтальной статической нагрузкой для определения коэффициента деформации  $\alpha_A$  производится без условий стабилизации перемещений на каждой ступени нагрузки, т.е. форсированным методом при постоянной скорости возрастания нагрузки с интервалом ее действия на каждой ступени в течение 5 минут. Величина ступени нагрузки принимается равной 1/10 - 1/12 предполагаемой величины предельной нагрузки в испытаниях, при достижении которой величина горизонтального перемещения сваи начинает непрерывно возрастать без увеличения нагрузки.

3.15. Коэффициент деформации  $\alpha_A$ , по результатам испытаний горизонтальной статической нагрузкой, приложенной в уровне поверхности грунта к одиночной свае, определяется по формуле:

$$\alpha_A = \frac{A\beta + B}{l}, \quad (19)$$

$$\beta = l \sqrt[3]{\frac{H_0}{y_0 E_s}}, \quad (20)$$

- $l$  - значение то же, что и в формуле (5);  
 $y_0$  - горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта, соответствующее нагрузке ;  
 $H_0$  - нагрузка, меньшая на одну ступень, чем предельная при испытаниях;  
 $E_s, J$  - значения те же, что и в формуле (6) Приложения СНиП П-17-77;  
 $A, B$  - коэффициенты, значения которых зависят от условий опирания нижнего конца сваи и коэффициента  $\beta$  : при свободном опирании нижнего конца сваи на нескальний грунт и  $\beta < 3$   $A = 1,14$   $B = 0,67$ ; при заземлении нижнего конца сваи на глубине  $l$  и  $1,6 \leq \beta < 3$   $A = 1,43$   $B = 0,29$ ; при любых условиях опирания нижнего конца и  $\beta > 3$   $A = 1,34$   $B = 0$ .

3.16. Сваи, испытанные горизонтальной статической нагрузкой для определения коэффициента деформации  $\alpha_A$ , не должны использоваться в фундаменте здания или сооружения.

**ПРИМЕР РАСЧЕТА**

Требуется рассчитать свайный фундамент из одной сваи под колонну промышленного здания при расчетной сейсмичности 8 баллов. Набивные сваи диаметром 0,8 м длиной 16 м изготавливаются по п.2.6.а главы СНиП П-17-77 (погружается труба, нижний конец которой закрыт оставаемым в грунте башмаком, затем эта труба извлекается по мере заполнения скважины бетонной смесью).

Подсыва ростверка находится на глубине 2 м от планировочной отметки грунта. Свай прорезает слой лессовидного просадочного суглинка общей толщиной 14 м и заглубляется в тугопластичные непросадочные суглинки на 2 м. Грунтовые условия относятся ко II типу по просадочности. Просадка грунта от собственного веса составляет = 43,8 см.

Требуемые для расчета характеристики грунтов в водонасыщенном состоянии приведены в таблице.

Таблица

**Характеристика грунтов**

Глубина слоя грунта от планировочной отметки	Коэффициент пористости	Показатель консистенции в водонасыщенном состоянии	Расчетное значение угла внутреннего трения, град	Расчетное значение удельного сцепления, тс/м <sup>2</sup>	Относительная просадочность от избыточного давления
3	0,872	0,82	18	1,1	-
5	0,834	0,85	18	1,1	0,015
7	0,866	0,85	18	1,1	0,022
9	0,858	0,8	18	1,0	0,035
11	0,931	0,9	17	0,9	0,040
13	0,935	0,87	17	0,7	0,042
15	0,911	0,85	16	0,5	0,040
17	0,692	0,4	19	3,2	-

В здании располагается производство с мокрым технологическим процессом, в связи с чем неизбежно замачивание всей толщи просадочных грунтов. Предельно допустимая осадка для данного типа здания составляет 8 см.

Расчетные нагрузки на сваю:

а) при основном сочетании: вертикальная сжимающая - 110 тс, горизонтальная - 4 тс, момент - 5,3 тм;

б) при особом сочетании с учетом сейсмических воздействий: вертикальная сжимающая нагрузка - 95 тс, горизонтальная - 12 тс, момент - 16 тм.

Решение

1. Определяем несущую способность свая на сжимающую нагрузку с учетом возможности развития негативного трения грунта по формуле (28) главы СНиП II-17-77 в статических условиях

$$R_{II} = R - a \left( m u \sum_0^{h_n} f_i l_i \right) = m \left( m_R R F + u \sum m_f f_i l_i \right) - a \left( m u \sum_0^{h_n} f_i l_i \right),$$

где

$m = 1$ ;  $m_R = 1$ ;  $m_f = 0,8$ ;  $F = 0,5 \text{ м}^2$ ;  $u = 2,51 \text{ м}$ ;  $R = 308 \text{ т/м}^2$ ; значения  $f_i$  на глубинах от 3 до 15 м через 2 м, а также на глубине 17 м соответственно составляет: 0,7; 0,7; 0,7; 0,8; 0,7; 0,7; 0,7; 3,9;  $a = 1,4$ ; просадка грунта от собственного веса, равная 8 см, определяется просадкой двухметрового слоя, залегающего непосредственно выше кровли тугопластичных суглинков (относительная просадочность грунтов этого слоя составляет 0,04), т.е.  $h_n = 14 - 2 = 12 \text{ м}$ .

$$R_{II} = 1 \left[ 1 \cdot 308 \cdot 0,5 + 2,51 \cdot 0,8 \cdot 2 (0,7 \cdot 6 + 0,8 + 3,9) - 1,4 \cdot 1 \cdot 2,51 \cdot 2 (0,7 \cdot 5 + 0,8) \right] = 159,5 \text{ тс.}$$

Нагрузка, допускаемая на сваю, равна

$$P_{II} = \frac{159,5}{1,4} \leq 114 \text{ тс} < 110 \text{ тс.}$$

2. Несущую способность свая на сжимающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий определяем по формуле (1) настоящих Рекомендаций без учета возможности развития негативного трения грунта.

Предварительно определяем коэффициенты  $\alpha_A$ ,  $m_{RC}$  и величину  $h_p$ .

Коэффициент пропорциональности  $K$  принимаем по табл. I Приложения к СНиП II-17-77 как для суглинков с показателем консистенции  $J_L = 0,85$   $K = 140 \text{ тс/м}^4$ . Коэффициент упругой деформации определяем по формуле (6) Приложения СНиП II-17-77

$$\alpha_A = \sqrt[5]{\frac{K b_c}{E_f J}}$$

где

$$b_c = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ м}; E_c = 2,4 \cdot 10^6 \text{ т/м}^2 \text{ (бетон марки 200)};$$

$$J = \frac{3,14 \cdot 0,8^4}{4} = 0,02 \text{ м}^4.$$

$$\alpha_A = \sqrt[5]{\frac{140 \cdot 1,8}{2,4 \cdot 10^6 \cdot 0,02}} = 0,35 \text{ м}^{-1}$$

Так как приведенная глубина погружения, вычисленная по формуле (5),  $\ell = 0,35 \cdot 16 = 5,6 > 4$ , то коэффициент  $m_{rc} = 1$ .

Длину участка свая, вдоль которой сопротивление грунта на боковой поверхности не учитывается, определяем по формуле (2) настоящих Рекомендаций, принимая  $\xi_1 = 2,5$   $\xi_2 = 0,98$   $\xi_3 = 0,8$  (по табл.2);  $c_I = 1,1 \text{ т/м}^2$ ;  $\varphi_I = 18^\circ - 4^\circ = 14^\circ$  (в соответствии с п.12.6 главы СНиП II-17-77); объемная масса грунта с учетом вытеснения в воде для средней величины коэффициента пористости 0,864, равна

$$\gamma_I = \frac{\gamma_s - 1}{1 + \epsilon} = \frac{2,7 - 1}{1 + 0,864} = 0,91 \text{ т/м}^3.$$

По формуле (3) определяем величину  $H^*$ , принимая  $\xi_4 = 0,45$ :

$$H^* = 12 + 0,45 \cdot 0,35 \cdot 16 = 214,5 \text{ тс.}$$

Величина  $h_p$  по формуле (2)

$$h_p = \frac{0,25 \cdot 2,5}{0,35} \left[ \frac{2,5 \cdot 0,35 \cdot 0,98 \cdot 14,5 \cdot 0,97}{1,8(0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,25 / 0,35 + 1)} - 1 \right] = 6,1 \text{ м}$$

Поскольку величина  $\frac{\xi_1}{\alpha} = \frac{2,5}{0,35} = 7,15 > 6,1$ , принимаем

$$h_p \approx 6 \text{ м.}$$

Определяем  $\Phi_0$ , принимая  $m_c = 0,8$   $m_{c_2} = 0,65$  (по табл.1),

$$\Phi_0 = 1 \left[ 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 308 \cdot 0,5 + 2,51 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 2(0,7 \cdot 3 + 0,8) + 2,51 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 3,9 \right] = 133,4 \text{ тс.}$$

Нагрузка, допускаемая на свая, равна

$$P_c = \frac{133,4}{14} = 95,3 \text{ тс} > 95 \text{ тс.}$$

Таким образом, требования расчета свая по грунту на сжимающую нагрузку по первому предельному состоянию (по несущей способности) как на основное, так и на особое, с учетом сейсмических воздействий, сочетание нагрузок полностью удовлетворяется.

3. Проверяем сечение свая на совместное действие расчетных усилий при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий.

В табл.3 приведены величины изгибающих моментов, действующих в сечениях свая по глубине, вычисленные по формуле (10) Приложения СНиП II-17-77 при внешних воздействиях в уровне поверхности грунта  $H_0 = H = 12 \text{ тс}$  и  $M_0 = M + H S_{пр.гр} = 16 + 12 \cdot 0,438 = 21,26 \text{ тм.}$

Таблица 3

Приведенная глубина расположения сечения	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Действительная глубина расположения сечения в м	0,57	1,14	1,71	2,28	2,85	3,43	3,99
Изгибающий момент в сечении, тм	28	33,9	38,6	41,6	42,8	42,7	40,8

Из табл.3 видно, что изгибающий момент достигает максимального значения на глубине  $Z = 0,85$  м и составляет  $M_{\max} = 42,77$  тм.

Величину осевой сжимающей нагрузки в рассматриваемом сечении на глубине 2,85 м определяем по формуле (9) настоящих Рекомендаций

$$N_z = N - \mu \sum f_i l_i = 95 - 2,51 \cdot 0,7 \cdot 2,85 = 91,1 \text{ тс.}$$

Проверку прочности сечения сваи, а также определение необходимого количества продольной арматуры при совместном действии изгибающего момента  $M = 42,87$  тм и осевой сжимающей силы  $N_z = 91,1$  тс выполняются как для внецентренно сжатого элемента в соответствии с требованиями главы СНиП II-21-75 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" или п.п.3.73,3.74 "Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения" М.,1977) с учетом требований п.5.2 главы СНиП II-17-77.

3. Давление, передаваемое боковыми поверхностями сваи на грунт при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий, определяем для глубины  $Z = \frac{0,85}{\alpha_g} = \frac{0,85}{0,35} = 2,43$  м (так как  $\bar{e} > 2,5$ ) по формуле (16) Приложения СНиП II-17-77

$$\begin{aligned} \sigma_z &= 140 \cdot 2,43 (20,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,997 - \frac{5,52 \cdot 10^{-3} \cdot 0,81}{0,35} + \frac{21,26 \cdot 0,33}{0,35^2 \cdot 4,8 \cdot 10^4} + \\ &+ \frac{12 \cdot 0,089}{0,35^3 \cdot 4,8 \cdot 10^4} = 3,04 \text{ т/м}^2. \end{aligned}$$

Расчетное сопротивление грунта  $R_\sigma$  на глубине 2,43 м определяем по формуле (14) Приложения СНиП II-17-77

$$\sigma_p = I \cdot I \cdot \frac{4}{\cos I_4^0} (0,91 \cdot 2,43 \cdot t_g I_4^0 + 0,3 \cdot I, I) = 3,63 \text{ тс/м}^2 > \sigma_z,$$

что удовлетворяет требованиям расчета.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Общие положения .....	3
2. Указания по расчету и проектированию .....	3
3. Испитания свай имитированными сейсмическими воздействиями ..	9
Приложение. Пример расчета .....	16

НИИ оснований и подземных сооружений

Редактор Осокин В.А.

---

Д-59036	Подп.к печати 14.3.80-Заказ 762	Тираж 300 экз.
Уч.-изд.л.	Цена 10	

---

Отпечатано в Производственных экспериментальных мастерских  
ВНИИИС Госстроя СССР