



**НИИОСП  
КПСНИИП**

Ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт  
оснований и подземных сооружений  
имени И.М.Герсеванова  
Госстрой СССР

Проектный и научно-исследователь-  
ский институт "Красноярский  
промстройинпроект"  
Минтяжстроя СССР

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПЫТАНИЮ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ



МОСКВА-1976

Ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт  
оснований и подземных сооружений  
имени Н.И.Герсеванова  
Госстрой СССР

Проектный и научно-исследователь-  
ский институт "Красноярский-Пром-  
стройпроект"  
Иркутскстрой СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ИСПЫТАНИЮ СВАЙНЫХ  
ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ  
В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

МОСКВА 1976

"Рекомендации по испытаниям свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" составлены на основе исследований, выполненных в НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР и Красноярском Промстройинипроекте. Разработка Рекомендаций осуществлена лабораторией динамики грунтов НИИ оснований (д. т. н. В. А. Ильичев, к. т. н. Д. В. Монголов, к. т. В. М. Маевич) и лабораторией сейсмостойкости и динамики сооружений Красноярского Промстройинипроекта (к. т. н. С. И. Гриб). Общее редактирование текста проведено В. А. Ильичевым.

Консультацию по проведению испытаний свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, можно получить в НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР (109389, Москва, Л-389, ул. 2-я Институтская, д. 6, тел. 171-09-13, 171-88-90), в Секторе сейсмики НИИ оснований (277029, Кивинев-29, Новобачовское шоссе 19, тел. 52-50-84, 52-50-24) и в Красноярском Промстройинипроекте (660062, Красноярск-62, Свободный пр., д. 75, тел. 5-37-03).

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации составлены в развитие раздела 4 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" (Строиздат, М. 1975).

1.2. Рекомендации распространяются на испытания свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах.

Примечания. 1. Испытания свай для определения несущей способности на вертикальную нагрузку без учета сейсмических воздействий проводятся в соответствии с требованиями СНиП II-Б.5-67<sup>X</sup> "Свайные фундаменты. Нормы проектирования" и ГОСТ 5686-69 "Свай и свай-оболочки. Методы полевых испытаний".

2. Испытания свайных фундаментов с промежуточной подушкой выполняются в соответствии с "Рекомендациями по проектированию свайных фундаментов с промежуточной подушкой для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" (Изд-во ЦК КП Молдавии, Кишинев, 1974).

1.3. Объем и состав изысканий, необходимых для проектирования свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, назначается в соответствии с главами СНиП II-A.12-69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования", СНиП II-Б.5-67<sup>X</sup> "Свайные фундаменты. Нормы проектирования", "Рекомендациями по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах", с учетом настоящих Рекомендаций.

1.4. На основании полевых испытаний, выполненных в соответствии с настоящими Рекомендациями, определяется несущая способность свай по грунту на вертикальную нагрузку с учетом сейсмических воздействий (разделы 2-4) и коэффициент упругой деформации системы "свая-грунт" (раздел 5), с использованием которого в соответствии с требованиями п.4.8 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах"

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.

## 2. ИСПЫТАНИЯ СВАЙ СТАТИЧЕСКИМИ ОСЕВЫМИ НАГРУЗКАМИ

2.1. Для определения несущей способности свай на вертикальную нагрузку с учетом сейсмических воздействий могут быть использованы результаты испытаний свай статическими вертикальными нагрузками в случаях, когда сваи находятся в грунтовых условиях, для которых значения коэффициентов условий работы  $m_c$  и  $m_{c_s}$ , учитывающих влияние сейсмических колебаний на напряженное состояние грунта под нижним концом и по боковой поверхности свай, известны (приведены в табл. 2 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" или получены по результатам испытаний свай имитированными сейсмическими воздействиями в аналогичных грунтовых условиях).

Количество свай, подлежащих испытаниям, и методика испытаний в этом случае остаются такими же, как и в несейсмических районах, и устанавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69 "Сваи и свай-оболочки. Методы полевых испытаний".

2.2. Несущая способность  $R_c^B$  свай на осевую вдавливающую (выдергивающую) нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам полевых испытаний определяется по формуле

$$R_c^B = \frac{R_c}{\gamma} R_{ис} \quad (I)$$

где  $R_c$  - расчетное значение несущей способности свай на осевую вдавливающую (выдергивающую) нагрузку с учетом сейсмичес-

ких воздействий, определяемое в соответствии с "Рекомендациями по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах";

$R$  — расчетное значение несущей способности сваи на осевую вдавливающую (выдергивающую) нагрузку без учета сейсмических воздействий, определяемое по указаниям СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup> "Свайные фундаменты. Нормы проектирования" или "Руководств по проектированию свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах" (Строиздат, М. 1969);

$R_{ис}$  — несущая способность сваи, определяемая по результатам испытаний вдавливающей (выдергивающей) статической нагрузкой в соответствии с главой СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup> или "Руководством по проектированию свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах".

### 3. ИСПЫТАНИЯ СВАЙ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

3.1. Испытания свая на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки, имитирующей раскачивание сооружения при землетрясении, рекомендуется проводить в случаях, если:

— на сваю передаются выдергивающие нагрузки;

— свая прорезает слабые слои грунта, для которых значения коэффициента пропорциональности  $K$ , определяемые в соответствии с п. 4.10

"Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах", неизвестны;

— по расчету, выполненному в соответствии с п. 4.9 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений,

возводимых в сейсмических районах", глубина  $h$ , до которой не учитывается сопротивление грунта на боковой поверхности, превышает 6,0 м (например, в случае погружения свай большой жесткости в слабые грунты).

3.2. Испытания на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки проводятся на сваях, испытанных вертикальной статической нагрузкой в соответствии с ГОСТ 5666-69 "Сваи и свай-оболочки. Методы полевых испытаний", причем испытанные сваи не должны в дальнейшем использоваться в свайном фундаменте сооружения. Количество свай, подлежащих испытаниям в этом случае, устанавливается программой испытаний в пределах до половины свай, испытанных вертикальной статической нагрузкой на данном объекте.

3.3. Испытания свай на совместное действие статической осевой вдавливающей и горизонтальной динамической нагрузки выполняются в следующей последовательности:

а) с помощью домкрата, установленного на пружинный виброизолятор, свая загружается статической осевой вдавливающей безинерционной нагрузкой, соответствующей величине несущей способности свай  $R$ , определяемой в соответствии с п. 6.3<sup>х</sup> СНиП П-Б.5-67<sup>х</sup> или п. 3.3 "Руководства по проектированию свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах", с выдержкой нагрузки до условной стабилизации осадки, характеризуемой разницей перемещений не более 0,1 мм за последние два часа наблюдений;

б) с помощью вибратора направленного действия, установленного на катках возле свай и жестко связанного с ней, создаются горизонтальные динамические воздействия на сваю продолжительностью 30 с при постоянной частоте вращения, не превышающей  $10 \text{ с}^{-1}$ ; горизонтальное раскачивание свай должно происходить с постоянной амплитудой, величина которой в уровне поверхности грунта  $A_d \approx 1,2 u_0$ , где  $u_0$  - горизонтальное перемещение свай в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной сейсмической нагрузки к свайному фундаменту

оборудования; при горизонтальных динамических воздействиях регистрируются амплитуда колебаний  $A_d$  и осадка сваи  $\Delta_T$  за 30 с, в процессе развития которой величина вертикальной статической нагрузки должна поддерживаться постоянной.

Примечания. I. Схемы и способы создания вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки на сваю показаны на рис. I.

2. Марку пружинного виброизолятора можно подобрать по "Каталогу пружинных виброизоляторов и пружин для виброизоляторов" серии 3.001-1 "Виброизолирующие устройства фундаментов и оснований под машины с динамическими нагрузками", вып. I. При отсутствии стандартного виброизолятора можно использовать комплект отработанных локомотивных пружин и т. п., подбирая жесткость, длину и количество пружин таким образом, чтобы при максимальной вертикальной нагрузке в опытах между витками пружин оставались зазоры.
3. В качестве вибратора направленного действия могут быть использованы вибропогружатели типа ВП-1 ВП-2 или ВП, оборудованные двигателями постоянного тока для создания колебаний с необходимой амплитудой за счет изменения частоты вращения.
4. Величина горизонтального статического перемещения сваи  $y_0$  в уровне поверхности грунта при статическом приложении к свайному фундаменту сооружения расчетной горизонтальной сейсмической нагрузки определяется по формуле

$$y_0 = \frac{pH}{\lambda^3 EI} \quad (2)$$

Значения коэффициента  $p$  вычисляются:  
- для свай, заземленных в низкий ростверк, по формуле

$$p = A_0 - \frac{B_0^2}{C_0} \quad (3)$$

- для свай, заземленных в высокий ростверк, по формуле

$$p = A_0 + \lambda B_0 \left( l_0 - \frac{\lambda \bar{p}}{C_0 + \lambda l_0} \right) \quad (4)$$

где  $\bar{p} = \frac{B_0}{\lambda} + \frac{C_0 l_0}{\lambda} + \frac{l_0^2}{2}$  ;



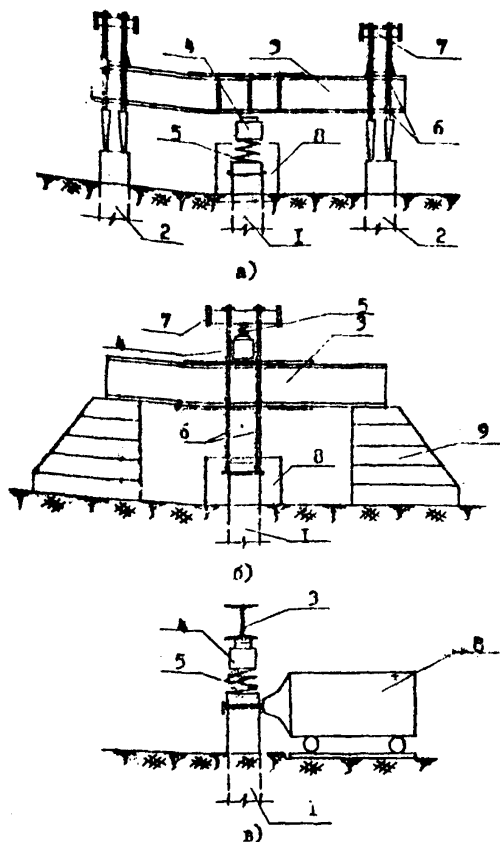


Рис. 1 Схемы возмещения свай на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки

( 1-винтовая свая; 2-якорная свая; 3-упорная балка; 4-демпфер; 5-пружинный виброизолятор; 6-тяги с захватами; 7-балласт; 8-вибратор; 9-опорная плита)

- для свай, шарнирно сопряженных с ростверком,  
и для свободно стоящих свай по формуле

$$P = A_0 + \lambda l_0 B_0 + \frac{\lambda B_0 M}{H} \quad (5)$$

В формулах (2)-(5) приняты следующие обозначения:

$A_0, B_0, C_0$  - коэффициенты, зависящие от приведенной глубины погружения свай  $\ell = \lambda \ell$  ( $\ell$  - действительная глубина погружения свай в грунт); для забивных свай принимаются равными соответственно коэффициентам  $A_{01}/C_{01}, A_{02}/C_{01}$  и  $C_{02}/C_{01}$  в таблице 29

Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" (Стройиздат, М. 1971);

- $H$  - расчетная горизонтальная сейсмическая нагрузка, приходящаяся на одну свай;
- $M$  - внешний изгибающий момент, действующий на свободно стоящую свай;
- $\lambda$  - коэффициент упругой деформации, определяемый по указаниям раздела 5 настоящих Рекомендаций или по формуле (16) "Рекомендации по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах";
- $l_0$  - расстояние от подошвы ростверка до поверхности грунта (для свободно стоящих свай - высота приложения горизонтальной нагрузки);
- $EI$  - значение то же, что и в формуле (16) настоящих Рекомендаций.

5. Измерение упругих перемещений свай производится стандартной сейсмометрической аппаратурой (сейсмоприемниками типа СЭС, ВВП-3, СМ-2 и др.) в комплексе с осциллографами гальванометрической регистрации. Для измерения остаточных перемещений свай можно применять индикаторы часового типа либо другие приборы и приспособления на пружинной основе.

3.4. Испытания свай на совместное действие статической осевой выдерживающей и горизонтальной динамической нагрузки, выполняются аналогично испытаниям п.3.3, при этом свая с помощью домкрата, установленного на пружинный виброизолятор, загружается статической резонансной нагрузкой по величине равной несущей способности  $R_B$ , определяемой в соответствии с п.6.7<sup>X</sup> СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup> по результатам испытаний такой же свай осевой выдерживающей нагрузкой: при горизонтальной динамической нагрузке

горизонтальных динамических воздействий продолжительностью 30 с регистрируется вертикальное перемещение (выход) сваи  $\Delta_T$

3.5. Несущая способность  $R_C^B$  сваи на осевую вдавливающую (выдергивающую) нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки определяется по формуле

$$R_C^B = \frac{m_T R_C}{R_C^X} R \quad (6)$$

где  $m_T$  — коэффициент, характеризующий уменьшение несущей способности сваи за счет снижения трения грунта на боковой поверхности вдоль верхнего участка сваи при раскачивании сооружения; определяется по указаниям п.3.6;

$R_C$  — значение то же, что и в формуле (1), при условии, что глубина  $h$ , до которой не учитывается сопротивление грунта на боковой поверхности сваи, принимается по расчету без ограничений в соответствии с п.4.9 "Рекомендация по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах";

$R_C^X$  — значение то же, что и  $R_C$ , при условии, что  $m_C = m_{C_1} = 1$ ;

$R$  — вертикальная вдавливающая (выдергивающая) нагрузка при испытаниях, величина которой принимается по указаниям п.3.3 или п.3.4.

3.6. Величина коэффициента  $m_T$  определяется по формуле

$$m_T = \frac{1}{1 + \frac{\Delta_T}{\Delta_P}} \quad (7)$$

где  $\Delta_T$  — вертикальное перемещение (осадка или выход) сваи при горизонтальном динамическом воздействии продолжительностью 30 с; определяется в соответствии с указаниями п.3.3 или 3.4;

$\Delta_p$  - вертикальное перемещение (осадка или подъем) сваи, соответствующее величине вертикальной статической нагрузки, приложенной перед испытаниями в соответствии с п.3.3 или 3.4; определяется по графику зависимости осадки (выхода) сваи от нагрузки, полученному при испытаниях по ГОСТ 5686-69.

#### 4. ИСПЫТАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА СЕЙСМОВЗРЫВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

4.1. Испытания свайных фундаментов на сейсмозрывные воздействия следует проводить в случае применения свай в грунтовых условиях, для которых значения коэффициентов условий работы  $m_0$  и  $m_{0c}$ , учитывающих влияние сейсмических колебаний на напряженное состояние грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи, отсутствуют в "Рекомендациях по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах".

Испытания свайных фундаментов на сейсмозрывные воздействия рекомендуется также проводить перед началом массовой застройки новых районов, когда грунтовые условия территории примерно одинаковы, что позволяет осуществить более экономичное решение свайных фундаментов одновременно для нескольких конкретных объектов.

4.2. Испытания свайных фундаментов на сейсмозрывные воздействия должны проводиться непосредственно на площадках, предназначенных для строительства зданий и сооружений, или на специальных площадках с аналогичными грунтовыми условиями в случаях, когда обеспечивается безопасность близрасположенных зданий и взрывная зона располагается на участке, где строительство зданий и сооружений не проектируется на будущее.

4.3. Испытания проводятся по программе, которая включает в себя

расчет взрывного воздействия, схемы нагружения свайных фундаментов и порядок проведения испытаний.

4.4. Имитация сейсмических воздействий взрывами позволяет одновременно испытывать несколько типов свайных фундаментов и отдельных свай. Количество испытываемых свайных фундаментов и свай назначается проектной организацией в зависимости от инженерно-геологических условий и типа проектируемого сооружения.

Конструкция свайного фундамента должна соответствовать расчетной схеме фундамента в сооружении. Число свай в опытно-модельном фундаменте должно быть не менее двух при условии расположения короткой стороны фундамента в плоскости, перпендикулярной направлению фронта сейсмозврывной волны. При устройстве опытного фундамента необходимо обеспечить зазор между подошвой нижнего ростверка и поверхностью грунта, т.к. при реальных сейсмических колебаниях контакт подошвы ростверка с грунтом может быть нарушен.

4.5. Сейсмозврывное воздействие на испытываемые конструкции создается замедленным взрыванием серии зарядов взрывчатого вещества (ВВ) на определенном расстоянии от фундаментов с соблюдением правил техники безопасности. Оценка интенсивности колебаний грунта при сейсмозврывном воздействии производится по величинам расчетных характеристик, к которым относятся смещения маятника сейсмометра СМ, ускорения, скорости или амплитуды и периоды колебаний грунта в соответствии с сейсмической шкалой ГОСТ 6249-52.

4.6. Безопасное расстояние от очага взрыва до сооружения определяется в условиях обеспечения интенсивности колебаний грунта возле существующих сооружений не более: 6 баллов для зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии; 5 баллов для зданий, имеющих деформации; 4 баллов для ветхих зданий и сооружений.

4.7. Ориентировочная масса зарядов ВВ и расстояние от места взрыва до испытываемых конструкций определяются по величинам рас-

частных характеристика колебания грунта в соответствии с формулами М.А. Садовского (8-11) и проверяются одиночными контрольными взрывами на площадке

$$A = 30 \text{ с } \Gamma \quad (8)$$

$$T = \tau \sqrt{R} \quad (9)$$

$$v = 200 \text{ с} \quad (10)$$

$$a = \frac{1300 \text{ с}}{T} \quad (11)$$

где

$$c = \frac{C^{\frac{1}{3}}}{n^{\frac{1}{3}} R^{\frac{3}{2}}}$$

$A$ ,  $T$ ,  $v$  и  $a$  - расчетные характеристики колебаний грунта, соответственно амплитуда (см), период (с), скорость (см/с) и ускорение (см/с<sup>2</sup>), отвечающие расчетной интенсивности воздействия;

$C$  - масса заряда ВВ в кг;

$R$  - расстояние от центра заряда до испытываемых конструкций (в м); для создания плоского фронта сейсмической волны должно соблюдаться условие  $R \geq 10v$ , где  $v$  - поперечный размер свая;

$n_{\Gamma}$  - показатель горня; при испытаниях принимается

$$n_{\Gamma} = 0,34;$$

$\tau$  - коэффициент, учитывающий влияние свойств грунта на период колебаний; принимается для наносов средней прочности  $\tau = 0,06-0,09$ , для водонасыщенных слабых грунтов (пльвуны, торфяники)  $\tau = 0,11-0,13$ .

---

\* Садовский М.А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности массовых взрывов М.-Л АН СССР. 1946

4.8. Глубина размещения  $\bar{H}$  (в м) зарядов ВВ назначается из условия взрывания, исключающего выброс грунта, и ориентировочно определяется по формуле

$$\bar{H} = \sqrt[3]{\frac{C}{k_B(0,4 + 0,6 n_r^3)}} \quad (12)$$

где  $C$  и  $n_r$  — значения те же, что и в формулах (8-11);

$k_B$  — коэффициент, учитывающий свойства грунта; принимается для песчаных грунтов  $k_B=1,0-1,2$ ; для глинистых —  $k_B=0,9-1,3$ ; для насыпных —  $k_B=0,8$ .

Расстояние между скважинами с зарядами ВВ принимается не менее  $2/3 \bar{H}$ .

4.9. Продолжительность сейсмозрывного воздействия при испытаниях должна находиться в пределах от 5 до 30 с. Промежуток времени между взрывами отдельных зарядов ВВ назначается в зависимости от затухания колебаний грунта по записям контрольных взрывов от момента наступления 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  $2T < t < 3T$ , где  $T$  — период колебаний грунта, определяемый по формуле (9).

4.10. Комплекс полевых работ при испытаниях свай и свайных фундаментов на сейсмозрывные воздействия выполняется в следующей последовательности:

а) проводятся испытания одиночных свай и свайных фундаментов статическими вертикальными нагрузками в соответствии с ГОСТ 5686-69 "Сваи и свай-оболочки. Методы полевых испытаний" с учетом требований п.4.4;

б) подготавливается взрывное поле (бурение скважин под заряды ВВ, обсадка и оборудование их в водонасыщенных грунтах и т.п.);

в) производятся контрольные взрывы - взрывается по одному заряду из каждого ряда скважин с записью колебаний грунта вблизи фундаментов;

г) после обработки записей колебаний грунта от контрольных взрывов уточняется количество ВВ на каждый взрыв в серии, имитирующая сейсмическое воздействие; при необходимости повторяются контрольные взрывы с уточненным зарядом ВВ;

д) производится загрузка свай и фундаментов вертикальной статической (сдавливающей или выдергивающей) нагрузкой, соответствующей величине несущей способности свая, определяемой в соответствии с п.6.3<sup>х</sup> или 6.7<sup>х</sup> СНиП II-Б.5-67<sup>х</sup> с учетом требований п.4.4 настоящих Рекомендаций; время между окончанием загрузки испытываемых конструкций и началом осуществления сейсмозрывного воздействия должно быть достаточным для условной стабилизации перемещений, характеризуемой разницей перемещений не более 0,1 мм за последние два часа наблюдений; схемы и способы создания статических и инерционных нагрузок показаны на рис. I (а, б) и 2;

е) испытываемые конструкции оборудуются приборами для измерения упругих и остаточных перемещений в вертикальном и горизонтальном направлении (см. п.3.3 примечание 5); устанавливается комплект аппаратуры на грунте вблизи фундамента (помимо аппаратуры, указанной в примечании 5 к п.3.3, запись колебаний грунта может осуществляться маятниковыми сейсмометрами типа СЕМ, МСН-П, АИСМ);

ж) осуществляется сейсмозрывное воздействие (взрывается расчетное количество зарядов с замедлением в соответствии с п.4.9) с одновременной записью вертикальных и горизонтальных перемещений испытываемых конструкций и грунта и регистрацией остаточных перемещений.

4. II. Несущая способность  $R_c^B$  одиночной сваи или свайного фундамента на вертикальную (сдавливающую или выдергивающую) нагрузку



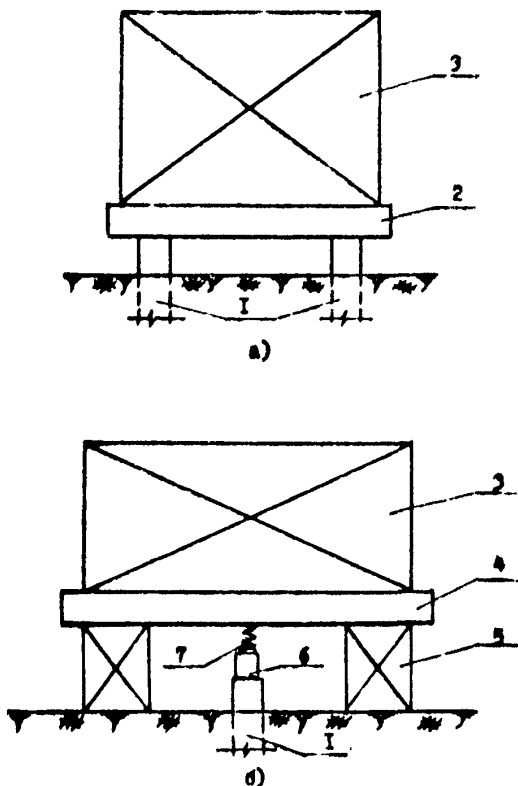


Рис. 2 Схемы загрузки поднимаемых конструкций при сезонных водонотных  
 (1-пан; 2-ростерк; 3-груз; 4-загрузочная платформа; 5-опорная клетка; 6-домкрат; 7-пружина вибростол)

с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на сейсмо-  
взрывные воздействия определяется по формуле

$$P_C^B = m_B m_H P \quad (12)$$

где  $m_B$  - коэффициент, характеризующий снижение несущей способ-  
ности сваи или фундамента при испытаниях на сейсмо-  
взрывные воздействия; определяется по указаниям  
п. 4.10;

$m_H$  - коэффициент, учитывающий увеличение вертикальной нагрузки  
при испытаниях за счет сил инерции; определяется по указа-  
ниям п. 4.13;

$P$  - вертикальная статическая нагрузка при испытаниях, величина  
которой назначается по указаниям п. 4.10.д.

4.12. Величина коэффициента  $m_B$  определяется по формуле

$$m_B = \frac{1}{1 + \frac{\Delta_B}{\Delta_P} + \psi} \quad (14)$$

где

$$\psi = \frac{P - \bar{P}_0}{\bar{P}_0} \left( 1 - \frac{A_0}{L^2 y_0} \right) ;$$

$\Delta_B$  - вертикальное перемещение (осадка или выход) сваи или фунда-  
мента при сейсмозврывном воздействии продолжительностью 30 с  
при меньшей продолжительности сейсмозврывного воздейст-  
вия  $t_B$  ( в с ), осуществляемого с учетом указаний п. 4.9, вели-  
чину замеренного перемещения  $\bar{\Delta}_B$  необходимо привести к расче-  
тной продолжительности воздействия, принимая линейную зависи-  
мость осадки от времени по формуле  $\Delta_B = \frac{30}{t_B} \bar{\Delta}_B$  ;

$\Delta_P$  - значение то же, что и в формуле (7) с учетом п. 4.10.д;

$P$  - значение то же, что и в формуле (1);

$\bar{P}_0$  - значение то же, что и в формуле (1) при условии, что  $m_c = m_{c_1} = 1$ ;

$A_0$  - максимальное смещение сваи относительно грунта при сейсмозврявной воздействии; принимается равным абсолютному значению разности между амплитудами горизонтальных колебаний сваи и грунта: при  $A_c \geq 1, 2 u_0$  принимается  $v = 0$ ;

$u_0$  - значение то же, что и в формуле (2).

4.13. Коэффициент  $m_H$ , учитывающий увеличение вертикальной нагрузки при испытаниях за счет сил инерции, определяется по формуле

$$m_H = 1 + \frac{\alpha}{g} \quad (15)$$

где  $\alpha$  - вертикальная составляющая ускорений колебаний сваи или фундамента, замеренная при испытаниях на сейсмозврявные воздействия;

$g$  - ускорение свободного падения.

Примечание. При испытаниях на сейсмозврявные воздействия рекомендуется хотя бы одну сваю загружать вертикальной безинерционной нагрузкой с помощью пружинного виброизолятора (рис. 1а, б); в этом случае коэффициент  $m_H = 1$ .

## 5. ИСПЫТАНИЯ СВАЙ СТАТИЧЕСКИМИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ

5.1. Испытания свай статическими горизонтальными нагрузками производятся для определения величины коэффициента упругой деформации системы "свая-грунт". Количество свай, подлежащих испытаниям на горизонтальную нагрузку, устанавливается в проекте свайного фундамента сооружения.

5.2. Свай, испытанные горизонтальной статической нагрузкой в соответствии с указаниями настоящего раздела, не должны в дальнейшем использоваться в свайном фундаменте здания или сооружения.

5.3. Испытания свай статическими горизонтальными нагрузками производятся в соответствии с примечанием к п.3.2.4 ГОСТ 5686-69 "Свая и свая обечайка. Методы полевых испытаний" без усложненной 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.

5.4. Для свай в просадочных грунтах, когда замачивание обязательно неизбежно (мокрый технологический процесс или повышение уровня грунтовых вод), испытания свай горизонтальной нагрузкой должны производиться после предварительного замачивания грунта, осуществляемого в соответствии с "Руководством по проектированию свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах".

5.5. Для вечномерзлых грунтов величина коэффициента упругой деформации определяется по результатам испытаний свай в соответствии с указаниями настоящего раздела в зависимости от принципа использования вечномерзлых грунтов (в мерзлом, оттаивающем или оттаявшем состоянии) в качестве оснований зданий и сооружений в соответствии с главой СНиП II-Б.6-66. При необходимости перед испытанием организуется протаивание грунта до расчетной глубины.

5.6. Коэффициент упругой деформации системы "свая-грунт" по результатам испытаний статической горизонтальной нагрузкой одиночной свай с глубиной погружения в грунт не менее 5,0 м определяется:

а) в случае приложения статической горизонтальной нагрузки в уровне поверхности грунта по формуле

$$\alpha = 1,34 \sqrt[3]{\frac{R_{Ст}^Г}{\gamma_0 EI}} \quad (16)$$

где  $R_{Ст}^Г = 0,7 R_y$  (17)

$R_y$  - нагрузка в испытаниях, при достижении которой величина горизонтального перемещения свай начинает непрерывно возрастать без увеличения нагрузки;

$\gamma_0$  - горизонтальное перемещение свай в уровне поверхности грунта, соответствующее силе  $R_{Ст}^Г$ ; определяется по графику зависимости горизонтальных перемещений свай от нагрузки, полученному в результате испытаний в соответствии с указаниями п. 5.3;

$EI$  — жесткость поперечного сечения сваи на изгиб; для железобетонных трещиностойких свай с ненапрягаемой арматурой и для предварительно напряженных свай жесткость на изгиб  $EI$  при кратковременном действии нагрузки принимается равной жесткости железобетонного элемента  $B_k$ , определяемой в соответствии с п. 9.3<sup>х</sup> СНиП П-В. I-62<sup>х</sup> "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования"; для нетрещиностойких свай жесткость на изгиб вычисляется по значению кривизны железобетонного элемента, определяемой в соответствии с п. 9.5 СНиП П-В. I-62<sup>х</sup>.

б) в случае приложения горизонтальной статической нагрузки на высоте  $h_p$  над поверхностью грунта по формуле

$$\alpha = \sqrt[3]{-P_1 + \sqrt{P_1^2 + P_2^3}} + \sqrt[3]{-P_1 - \sqrt{P_1^2 + P_2^3}} \quad , \quad (18)$$

где

$$P_1 = -\frac{L \cdot 215 \cdot P_{ст}^r}{y_0 \cdot EI} \quad , \quad P_2 = -\frac{0,54 \cdot P_{ст}^r \cdot h_p}{y_0 \cdot EI} \quad ;$$

$P_{ст}^r, y_0, EI$  — значения те же, что и в формуле (16);

## ПРИЛОЖЕНИЕ I

ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ С УЧЕТОМ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ  
СТАТИЧЕСКОЙ ВДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

Требуется определить несущую способность сваи на осевую вдавливающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний вертикальной статической нагрузкой для свайного фундамента многоэтажного бескаркасного крупнопанельного здания. Расчетная сейсмичность - 8 баллов.

Грунтовы е условия: с поверхности на глубину 4 м залегает слой мягкопластичного суглинка ( $I_{п0,6}$ ), затем на глубину 2 м - тугопластичная глина ( $I_{п0,3}$ ) и ниже - крупный песок средней плотности, разведанный до глубины 5 м.

Свая марки СУВ-30 (серия I.011-I вып.2) из бетона марки 300 с продольной арматурой 4 $\phi$ 12 A1 с размерами сторон поперечного сечения 30x30 см длиной 8,0 м забита на глубину 7,5 м (рис.3а). График испытаний сваи осевой вдавливающей нагрузкой в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69 представлен на рис.3 б .

I. Для рассматриваемого типа зданий предельная величина средней осадки фундамента, принимаемая по табл.18 СНиП П-15-74,  $S_{ср.пр} = 10$  см. Осадку, которую получает свая под воздействием нагрузки, равной нормативному сопротивлению, определяем по формуле (13) СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup>, принимая  $\xi = 0,1$

$$\Delta = \xi \cdot S_{ср.пр} = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ см.}$$

По величине этой осадки на графике определяем нормативное сопротивление сваи  $R^H = 850$  кН.

Несущую способность  $R_{ис}$  сваи в статических условиях по результатам испытаний определяем по формуле (12) СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup>

$$R_{ис} = k_m R^H = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 850 = 680 \text{ кН.}$$

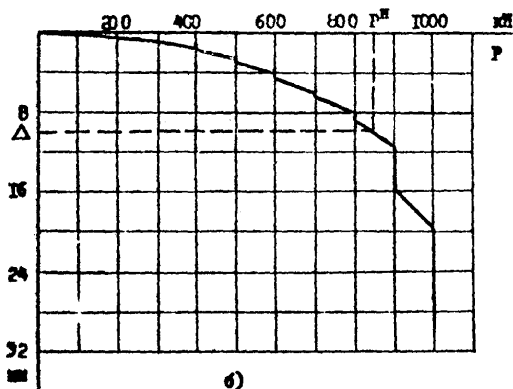
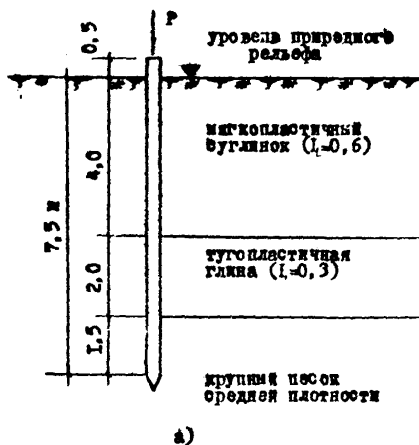


Рис.3 Схема геологического разреза (а) и график испытания свая жаривающей нагрузкой (б)

2. Расчетное значение несущей способности свай на осевую динамическую нагрузку без учета сейсмических воздействий определяем по формуле (5) СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup>

$$P = km (R^{HF} + u \sum f_i^H \ell_i)$$

где  $k=0,7$ ;  $m=1,0$ ;  $F=0,09 \text{ м}^2$ ;  $u=1,2 \text{ м}$ ;  $R^H=697 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$  (для глубины 7,5 м по табл. I СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup> с учетом перевода в систему единиц СИ);  $f_1^H=0,5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ;  $f_2^H=0,75 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ;  $f_3^H=0,9 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ;  $f_4^H=4,0 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ ;  $f_5^H=7,0 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$  (по табл. 2 СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup>).

$$P = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 10^4 / 697 \cdot 0,09 + 1,2 (0,5 \cdot 1,5 + 0,75 \cdot 2 + 0,9 \cdot 0,5 + 4,0 \cdot 2 + 7,0 \cdot 1,5) / = 61,7 \cdot 10^4 \text{ Н} = 617 \text{ кН}.$$

3. Для принятой свай величина жесткости поперечного сечения на изгиб в соответствии с п.5.6.а) настоящих Рекомендаций ЕУ-В<sub>Х</sub>-18,9 МНм<sup>2</sup>.

условная рабочая ширина свай  $b_c=1,5+0,5=1,5+0,5+0,5=0,95 \text{ м}$ . Коэффициент пропорциональности  $K$  по табл. 26 Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" для верхнего слоя грунта: мягкопластичного суглинка при  $I_L=0,6$  с учетом перевода в систему единиц СИ составляет  $4,0 \text{ МН/м}^4$ .

Коэффициент упругой деформации определяем по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{5 K b_c}{E I}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 4 \cdot 0,95}{18,9}} = 0,725 \text{ м}^{-1}.$$

Длина верхнего участка свай, вдоль которой сопротивление грунта на боковой поверхности не учитывается, равна

$$h = \frac{4}{0,725} = 5,52 \text{ м} < 6,0 \text{ м}.$$

Расчетное значение несущей способности свай с учетом сейсмических воздействий определяем по формуле (15) "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах"

$$P_c = km (m_c R^{HF} + u \sum \frac{m_c}{h} f_i^H \ell_i)$$

где  $m_c=0,85$  для песка;  $m_c=0,9$  для слоя глины;  $m_c=0,85$  для слоя



песка (по табл. 2 указанных Рекомендаций при расчетной сейсмичности 8 баллов); боковое сопротивление начинаем учитывать с глубины 5,5 м

$$R_c = 0,7^2 I_1 \cdot 10^4 / (0,85 \cdot 697 \cdot 0,09 + 1,2(0,90 \cdot 4,0 \cdot 0,5 + 0,85 \cdot 7,0 \cdot 1,5)) = 46,3 \cdot 10^4 \text{ Н} = 463 \text{ кН}.$$

4. Несущую способность свай на осевую вдавливающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний вертикальной статической нагрузкой определяем по формуле (I) настоящих Рекомендаций

$$R_c^B = \frac{463}{617} 680 = 0,75 \cdot 680 = 510 \text{ кН}.$$

Проверка сечения свай по сопротивлению материала производится в соответствии с требованиями п. 4.8 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" на совместное действие расчетных усилий (нормальной силы, изгибающего момента и перерезывающей силы).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Требуется определить несущую способность свай на осевую выдергивающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки для свайного фундамента многоэтажного бескаркасного крупнопанельного здания. Расчетная сейсмичность — 9 баллов.

**Грунтовы е условия:** с поверхности на глубину 3 м залегает слой мягкопластичного суглинка ( $I_L = 0,7$ ), затем на глубину 4,8 м — тугопластичный суглинок ( $I_L = 0,3$ ), подстилаемый слоем тугопластичной глины ( $I_L = 0,3$ ), разведанным до глубины 6,0 м.

Свая марки СУ9-35 (серии I.011+I вып. 2) из бетона марки 300

с продольной арматурой  $4\phi 12$  АП с размерами сторон поперечного сечения  $35 \times 35$  см длиной 9,0 м забита на глубину 8,5 м (рис. 4а). График испытаний такой же сваи осевой выдерживавшей нагрузкой в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69 представлен на рис. 4б.

1. Определяем несущую способность сваи на осевую выдерживавшую нагрузку в статических условиях по результатам испытаний по формуле (Г2') СНиП П-Б.5-67<sup>х</sup>

$$P_B = k m P_{BI}^H$$

где  $k = 0,7$ ;  $m = 0,8$  при глубине погружения сваи более 4 м;  $P_{BI}^H$  принимается равной нагрузке, при которой вертикальное перемещение (выход) сваи начинает непрерывно возрастать без увеличения нагрузки; по графику на рис. 4б  $P_{BI}^H = 350$  кН.

$$P_B = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 350 = 196 \text{ кН.}$$

Вертикальное перемещение (выход), соответствующее несущей способности сваи, определяется по графику испытаний и составляет  $\Delta_p = 3$  мм.

2. Для принятой сваи величина жесткости поперечного сечения на изгиб в соответствии с п. 5.6.а настоящих Рекомендаций  $EI_{\text{нр}} = 33 \text{ МН} \cdot \text{м}^2$ ; условная рабочая ширина сваи  $b_p = 1,5b + 0,5 = 1,5 \cdot 0,35 + 0,5 = 1,025 \text{ м}$ . Коэффициент пропорциональности  $K$  по табл. 26 Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" для верхнего слоя грунта - мягкопластичного суглинка при  $I_s = 0,7$  с учетом перевода в систему единиц СИ составляет  $3,0 \text{ МН/м}^4$ .

Коэффициент упругой деформации определяем по формуле

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{K b_p}{EI}} = \sqrt[5]{\frac{3 \cdot 1,025}{33}} = 0,622 \text{ м}^{-1}.$$

Длина верхнего участка сваи, вдоль которой сопротивление грунта на боковой поверхности не учитывается, равна

$$h = \frac{4}{\alpha} = \frac{4}{0,622} = 6,43 \text{ м} > 6,0 \text{ м.}$$

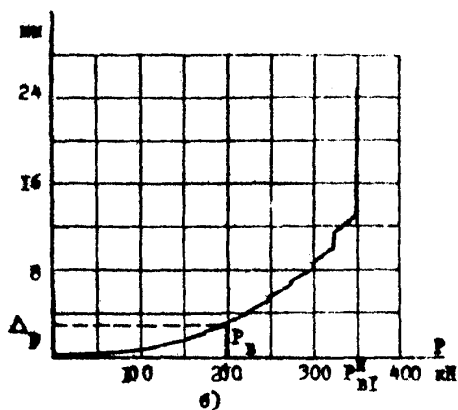
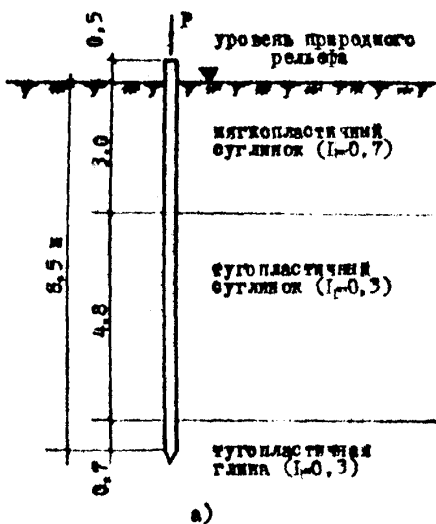


Рис. 4 Схема геологического разреза (а) и графики испытания  
 свая индериывающей нагрузкой (б)

Расчетное значение несущей способности свая на осевую выдерживающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий определяем по формуле (17) "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах"

$$R_{\text{ис}} = k m \sum_k m_{c_i} f_c^H c_i$$

где  $k = 0,7$ ;  $m = 0,8$ ;  $m_{c_i} = 0,85$  для глинистых грунтов тугопластичной консистенции при расчетной сейсмичности 9 баллов (с табл. 2 указанных Рекомендаций); боковое сопротивление  $c_i$  в соответствии с указаниями п. 3.5 настоящих Рекомендаций, начинаем учитывать с глубины 6,43 м;  $f_c^H = 4,3 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$  для глубины 6,43–8,50 м по табл. I СНиП П-Б. 5-67<sup>X</sup> с учетом перевода в систему единиц СИ.

$$R_{\text{ис}} = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,4 \cdot 0,85 \cdot 4,3 \cdot 10^4 \cdot 2,07 = 0,85 \cdot 69,8 = 59,3 \text{ кН.}$$

Полагая  $m_{c_i} = 1$ , получим расчетное значение  $R_{\text{ис}}^X = 69,8 \text{ кН}$ .

3. При испытаниях свая на совместное действие вертикальной статической выдерживающей и горизонтальной динамической нагрузки свая загружалась по схеме на рис. 2.1 б. Вертикальная статическая нагрузка создавалась с помощью домкрата, установленного на пружинный виброизоллятор, и соответствовала величине несущей способности свая на осевую выдерживающую нагрузку  $R_{\text{в}} = 196 \text{ кН}$ . В качестве вибратора направленного действия использовался вибропогрузатель ВП-1 с моментом дебалансов 930 Н·м, оборудованный двигателем постоянного тока для возбуждения колебаний с необходимой амплитудой за счет изменения частоты вращения с помощью реостата. Вибропогрузатель ВП-1 обеспечивал амплитуду горизонтальных колебаний в уровне поверхности грунта  $A_d = 5,1 \text{ мм}$  при частоте вращения  $3,6 \text{ с}^{-1}$ , что удовлетворяло требованиям п. 3.3.6 настоящих Рекомендаций, в соответствии с которыми величина амплитуды колебаний свая в уровне поверхности грунта при частоте вращения не менее  $3,6 \text{ с}^{-1}$  должна быть не менее  $1,2 y_0$ , где  $y_0$  — горизонтальное перемещение свая в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной саж-

смысловой нагрузки к свайному фундаменту сооружения.

Величина  $u_0$  была определена расчетом по формуле (2) настоящих Рекомендаций при следующих данных:  $\omega = 0,622 \text{ м}^{-1}$ ;  $EI = 33 \text{ МН} \cdot \text{м}^2$ ; расчетная сейсмическая нагрузка в уроне подошвы низкого ростверка на одну свай  $N = 33 \text{ кН} = 0,033 \text{ МН}$ ; приведенная глубина погружения  $\bar{l} = \omega l = 0,622 \cdot 8,5 = 5,29 > 4$ . По табл. 29 Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" при  $\bar{l} \approx 4$  находим коэффициенты  $A_0 = 2,44I$ ;  $B_0 = 1,62I$ ;  $C_0 = 1,75I$ . По формуле (3) настоящих Рекомендаций вычисляем коэффициент

$$p = 2,44I - \frac{1,62I^2}{1,75I} = 0,94I.$$

Тогда

$$u_0 = \frac{0,94I \cdot 0,033}{0,622^2 \cdot 33} = 0,0039 \text{ м} = 3,9 \text{ мм}.$$

Амплитуда колебаний должна быть не менее  $1,2 u_0 = 1,2 \cdot 3,9 = 4,6 \text{ мм}$ .

При горизонтальных динамических воздействиях с указанными выше характеристиками продолжительностью 30 с выход (вертикальное перемещение) свай составил  $\Delta_T = 2,4 \text{ мм}$ . Величину коэффициента  $m_T$ , учитывающего снижение сопротивления грунта на боковой поверхности вдоль верхнего участка свай, определяем по формуле (7) настоящих Рекомендаций

$$m_T = \frac{I}{I + \frac{2,4}{3,0}} = 0,56.$$

4. Несущую способность свай на осевую выдерживавшую нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки определяем по формуле (6) настоящих Рекомендаций

$$R_{\text{св}}^{\text{с}} = \frac{m_T \cdot R_{\text{св}}^{\text{ст}}}{R_{\text{св}}^{\text{д}}} = \frac{0,56 \cdot 92,9}{69,8} = 74,9 \text{ кН}.$$

Проверка сечения свай по сопротивлению материала производится в соответствии с требованиями п. 4.8 "Рекомендаций по проектиро-

вания оснований и фундаментов зданий и сооружения, возводимых в сейсмических районах" на совместное действие расчетных усилий (осевой выдергивавшей силы, изгибающего момента и перерезывавшей силы).

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА СЕЙСМОВЗРЫВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Требуется определить несущую способность свай с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на сейсмозврывные воздействия для свайного фундамента под колонку одноэтажного промышленного здания. Расчетная сейсмичность - 8 баллов.

**Грунтово-неусловия:** с поверхности на глубину 2,1 м залегает насыпной слой с включениями торфа, подстилаемый слоем заиленного мелкозернистого водонасыщенного песка плотного и среднеплотного сложения.

На сейсмозврывные воздействия испытывается куст из 4 свай, объединенных монолитным железобетонным ростверком, с расстоянием между сваями в ослх 2,0 м (рис. 2а). Зазор между подошвой ростверка и поверхностью грунта составляет 10 см. Свая марки СУ5, 5-30 (серия I.011-I вып. 2) из бетона марки 200 с продольной арматурой 4#12 АІ с размерами сторон поперечного сечения 30x30 см длиной 5,5 м забиты на глубину 4,9 м. Две сваи перед бетонированием ростверка были испытаны осевой вдавливающей нагрузкой в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69. Схема геологического разреза и график испытаний свай осевой вдавливающей нагрузкой представлены на рис. 5 (графики для обеих свай практически совпадают).

I. Для рассматриваемого типа зданий предельная величина средней осадки фундамента, принимаемая по табл. ІВ СНиП П-15-74,  $S_{ср. пр} = 8$  см.

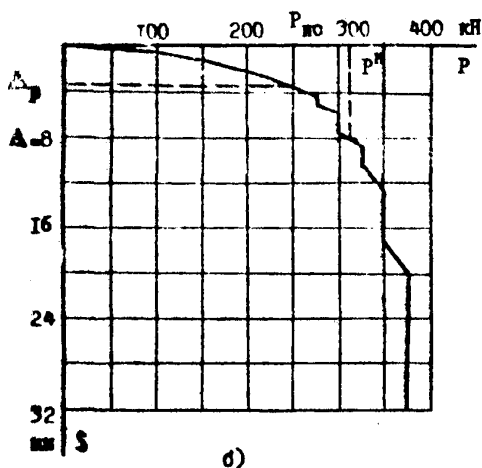
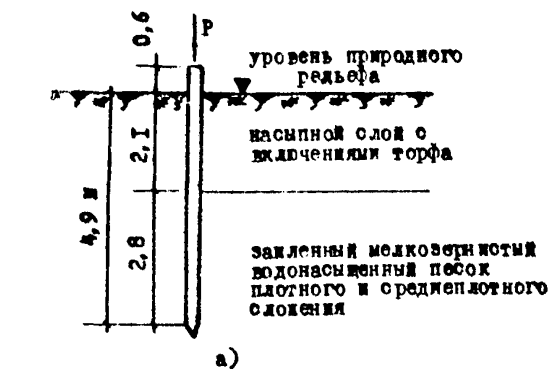


Рис. 5 Схема геологического разреза (а) и график испытаний свая под давящей нагрузкой (б)

Осадку, которую получает свая под воздействием нагрузки, равной нормативному сопротивлению, определяем по формуле (13) СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup>, принимая  $\xi = 0,1$

$$\Delta = \xi \cdot S_{\text{ср.пр}} = 0,1 \cdot 8 = 0,8 \text{ см.}$$

По величине этой осадки на графике определяем нормативное сопротивление сваи  $R^H = 213 \text{ кН}$ .

Несущую способность  $R_{\text{ис}}$  сваи в статических условиях по результатам испытаний определяем по формуле (12) СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup>

$$R_{\text{ис}} = k \cdot R^H = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 213 = 250 \text{ кН.}$$

Осадка сваи, соответствующая несущей способности, определяется по графику испытаний и составляет  $\Delta_p = 3,7 \text{ мм}$ .

2. Расчет сейсмозащитного воздействия производим по указаниям раздела 4 настоящих Рекомендаций.

Ускорения колебаний грунта при 8-балльном воздействии в соответствии с сейсмической шкалой ГОСТ 6249-52 должны находиться в пределах 100-200 см/с<sup>2</sup> при периодах от 0,1 до 0,5 с.

Принимая ускорение  $\alpha = 130 \text{ см/с}^2$  и период колебаний  $T = 0,2 \text{ с}$  определим коэффициент  $c$  из формулы (11)

$$c = \frac{\alpha \cdot T}{1300} = \frac{130 \cdot 0,2}{1300} = 0,02 \text{ кг}^{1/2} \cdot \text{м}^{-3/2};$$

По формуле (9) определим расстояние  $R$ , приняв  $\tau = 0,13$ ,

$$\sqrt[4]{R} = \frac{T}{\tau} = \frac{0,2}{0,13} = 1,538; \quad R \approx 35 \text{ м.}$$

Поскольку  $R = 35 \text{ м} > 10 \cdot b = 3 \text{ м}$  ( $b$  - поперечный размер опытной сваи, равный 0,3 м) соблюдается условие плоской волны.

Находим величину одного заряда ВВ:

$$C = c^2 \cdot n^{2/3} \cdot R^3 = 0,02^2 \cdot 0,34^{2/3} \cdot 35^3 = 8,2 \text{ кг.}$$

Принимаем массу одного заряда равной 10 кг.



Глубину заложения заряда определяем по формуле (12)

$$\bar{H} = \sqrt[3]{\frac{10}{1,0(0,4+0,6 \cdot 0,34^3)}} = 2,9 \text{ м.}$$

Принимаем  $\bar{H} = 3,0$  м. Расстояние между зарядами (п.4.8 настоящих Рекомендаций) равно  $2/3 \bar{H} = 2$  м.

Общую продолжительность воздействия принимаем равной 15 с. Промежуток времени между взрывами отдельных зарядов ВВ - не более 2,5 т.е. 0,5 с (п.4.9 настоящих Рекомендаций). Тогда количество зарядов ВВ должно быть не менее 30. Размещаем заряды в скважинах, расположенных в два ряда (по 15 скважин в каждом ряду). Расстояние от испытываемого фундамента до первого ряда скважин составляет 33 м, второй ряд располагаем на расстоянии 35 м. Поскольку первый ряд располагается ближе к фундаменту, величину заряда в этом ряду необходимо уменьшить и принять

$$C = 0,02^2 \cdot 0,34^{2/3} \cdot 33^3 = 7 \text{ кг.}$$

Для зданий и сооружений, находящихся поблизости от площадки испытаний, безопасным будет воздействие интенсивностью 6 баллов. Расстояние, соответствующее этому воздействию, определим по формулам п.4.7 настоящих Рекомендаций. При  $a = 30 \text{ см/с}^2$  (для 6 баллов),  $T = 0,25$  с.  $C = 10$  кг имеем:

$$c = \frac{30 \cdot 0,25}{1300} = 0,0058 \text{ кг м}^{1/2} \text{ с}^{-3/2};$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{C}{c^2 n^{2/3} \Gamma}} = \sqrt[3]{\frac{10}{0,0058^2 \cdot 0,34^{2/3}}} = 88 \text{ м.}$$

Взрывное поле на испытательной площадке располагаем таким образом, чтобы расстояние от зарядов второго ряда до ближайших зданий было не менее 88 м.

Результаты контрольных взрывов (взрывалось по одному заряду из каждого ряда) показали правильность подбора величин зарядов и расстояний.

3. Загружение свайного фундамента производилось бетонными блоками по схеме на рис. 2а. Вертикальная статическая нагрузка в опытах соответствовала суммарной несущей способности свай и составляла 300 кН.

4. При испытаниях свайного фундамента на сейсмозврывное воздействие получены следующие результаты:

- ускорения колебаний грунта возле свай соответственно в вертикальном, продольном и поперечном направлениях :  $a_{\text{ГР}}^{\text{В}} = 52 \text{ см/с}^2$ ;  $a_{\text{ГР}}^{\text{ПР}} = 103 \text{ см/с}^2$

$a_{\text{ГР}}^{\text{ПОП}} = 35 \text{ см/с}^2$  (вектор ускорения колебаний грунта  $a_{\text{ГР}} = 120 \text{ см/с}^2$ )

- период колебания грунта  $T = 0,22 \text{ с}$ ;

- вертикальная составляющая ускорений колебаний свай

$$a_{\text{СВ}}^{\text{В}} = 50,6 \text{ см/с}^2;$$

- продолжительность сейсмозврывного воздействия  $t_{\text{В}} = 16,4 \text{ с}$ ;

- осадка свай в процессе сейсмозврывного воздействия  $\Delta_{\text{Г}} = 0,93 \text{ мм}$ ;

расчетная осадка свай за 30 с сейсмозврывного воздействия -

$$\Delta_{\text{В}} = \frac{30 \cdot 0,93}{16,4} = 1,7 \text{ мм};$$

- амплитуда горизонтальных колебаний свай в уровне поверхности грунта  $A_{\text{СВ}}^{\text{Г}} = 1,6 \text{ мм}$ ;

- амплитуда горизонтальных (продольных) колебаний грунта возле свай  $A_{\text{ГР}}^{\text{ПР}} = 1,9 \text{ мм}$ .

Замеренные характеристики колебаний грунта возле свайного фундамента, а также величина смещения маятника сейсмометра СБМ позволяют оценить интенсивность сейсмозврывного воздействия в 8 баллов.

5. Горизонтальное перемещение свай в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной сейсмической горизонтальной нагрузки к свайному фундаменту сооружения  $U_0 = 5,6 \text{ мм}$  (величина  $U_0$  определена по формуле (2) при следующих данных:  $K = 2 \text{ кН/м}^4$ ,  $EI = 18,9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$ ,  $v_0 = 0,95 \text{ м}$ ,  $\bar{t} = 3,09$ ;  $A_0 = 2,625$ ;  $B_0 = 1,705$ ;  $C_0 = 1,721$ ;  $p = 1,002$ ;  $N = 27 \text{ кН}$ ).

6. Максимальное смещение свай относительно

грунта  $A_{\sigma} = A_{\sigma_{0.5}}^F - A_{\sigma_{0.5}}^{ПР} = 1,6 - 1,9 = 0,3 \text{ мм} < 1,2 \cdot \gamma_0 = 1,2 \cdot 5,6 = 6,72 \text{ мм}$ .

Расчетное значение несущей способности сваи в статических условиях определяем по формуле (5) СНиП П-Б.5-67<sup>х</sup>, не учитывая сопротивление нижнего слоя с включением торфа:

$$R = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 10^4 / 200 \cdot 0,09 + 1,2(3,5 \cdot 2,0 + 3,9 \cdot 0,8) / = 21,1 \cdot 10^4 \text{ Н} = 211 \text{ кН}$$

Расчетное значение несущей способности сваи с учетом сейсмических воздействий при условии, что сейсмические коэффициенты  $m_c = m_{c1} = 1$ , определяем по формуле (15) "Рекомендации по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах":

$$\bar{R}_0 = 0,7 \cdot 1,0 \cdot 200 \cdot 10^4 \cdot 0,09 = 12,6 \cdot 10^4 \text{ Н} = 126 \text{ кН}$$

По формулам (14) и (15) определяем коэффициенты  $m_{\sigma}$  и  $m_{\mu}$ :

$$m_{\sigma} = \frac{1}{1 + \frac{1,7}{3,7} + \frac{211 - 126}{126} \left( \gamma - \frac{0,3}{6,72} \right)} = 0,47; \quad m_{\mu} = 1 + \frac{50,6}{91 \cdot 1} = 1,05$$

Несущую способность сваи с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на сейсмозвряные воздействия определяем по формуле (13)

$$R_0 = 0,47 \cdot 1,05 \cdot 250 = 123 \text{ кН}$$

Проверка сечения сваи по сопротивлению материала производится на совместное действие расчетных усилий (осевой нагрузки, изгибающего момента и перерезывающей силы).

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

##### ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ "СВАЯ-ГРУНТ" ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ СВАИ В ГРУНТЕ

Требуется определить коэффициент упругой деформации системы "свая-грунт" по результатам испытания сваи статической горизонтальной нагрузкой и выполнить проверку прочности сечения сваи и устойчивости сваи в грунте для свайного фундамента под колонну промышленного здания. Расчетная сейсмичность - 8 баллов.

Грунтовыми условиями: с поверхности на глубину 3 м залегают текучепластичные суглинки ( $I_c = 0,8$ ;  $c^H = 10 \text{ кН/м}^2$ ;  $\varphi^H = 12^\circ$ ;  $\gamma_0 = 1,73 \text{ г/см}^3$ ), затем на глубину 5,6 м - мягкопластичная глина ( $I = 0,55$ ;

$\sigma^H = 40 \text{ кН/м}^2$ ;  $\varphi^H = 15^\circ$ ;  $\gamma_0 = 1,8 \text{ г/см}^3$ ), подстилаемая графитно-галечниковыми отложениями с песчаным заполнением, разведанными на глубину 5 м.

Свая марки С10-30 (серии I.0II-I вып.2) из бетона марки 300 с продольной арматурой 4#I4 АП с размерами сторон поперечного сечения 30x30 см длиной 10 м забита на глубину 9,5 м (рис.6а). Несущая способность сваи на вертикальную нагрузку как в статических условиях, так и при учете сейсмических воздействий в соответствии с п.5.2 СНиП П-Б.5-67<sup>X</sup> и п.4.11 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" составляет  $R = R_c = 1260 \text{ кН}$ . График испытаний сваи горизонтальной статической нагрузкой форсированным методом в соответствии с указаниями раздела 5 настоящих Рекомендаций представлен на рис.6б.

Фундамент под колонну промышленного здания запроектирован в виде куста из четырех свай сечением 30x30 см с глубиной погружения 9,5 м (сваи марки С10-30). Расстояние между осями свай в кусте 1,2 м. Верхние концы свай жестко заделаны в монолитный ростверк.

На фундамент под колонну действует вертикальная нагрузка

$N = 1900 \text{ кН}$ , изгибающий момент  $M = 405 \text{ кН}\cdot\text{м}$  и горизонтальная сила  $H_0 = 132 \text{ кН}$ .

1. При расчете нетрещиностойких свай можно пользоваться двумя значениями жесткости поперечного сечения свай на изгиб:  $(EI)_{\text{макс}}$  и  $(EI)_{\text{мин}} = 0,4(EI)_{\text{макс}}$ , используя первое значение при определении изгибающего момента, второе - при определении перемещений свай, поперечной силы и давления, оказываемого на грунт боковыми поверхностями свай. Значение  $(EI)_{\text{макс}}$  определяется как для трещиностойких свай под кратковременным действием нагрузки в соответствии с п.

9.3<sup>X</sup> СНиП П-В.1-62<sup>X</sup> по формуле  $(EI)_{\text{макс}} = B_k = 0,85 E_0 I_{\text{п}}$ . Для принятой сваи

$$E_0 = 31500 \text{ МПа/м}^2, I_{\text{п}} = 7,1 \cdot 10^4 \text{ м}^4$$

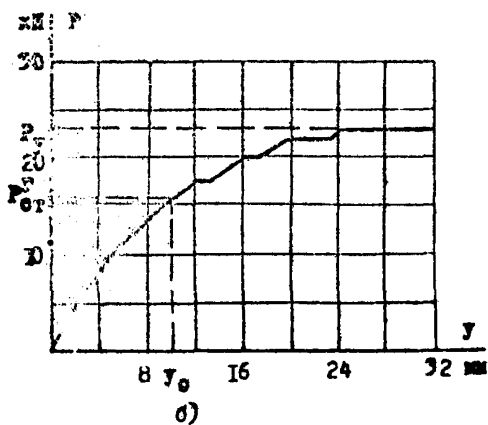
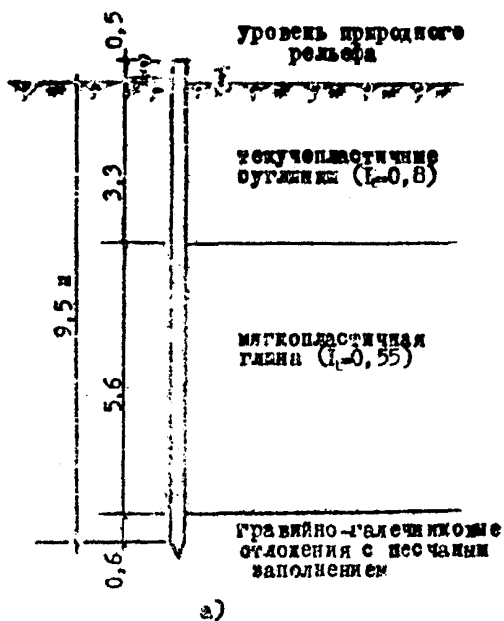


Рис.6 Схема геологического разреза (а) и график изменения сил горизонтальной статической нагрузки (б)

$$(EI)_{\max} = B_k = 19 \text{ МН} \cdot \text{м}^2 ; (EI)_{\min} = 0,4 B_k = 7,6 \text{ МН} \cdot \text{м}^2.$$

По графику на рис.66 нагрузка, при достижении которой величина горизонтального перемещения сваи начинает непрерывно возрастать без увеличения нагрузки, составляет  $P_y = 29 \text{ кН}$ . По формуле (17) величина  $P_{CT}^T = 0,7 \cdot 29 = 16,3 \text{ кН} = 0,0163 \text{ МН}$ . Горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта, соответствующее силе  $P_{CT}^T$ , определяется по графику и составляет  $u_0 = 10,3 \text{ мм} = 0,0103 \text{ м}$ .

Величину коэффициента упругой деформации определяем по формуле (16), используя два значения  $EI$ :

$$\text{при } (EI)_{\max} \quad \alpha_1 = 1,34 \sqrt[3]{\frac{0,0163}{0,0103 \cdot 19}} = 0,583 \text{ м}^{-1}$$

$$\text{при } (EI)_{\min} \quad \alpha_2 = 1,34 \sqrt[3]{\frac{0,0163}{0,0103 \cdot 7,6}} = 0,791 \text{ м}^{-1}$$

2. Выполним проверку прочности сечения сваи на совместное действие расчетных усилий: осевой нагрузки, изгибающего момента и поперечной силы.

Расчетные нагрузки на сваю, входящие в элемент, определяются по формуле (22) СНиП II-Б.5-67<sup>X</sup>

$$P = \frac{N}{n} \pm \frac{M \cdot x}{\sum x^2} ; \sum x^2 = 4 \cdot 1,2^2 = 5,76 \text{ м}^2 ;$$

$$P = \frac{1900}{4} \pm \frac{405 \cdot 1,2}{5,76} = 475 \pm 85$$

$$P_{\max} = 560 \text{ кН} \quad , \quad P_{\min} = 390 \text{ кН} .$$

Горизонтальная нагрузка на каждую сваю

$$H = \frac{132}{4} = 33 \text{ кН} .$$

Для различных сочетаний горизонтальной и вертикальной нагрузки величину изгибающего момента и поперечной силы определяем по формулам (18) и (19) "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах". при-

нимая в первом случае  $EI = (EI)_{\max}$ ;  $\alpha = \alpha_1$  и во втором случае  $EI = (EI)_{\min}$ ;  $\alpha' = \alpha_2$

$$\text{при } P_{\max} = 560 \text{ кН } M_{\max}^{\text{изг}} = \frac{\alpha_1 (EI)_{\max}}{\alpha_1^2 (EI)_{\max} - P} = \frac{0,583 \cdot 33 \cdot 19 \cdot 10^3}{0,583^2 \cdot 19 \cdot 10^3 - 560} =$$

$$= \frac{365541}{5868} = 62,3 \text{ кН} \cdot \text{м} ,$$

$$Q_{\max} = N = \frac{PH}{\alpha_2^2 (EI)_{\min} - P} = 33 + \frac{560 \cdot 33}{0,791^2 \cdot 7,6 \cdot 10^3 - 560}$$

$$= 33 + \frac{18400}{4162} = 37,4 \text{ кН} .$$

при  $P_{\min} = 390 \text{ кН}$   $M_{\max}^{\text{изг}} = 60,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$  ,  $Q_{\max} = 36,3 \text{ кН}$ .

В соответствии с п.4.3 "Рекомендация по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах", разворот квадратных свай в плане относительно продольных и поперечных осей здания не допускается. При соблюдении указанного условия и при исключении возможности поворота здания в плане при сейсмических воздействиях (т.е. при отсутствии эксцентриситета между центром масс и центром жесткости сооружения в плане), проверка прочности свай производится на внецентренное сжатие ( в противном случае - на косое внецентренное сжатие) в соответствии с главой СНиП II-V.1-62<sup>X</sup>.

Для проверки принятой свай С10-30 по прочности на внецентренное сжатие воспользуемся вспомогательными графиками выпуска I рабочих чертежей забивных железобетонных свай серии I.OII-I. Свай марки С10-30 сечением 30x30 см из бетона марки 300 с ненапрягаемой стержневой арматурой 4I4 АП при расчете по прочности на внецентренное сжатие могут воспринимать следующие максимальные величины изгиба-

ших моментов:

$$\text{при } R_{\text{макс}} = 560 \text{ кН} \quad M_{\text{доп}} = 71 \text{ кН}\cdot\text{м} > 62,9 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$\text{при } R_{\text{мин}} = 390 \text{ кН} \quad M_{\text{доп}} = 62 \text{ кН}\cdot\text{м} > 60,0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Проверяем прочность наклонного сечения сваи на действие поперечной силы в соответствии с главой СНиП II-V.1-62<sup>x</sup>. Для бетона марки 300 расчетное сопротивление растяжению  $R_p = 1050 \text{ кН/м}^2$ , ширина сечения  $b = 0,3 \text{ м}$ , рабочая высота сечения  $h_0 = 0,26 \text{ м}$ , величина

$$R_p \cdot b \cdot h_0 = 1050 \cdot 0,3 \cdot 0,26 = 81,9 \text{ кН} > R_{\text{макс}} = 37,4 \text{ кН}.$$

Следовательно, расчета прочности сечения на поперечную силу не требуется и поперечная арматура ставится конструктивно.

Прочность сечения сваи удовлетворяет требованиям расчета.

3. Проверку устойчивости сваи в грунте по условию ограничения давления, оказываемого на грунт боковыми поверхностями сваи, произведем в соответствии с п. 4.18 "Рекомендации по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах", принимая расчетное значение угла внутреннего трения грунта пониженным на величину  $\Delta\varphi = 4^\circ$  при расчетной сейсмичности 8 баллов.

Величину максимального давления, оказываемого боковой поверхностью сваи на грунт при жесткой заделке сваи в вязкий ростверк, определяем по формуле (20) указанных "Рекомендация", принимая значения  $EI =$

$$(EI)_{\text{мин}} = 7,6 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м}^2; \quad \alpha = \alpha_2 = 0,791 \text{ м}^{-1} \quad \text{и } R = R_{\text{макс}} = 560 \text{ кН:}$$

$$\sigma_z^{\text{макс}} = \frac{0,7 \cdot \alpha_2^3 \cdot N \cdot (EI)_{\text{мин}}}{\gamma_c \cdot \alpha_2^2 \cdot (EI)_{\text{мин}} - R_{\text{макс}}} = \frac{0,7 \cdot 0,791^2 \cdot 33 \cdot 7,6 \cdot 10^3}{0,95(0,791^2 \cdot 7,6 \cdot 10^3 - 560)} = 21,93 \text{ кН/м}^2$$

Максимальное давление сваи на грунт имеет место на глубине

$$z = 1,2 / \alpha_2 = 1,2 / 0,791 = 1,52 \text{ м.}$$

Расчетное значение угла внутреннего трения текучепластичного суглинка  $\varphi = 0,9 \varphi^H = 0,9 \cdot 120 - 40 = 60^\circ$ ,

сцепления  $c = 0,4c^H = 0,4 \cdot 10 \text{ кН/м}^2 = 4 \text{ кН/м}^2$ . Допускаемое давление на грунт на глубине 1,52 м с учетом сейсмических воздействий определяем по формуле (62) Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных



фундаментов", вводя в расчет пониженное на  $4^\circ$  значение угла внутреннего трения текучеэластичного суглинка:

$$R_{гр} = \eta_1 \eta_2 \frac{q}{\cos \varphi} (\gamma z \operatorname{tg} \varphi + c) =$$

$$= 1,0 \cdot 1,0 \frac{q}{\cos 6^\circ} (1,73 \cdot 1,52 \cdot 10 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ + c) = 27,7 \text{ кН/м}^2.$$

Так как  $R_{гр} = 27,7 \text{ кН/м}^2 > \sigma_z^{\text{макс}} = 21,9 \text{ кН/м}^2$ , устойчивость свай в грунте по условиям ограничения давления, оказываемого на грунт боковыми поверхностями свай, обеспечена.

Оставляем принятым по серии I.OII-I марку свай СЮ-30 сечением  $30 \times 30$  см длиной 10 м с глубиной погружения 9,5 м. При жесткой заделке свай в нижний ростверк величина горизонтальной расчетной сейсмической нагрузки на нее может быть принята равной 33 кН при диапазоне вертикальных нагрузок от 390 до 500 кН.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Общие положения . . . . .	3
2. Испытания свай статическими осевыми нагрузками. . . . .	4
3. Испытания свай на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки . . . . .	5
4. Испытания свайных фундаментов на сейсмозрывные воздействия .II	
5. Испытания свай статическими горизонтальными нагрузками. . . .	18
Приложение 1. Пример определения несущей способности свай с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний статической вдавливающей нагрузкой . . . . .	21
Приложение 2. Пример определения несущей способности свай по результатам испытаний на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки. . . . .	24
Приложение 3. Пример определения несущей способности свай по результатам испытаний свайного фундамента на сейсмозрывные воздействия. . . . .	29
Приложение 4. Пример определения коэффициента упругой деформации системы "свая-грунт" по результатам полевых испытаний. Проверка прочности и устойчивости свай в грунте . . . . .	34

**Рекомендации по испытанию свайных фундаментов  
зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах**

**Редактор, доктор  
технических наук В.А.Ильичев**

**Подписано к печати**

**ЛИ 11150**

**формат 60x90 I/16 , тираж 500 экземпляров.**

**2,62 печ. л., 1,6 уч.-изд.л.**

**Цена 20 коп**

---

**Печатно-графический цех  
института "Красноярский промстройинипроект",  
Красноярск, пр.Свободный, 75**