НИИОСП
КПСНИИП

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

Проектный и научно-исследовательский институт "Красноярский
промстройниипроект"
Минтяжстроя СССР

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

МОСКВА-1976

gost.e-ecolog.ru

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

Проектный и научно-исследовательский институт "Красноярскпромстройниипроект"
Минтяжстроя СССР

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

МОСКВА 1976

УДК 624.159.14

"Рекомендации по испытанию 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 Промстройниипроекте. Разработка Рекомендаций осуществлена лабораторией динамики грунтов НИИ оснований (д.т.н.В.А.Ильичев,к.т.н.О.В.Монголов,к.т. В.И.Шаевич) и лабораторией сейсмостойкости и динамики сооружений Красноярского Промстройниипроекта (к.т.н. С.И.Гриб).Общее редактирование текста проведено В.А.Ильичевым.

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

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, 1976.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

I.2. Рекомендации распространяются на испытания свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах.

Примечания. I. Испытания свай для определения несущей способности на вертикальную нагрузку без учета сейсмических воздействий проводятся в соответствии с требованиями СНиП II-Б.5-67[X] "Свайные фундаменты. Нормы проектирования" и ГОСТ 5686-69 "Сваи и сваи-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 АН МССР Молдавии, Кишинев, 1974).

I.3. Объем и состав изысканий, необходимых для проектирования свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, назначается в соответствии с главами СНиП II-А.12-69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования", СНиП II-Б. 5-67[X] "Свайные фундаменты. Нормы проектирования", "Рекомендациями по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах", с учетом настоящих Рекомендаций.

I.4. На основании полевых испытаний, выполненных в соответствии с настоящими Рекомендациями, определяется несущая способность сваи 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 сваи.

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_{ct}, учитывающих влияние сейсмических колебаний на напряженное состояние грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи, 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 $P_c^в$ сваи на осевую вдавливающую (выдергивающую) нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам полевых испытаний определяется по формуле

$$P_c^в = \frac{P_c}{P} P_{ис} \qquad (I)$$

где P_c – расчетное значение несущей способности сваи 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";

P – расчетное значение несущей способности сваи на осевую вдавливающую (выдергивающую) нагрузку без учета сейсмических воздействий, определяемое по указаниям СНиП II-Б.5-67^{X} "Свайные фундаменты. Нормы проектирования" или "Руководство по проектированию свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах" (Стройиздат, М. 1969);

$P_{ис}$ – несущая способность сваи, определяемая по результатам испытаний вдавливающей (выдергивающей) статической нагрузкой в соответствии с главой СНиП II-Б.5-67^{X} 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 свай 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 5686-69 "Сваи и сваи-оболочки. Методы полевых испытаний", причем испытанные сваи не должны в дальнейшем использоваться в свайном фундаменте сооружения. Количество свай, подлежащих испытанию 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 сваи P, определяемой в соответствии с п.6.3[X] СНиП II-Б.5-67[X] 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 сваи и жестко связанного с ней, создаются горизонтальные динамические воздействия на сваю продолжительностью 30 с при постоянной частоте вращения, не превышающей 10 $с^{-1}$; горизонтальное раскачивание сваи должно происходить с постоянной амплитудой, величина которой в уровне поверхности грунта $A_д = 1,2\, y_0$, где y_0 – горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной сейсмической нагрузки к свайному фундаменту

сооружения; при горизонтальных динамических воздействиях регистрируются амплитуда колебаний $A_д$ и осадка сваи $\Delta_т$ 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-I "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 ВИ-I ВП-2 или ВПП, 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

$$y_0 = \frac{pH}{\alpha^3 EI} \quad . \qquad (2)$$

Значения коэффициента p вычисляются:

- для свай, защемленных в низкий ростверк, по формуле

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

- для свай, защемленных в высокий ростверк, по формуле

$$p = A_0 + \alpha B_0 \left(l_0 - \frac{\alpha \bar{p}}{C_0 + \alpha l_0} \right) \; , \qquad (4)$$

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

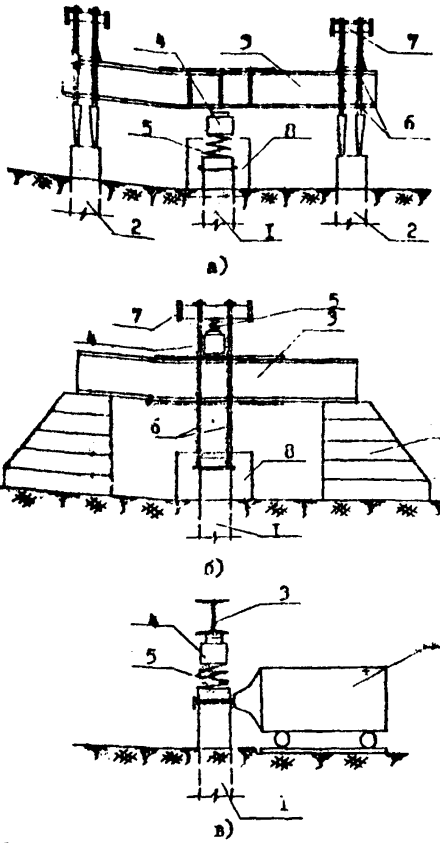


Рис.1 Схемы испытания свай на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки

(I-испытываемая свая; 2-анкерная свая; 3-упорная балка; 4-домкрат; 5-пружинный виброизолятор; 6-тяги с захватом; 7-балансир; 8-вибратор; 9-опорная плита)

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

$$p = A_0 + \alpha \ell_0 B_0 + \frac{\alpha B_0 M}{H}. \qquad (5)$$

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

A_0, B_0, C_0 – коэффициенты, зависящие от приведенной глубины погружения сваи $\ell = \alpha l$ (l – действительная глубина погружения сваи в грунт); для забивных свай принимаются равными соответственно коэффициенты A_{0_I}/C_{0_I}, A_{0_2}/C_{0_I} и C_{0_2}/C_{0_I} в таблице 29 Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" (Стройиздат, М. 1971);

H – расчетная горизонтальная сейсмическая нагрузка, приходящаяся на одну сваю;

M – внешний изгибающий момент, действующий на свободно стоящую сваю;

α – коэффициент упругой деформации, определяемый по указаниям раздела 5 настоящих Рекомендаций или по формуле (16) "Рекомендаций 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 сваи производится стандартной сейсмометрической аппаратурой (сейсмоприемниками типа СВС, ВБП-3, СМ-2 и др.) в комплекте 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 выдергивающей и горизонтальной динамической нагрузки выполняются аналогично испытаниям п.3.3, при этом свая с помощью домкрата, установленного на пружинный виброизолятор, загружается статической инерционной нагрузкой по величине равной несущей способности $P_в$, определяемой в соответствии с п.6.7[X] СНиП II-Б.5-67[X] по результатам испытаний такой же сваи осевой выдергивающей нагрузкой; при гори-

зонтальных динамических воздействиях продолжительностью 30 с регистрируется вертикальное перемещение (выход) сваи Δ_T

3.5. Несущая способность P_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

$$P_C^B = \frac{m_T P_C}{P_C^X} P \qquad (6)$$

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;

P_C – значение то же, что и в формуле (I), 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 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах";

P_C^X – значение то же, что и P_C, при условии, что $m_C = m_{C_L} = I$;

P – 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

$$m_T = \frac{I}{I + \frac{\Delta_T}{\Delta_P}} \qquad (7)$$

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

Δ_p – вертикальное перемещение (осадка или выход) 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 сейсмовзрывные воздействия следует проводить в случае применения свай в грунтовых условиях, для которых значения коэффициентов условий работы m_0 и m_{0i}, 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 сейсмовзрывные 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 сейсмовзрывные 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 одиночных 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 опытном фундаменте должно быть не менее двух при условии расположения короткой стороны фундамента в плоскости, перпендикулярной направлению фронта сейсмовзрывной волны. При устройстве опытного фундамента необходимо обеспечить зазор между подошвой низкого ростверка и поверхностью грунта, т.к. при реальных сейсмических колебаниях контакт подошвы ростверка с грунтом может быть нарушен.

4.5. Сейсмовзрывное 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 сейсмовзрывном воздействии производится по величинам расчетных характеристик, к которым относятся смещения маятника сейсмометра СБМ, 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 из условия 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-

четных характеристик колебаний грунта в соответствии с формулами М.А.Садовского* (8-11) и проверяются одиночными контрольными взрывами на площадке

$$A = 30\ c\ \tau \tag{8}$$

$$T = \tau\ \zeta_y\ R \tag{9}$$

$$v = 200\ c \tag{10}$$

$$a = \frac{1300\ c}{T} \tag{11}$$

где

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

A, T, v и a – расчетные характеристики колебаний грунта, соответственно амплитуда (см), период (с), скорость (см/с) и ускорение ($см/с^2$), 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 $R \geq 10\,в$, где в – поперечный размер сваи;

n_r – показатель горна; при испытаниях принимается $n_r = 0,34$;

τ – коэффициент, учитывающий влияние свойств грунта на период колебаний; принимается для наносов средней прочности $\tau = 0,06-0,09$, для водонасыщенных слабых грунтов (плывуны, 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

$$\bar{H} = \sqrt[3]{\frac{C}{k_в(0,4 + 0,6 n_г^3)}} , \qquad (12)$$

где C и $n_г$ – значения те же, что и в формулах (8-II);

$k_в$ – коэффициент, учитывающий свойства грунта; принимается для песчаных грунтов $k_в$=I,0-I,2; для глинистых – $k_в$=0,9-I,3; для насыпных – $k_в$=0,8.

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

4.9. Продолжительность сейсмовзрывного 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 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 $2T < t < 3T$, где T – период колебаний грунта, определяемый по формуле (9).

4.I0. Комплекс полевых работ при испытаниях свай и свайных фундаментов на сейсмовзрывные 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;

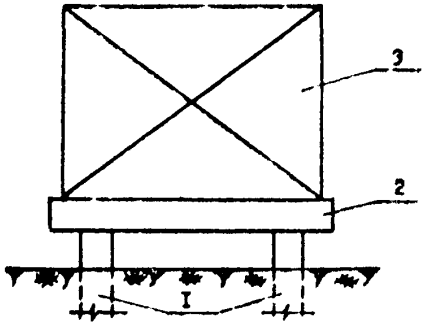
г) после обработки записей колебаний грунта от контрольных взрывов уточняется количество ВВ на каждый взрыв в серии, лимитирующий сейсмическое воздействие; при необходимости повторяются контрольные взрывы с уточненным зарядом ВВ;

д) производится загружение свай и фундаментов вертикальной статической (вдавливающей или выдергивающей) нагрузкой, соответствующей величине несущей способности свай, определяемой в соответствии с п.6.3[X] или 6.7[X] СНиП II-Б.5-67[X] с учетом требований п.4.4 настоящих Рекомендаций; время между окончанием загружения испытываемых конструкций и началом осуществления сейсмовзрывного 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;

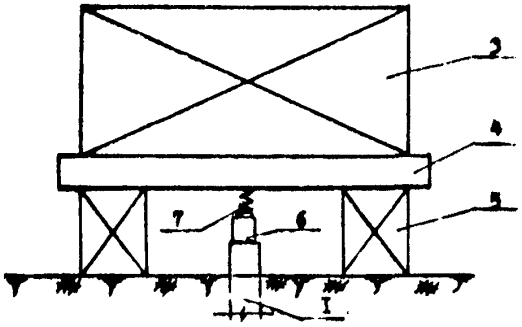
е) испытываемые конструкции оборудуются приборами для измерения упругих и остаточных перемещений в вертикальном и горизонтальном направлении (см. п.3.3 примечание 5); устанавливается комплект аппаратуры на грунте вблизи фундамента (помимо аппаратуры, указанной в примечании 5 к п.3.3, запись колебаний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

ж) осуществляется сейсмовзрывное 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 $P_c^в$ одиночной сваи или свайного фундамента на вертикальную (вдавливающую или выдергивающую) нагрузку



а)



б)

Рис. 2 Схемы загружения испытываемых конструкций при сейсмовзрывных воздействиях

(I-сваи; 2-ростверк; 3-груз; 4-загрузочная платформа; 5-опорная клеть; 6-домкрат; 7-пружинный виброизолятор)

с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на сейсмовзрывные воздействия определяется по формуле

$$P_c^в = m_в m_и P \qquad (13)$$

где $m_в$ – коэффициент, характеризующий снижение несущей способности сваи или фундамента при испытаниях на сейсмовзрывные воздействия; определяется по указаниям п.4.10;

$m_и$ – коэффициент, учитывающий увеличение вертикальной нагрузки при испытаниях за счет сил инерции; определяется по указаниям п.4.13;

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

4.12. Величина коэффициента $m_в$ определяется по формуле

$$m_в = \frac{1}{1 + \frac{\Delta_в}{\Delta_p} + \nu} \qquad (14)$$

где

$$\nu = \frac{P - \bar{P}_c}{\bar{P}_c}\left(1 - \frac{A_0}{1{,}2\, y_0}\right) ;$$

$\Delta_в$ – вертикальное перемещение (осадка или выход) сваи или фундамента при сейсмовзрывном воздействии продолжительностью 30 с при меньшей продолжительности сейсмовзрывного воздействия $t_в$ (в с), осуществляемого с учетом указаний п.4.9, величину замеренного перемещения $\bar{\Delta}_в$ необходимо привести к расчетной продолжительности воздействия, принимая линейную зависимость осадки от времени по формуле $\Delta_в = \frac{30}{t_в}\bar{\Delta}_в$;

Δ_p – значение то же, что и в формуле (7) с учетом п.4.10.д;

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

$\bar{P}_c$ – значение то же, что и в формуле (I) при условии, что $m_c = m_{c_i} = I$;

A_0 – максимальное смещение сваи относительно грунта при сейсмовзрывном воздействии; принимается равным абсолютному значению разности между амплитудами горизонтальных колебаний сваи и грунта: при $A_c \geq I,2\ y_0$ принимается $\nu = 0$;

y_0 – значение то же, что и в формуле (2).

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

$$m_и = I + \frac{a}{g} \qquad (I5)$$

где a – вертикальная составляющая ускорений колебаний сваи или фундамента, замеренная при испытаниях на сейсмовзрывные воздействия;

g – ускорение свободного падения.

Примечание. При испытаниях на сейсмовзрывные воздействия рекомендуется хотя бы одну сваю загружать вертикальной безинерционной нагрузкой с помощью пружинного вибровозбудителя (рис. Iа, б); в этом случае коэффициент $m_и = I$.

5. ИСПЫТАНИЯ СВАЙ СТАТИЧЕСКИМИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ

5.I. 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. Сваи, 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 "Сваи и сваи оболочки. Методы полевых испытаний" без условной 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 основания 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 П-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 сваи с глубиной погружения в грунт не менее 5,0 и определяется:

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

$$\alpha = 1{,}34 \sqrt[3]{\frac{P^{г}_{ст}}{y_0 EI}} \qquad (16)$$

где

$$P^{г}_{ст} = 0{,}7\, P_y \qquad (17)$$

P_y – нагрузка в испытаниях, при достижении которой величина горизонтального перемещения сваи начинает непрерывно возрастать без увеличения нагрузки;

y_0 – горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта, соответствующее силе $P^{г}_{ст}$; определяется по графику зависимости горизонтальных перемещений сваи 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 $B_к$, определяемой в соответствии с п.9.3^х СНиП П-В.I-62^х "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^х.

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

$$\alpha = \sqrt[3]{-p_I + \sqrt{p_I^2 + p_2^3}} + \sqrt[3]{-p_I - \sqrt{p_I^2 + p_2^3}} \quad , \qquad (18)$$

где

$$p_I = -\frac{1,215\ P^г_{ст}}{y_0\ EI} \quad , \qquad p_2 = -\frac{0,54\ P^г_{ст} h_p}{y_0\ EI} \quad ;$$

$P^г_{ст}, y_0, EI$ - 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.

Грунтовые условия: с поверхности на глубину 4 м залегает слой мягкопластичного суглинка (I_L=0,6), затем на глубину 2 м – тугопластичная глина (I_L=0,3) и ниже – крупный песок средней плотности, разведанный до глубины 5 м.

Свая марки С8-30 (серии I.011-I вып.2) из бетона марки 300 с продольной арматурой 4⌀12 AI с размерами сторон поперечного сечения 30х30 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.

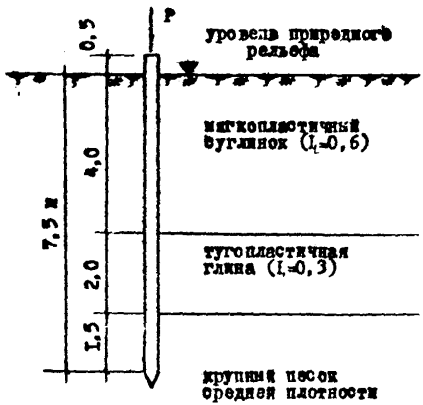
I. Для рассматриваемого типа зданий предельная величина средней осадки фундамента, принимаемая по табл.I8 СНиП II-I5-74, $S_{ср.пр}$=I0 см. Осадку, которую получает свая под воздействием нагрузки, равной нормативному сопротивлению, определяем по формуле (I3) СНиП II-Б.5-67[x], принимая ξ = 0,I

$$\Delta = \xi \cdot S_{ср.пр} = 0,I \cdot I0 = I,0 \text{ см}.$$

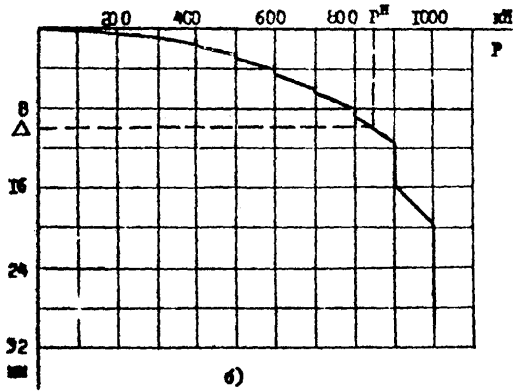
По величине этой осадки на графике определяем нормативное сопротивление сваи $P^н$ = 850 кН.

Несущую способность $P_{ис}$ сваи в статических условиях по результатам испытаний определяем по формуле (I2) СНиП II-Б.5-67[x]

$$Рис = k m P^н = 0.8 \cdot I,0 \cdot 850 = 680 \text{ кН}.$$



а)



б)

Рис.3 Схема геологического разреза (а) и график испытаний сваи вдавливающей нагрузкой (б)

2. Расчетное значение несущей способности сваи на осевую вдавливающую нагрузку без учета сейсмических воздействий определяем по формуле (5) СНиП П-Б.5-67^{X}

$$P = km\left(R^{H}F + u\Sigma f_i^{H} l_i\right)$$

где $k=0,7$; $m=1,0$; $F=0,09$ м^2; $u=1,2$ м; $R^{H}=697\cdot10^4$ Н/м^2 (для глубины 7,5 м по табл.1 СНиП П-Б.5-67^{X} с учетом перевода в систему единиц СИ); $f_1^{H}=0,5\cdot10^4$ Н/м^2; $f_2^{H}=0,75\cdot10^4$ Н/м^2; $f_3^{H}=0,9\cdot10^4$ Н/м^2; $f_4^{H}=4,0\cdot10^4$ Н/м^2; $f_5^{H}=7,0\cdot10^4$ Н/м^2 (по табл.2 СНиП П-Б.5-67^{X}).

$$P = 0,7\cdot1,0\cdot10^4/697\cdot0,09+1,2(0,5\cdot1,5+0,75\cdot2+0,9\cdot0,5+4,0\cdot2+$$
$$+7,0\cdot1,5)/ = 61,7\cdot10^4 \text{ Н} = 617 \text{ кН}.$$

3. Для принятой сваи величина жесткости поперечного сечения на изгиб в соответствии с п.5.6.а настоящих Рекомендаций $EI=E_{б}=18,9$ МНм^2.

условная рабочая ширина сваи $b_c=1,5b+0,5=1,5\cdot0,3+0,5=0,95$ м.

Коэффициент пропорциональности К 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 МН/м^4.

Коэффициент упругой деформации определяем по формуле

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{Kb_c}{EI}} = \sqrt[5]{\frac{4\cdot0,95}{18,9}} = 0,725 \text{ м}^{-1}.$$

Длина верхнего участка сваи, 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 сваи с учетом сейсмических воздействий определяем по формуле (15) "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах"

$$P_c = km\left(m_c R^{H}F + u\sum_{h}^{c} m_{c_i} f_i^{H} l_i\right)$$

где $m_c=0,85$ для песка; $m_{c_4}=0,9$ для слоя глины; $m_{c_5}=0,85$ для слоя

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

$$P_c = 0,7^{4}1,0\cdot10^{4}/0,85\cdot697\cdot0,09+1,2(0,90\cdot4,0\cdot0,5+$$
$$+0,85\cdot7,0\cdot1,5)/ = 46,3\cdot10^{4}\ \text{Н} = 463\ \text{кН}.$$

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

$$P_c^{в} = \frac{463}{617}\,680 = 0,75\cdot680 = 510\ \text{кН}.$$

Проверка сечения сваи 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 сваи на осевую выдергивающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки для свайного фундамента жилого девятиэтажного бескаркасного крупнопанельного здания. Расчетная сейсмичность - 9 баллов.

Грунтовые 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.0II-I вып.2) из бетона марки 300

с продольной арматурой 4⌀12 АП с размерами сторон поперечного сечения 35х35 см длиной 9,0 м забита на глубину 8,5 м (рис.4а). График испытаний такой же сваи осевой выдергивающей нагрузкой в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-69 представлен на рис.4б.

I. Определяем несущую способность сваи на осевую выдергивающую нагрузку в статических условиях по результатам испытаний по формуле (I2') СНиП II-Б.5-67[X]

$$P_в = k m P^н_{вI}$$

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

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

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

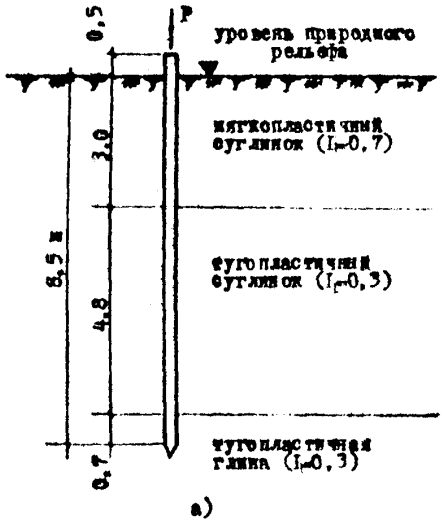
2. Для принятой сваи величина жесткости поперечного сечения на изгиб в соответствии с п.5.6.а настоящих Рекомендаций $EI = B_к$ = 33 МН·м^2; условная рабочая ширина сваи $в_с = I,5в + 0,5 = I,5 \cdot 0,35 + 0,5 = I,025$ м. Коэффициент пропорциональности К по табл.26 Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" для верхнего слоя грунта - мягкопластичного суглинка при I_L=0,7 с учетом перевода в систему единиц СИ составляет 3,0 МН/м^4.

Коэффициент упругой деформации определяем по формуле

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

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

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



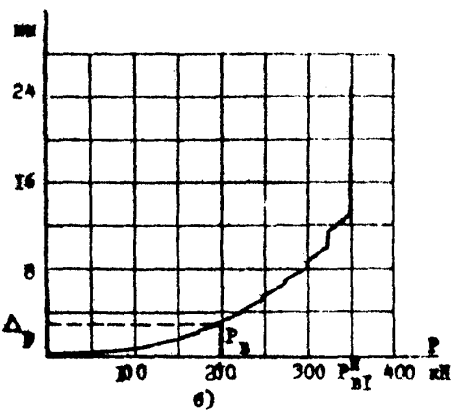


Рис.4 Схема геологического разреза (а) и график испытаний сваи вдергивающей нагрузкой (б)

Расчетное значение несущей способности сваи на осевую выдергивающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий определяем по формуле (I7) "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах"

$$P_{вс} = k m u \sum_{h}^{c} m_{c_i} f_i^{н} l_i$$

где k =0,7; m =0,8; m_{c_i} =0,85 для глинистых грунтов тугопластичной консистенции при расчетной сейсмичности 9 баллов (по табл.2 указанных Рекомендаций); боковое сопротивление, в соответствии с указаниями п.3.5 настоящих Рекомендаций, начинаем учитывать с глубины 6,43 м; $f_i^{н}$ = 4,3·I0^4 Н/м^2 для глубины 6,43-8,50 м по табл.I СНиП II-Б.5-67^{х} с учетом перевода в систему единиц СИ.

$$P_{вс} = 0,7 \cdot 0,8 \cdot I,4.0,85 \cdot 4,3 \cdot I0^4.2,07 = 0,85 \cdot 69,8 = 59,3 \text{ кН}.$$

Полагая m_{c_i} =I, получим расчетное значение $P_{вс}^{х}$=69,8 кН.

3. При испытаниях сваи на совместное действие вертикальной статической выдергивающей и горизонтальной динамической нагрузки свая загружалась по схеме на рис.2.I б. Вертикальная статическая нагрузка создавалась с помощью домкрата, установленного на пружинный виброизолятор, и соответствовала величине несущей способности сваи на осевую выдергивающую нагрузку $P_в$= I96 кН. В качестве вибратора направленного действия использовался вибропогружатель ВП-I с моментом дебалансов 930 Н·м, оборудованный двигателем постоянного тока для возбуждения колебаний с необходимой амплитудой за счет изменения частоты вращения с помощью реостата. Вибропогружатель ВП-I обеспечивал амплитуду горизонтальных колебаний в уровне поверхности грунта $A_д$=5,I мм при частоте вращения 3,6 с$^{-I}$, что удовлетворяло требованиям п.3.3,б настоящих Рекомендаций, в соответствии с которыми величина амплитуды колебаний сваи в уровне поверхности грунта при частоте вращения менее I0 с$^{-I}$ должна быть не менее I,2 y_0, где y_0 – горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной сей-

смической нагрузки к свайному фундаменту сооружения.

Величина y_0 была определена расчетом по формуле (2) настоящих Рекомендаций при следующих данных : $\alpha = 0{,}622\ м^{-1}$; $EI = 33\ МН \cdot м^2$; расчетная сейсмическая нагрузка в уровне подошвы низкого ростверка на одну сваю $H = 33$ кН $= 0{,}033$ МН; приведенная глубина погружения $\bar{l} = \alpha l = 0{,}622 \cdot 8{,}5 = 5{,}29 > 4$. По табл.29 Приложения 7 "Руководства по проектированию свайных фундаментов" при $\bar{l} \geq 4$ находим коэффициенты $A_0 = 2{,}441$; $B_0 = 1{,}621$; $C_0 = 1{,}751$. По формуле (3) настоящих Рекомендаций вычисляем коэффициент

$$p = 2{,}441 - \frac{1{,}621^2}{1{,}751} = 0{,}941 .$$

Тогда

$$y_0 = \frac{0{,}941 \cdot 0{,}033}{0{,}622^3 \cdot 33} = 0{,}0039\ м = 3{,}9\ мм.$$

Амплитуда колебаний должна быть не менее $1{,}2\ y_0 = 1{,}2 \cdot 3{,}9 = 4{,}6$ мм.

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

$$m_т = \frac{1}{1 + \frac{2{,}4}{3{,}0}} = 0{,}56 .$$

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

$$P^{в}_{вс} = \frac{m_т P_{вс}}{P^{х}_{вс}} P = \frac{0{,}56 \cdot 59{,}3}{69{,}8}\ 196 = 92{,}9\ кН.$$

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

вание оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" на совместное действие расчетных усилий (осевой выдергивающей силы, изгибающего момента и перерезывающей силы).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

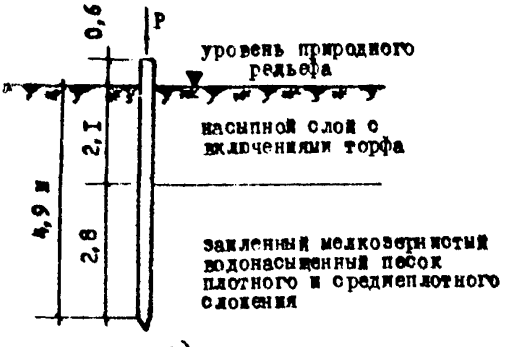
ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА СЕЙСМОВЗРЫВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

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

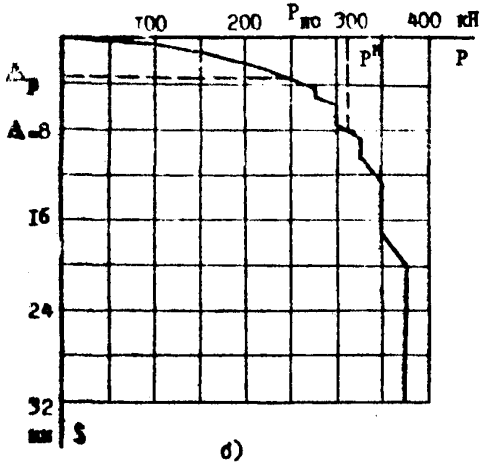
Грунтовые условия: с поверхности на глубину 2,1 м залегает насыпной слой с включениями торфа, подстилаемый слоем заиленного мелкозернистого водонасыщенного песка плотного и средней плотного сложения.

На сейсмовзрывные воздействия испытывается куст из 4 свай, объединенных монолитным железобетонным ростверком, с расстоянием между сваями в осях 2,0 м (рис. 2а). Зазор между подошвой ростверка и поверхностью грунта составляет 10 см. Сваи марки С75.5-30 (серии 1.011-1 вып.2) из бетона марки 200 с продольной арматурой 4Ø12 AI с размерами сторон поперечного сечения 30х30 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. 18 СНиП II-15-74, $S_{ср.пр}$ = 8 см.



а)



б)

Рис.5 Схема геологического разреза (а) и график испытаний сваи вдавливающей нагрузкой (б)

Осадку, которую получает свая под воздействием нагрузки, равной нормативному сопротивлению, определяем по формуле (I3) СНиП II-Б.5-67^{x}, принимая $\xi = 0,I$

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

По величине этой осадки на графике определяем нормативное сопротивление сваи $P^{н} = 313$ кН.

Несущую способность $P_{ис}$ сваи в статических условиях по результатам испытаний определяем по формуле (I2) СНиП II-Б.5-67^{x}

$$P_{ис} = k_{m} P^{н} = 0,8 \cdot I,0 \cdot 313 = 250 \text{ кН}.$$

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

2. Расчет сейсмовзрывного 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 I00-200 см/с^{2} при периодах от 0,1 до 0,5 с.

Принимая ускорение $\alpha = I30$ см/с^{2} и период колебаний $T = 0,2$ с определим коэффициент c из формулы (II)

$$c = \frac{\alpha \cdot T}{I300} = \frac{I30 \cdot 0,2}{I300} = 0,02 \text{ кг}^{I/2} \text{ м}^{-3/2};$$

По формуле (9) определим расстояние R, приняв $\tau = 0,I3$,

$$\varphi R = \frac{T}{\tau} = \frac{0,2}{0,I3} = I,538; \quad R \approx 35 \text{ м}.$$

Поскольку $R = 35$ м $> I0\,в = 3$ м (в – поперечный размер опытной сваи, равный 0,3 м) соблюдается условие плоской волны.

Находим величину одного заряда ВВ:

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

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 -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 $a = 30$ см/с^2 (для 6 баллов), $T=0,25$ с, $C = 10$ кг имеем:

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

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

Взрывное поле на испытательной площадке располагаем таким образом, что бы 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 1300 кН.

4. При испытаниях свайного фундамента на сейсмовзрывные воздействия получены следующие результаты:

– ускорения колебаний грунта возле свай соответственно в вертикальном, продольном и поперечном направлениях : $a^{в}_{гр}$ = 52 см/с^2; $a^{пр}_{гр}$ = 103см/с^2; $a^{поп}_{гр}$ = 35 см/с^2 (вектор ускорения колебаний грунта $a_{гр}$ = 120см/с^2

– период колебаний грунта T=0,22 с;

– вертикальная составляющая ускорений колебаний сваи $a^{в}_{св}$ = 50,6см/с^2;

– продолжительность сейсмовзрывного воздействия $t_{в}$ = 16,4 с;

– осадка сваи в процессе сейсмовзрывного воздействия $\Delta_{в}$ = 0,93мм;

расчетная осадка сваи за 30 с сейсмовзрывного воздействия –

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

– амплитуда горизонтальных колебаний сваи в уровне поверхности грунта $A^{г}_{св}$ = 1,6 мм;

– амплитуда горизонтальных (продольных) колебаний грунта возле свай $A^{пр}_{гр}$ = 1,9 мм.

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

5. Горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта при статическом приложении расчетной сейсмической горизонтальной нагрузки к свайному фундаменту сооружения y_0 = 5,6 мм (величина y_0 определена по формуле (2) при следующих данных: K = 2 кН/м^4, EI = 18,9 МН·м^2, B_0=0,95 м, $\bar{\ell}$ = 3,09; A_0 = 2,625; B_0 = 1,705; C_0 = 1,721; p= 1,002; H = 27 кН).

6. Максимальное смещение сваи относительно

грунта $A_g = A^{г}_{св} - A^{пр}_{гр} = 1,6 - 1,9 = 0,3$ мм $< 1,2\ y_0 = 1,2 \cdot 5,6 = 6,72$ мм.

Расчетное значение несущей способности сваи в статических условиях определяем по формуле (5) СНиП П-Б.5-67^{х}, не учитывая сопротивление насыпного слоя с включениями торфа:

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

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

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

По формулам (14) и (15) определяем у коэффициенты $m_в$ и $m_и$:

$$m_в = \frac{1}{1 + \frac{1,7}{3,7} + \frac{211-126}{126}\left(1 - \frac{0,3}{6,72}\right)} = 0,47 \ ; \quad m_и = 1 + \frac{50,6}{981} = 1,0$$

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

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

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 испытаний свай 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.

Грунтовые условия: с поверхности на глубину 3,3 м залегают текучепластичные суглинки ($I_L = 0,8$; $c^н = 10$ кН/м^2; $\varphi^н = 12^0$; $\gamma_0 = 1,73$ г/см^3), затем на глубину 5,6 м - мягкопластичная глина ($I = 0,55$;

$c^н$= 40 кН/м^2; $\varphi^н$=I5^0: γ_0=I,8 г/см^3), подстилаемая гравийно-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 4ø14 АП с размерами сторон поперечного сечения 30х30 см длиной 10 м забита на глубину 9,5 м (рис.6а). Несущая способность сваина вертикальную нагрузку как в статических условиях, так и при учете сейсмических воздействий в соответствии с п.5.2 СНиП П-Б.5-67^х и п.4.II "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах" составляет $P=P_c$= I260 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 30х30 см с глубиной погружения 9,5 м (сваи марки С10-30). Расстояние между осями свай в кусте I,2 м. Верхние концы свай жестко заделаны в монолитный ростверк.

На фундамент под колонну действует вертикальная нагрузка N= I900 кН, изгибающий момент М = 405 кН·м и горизонтальная сила $H_ф$= I32 кН.

I. При расчете нетрещиностойких свай можно пользоваться двумя значениями жесткости поперечного сечения сваи на изгиб: $(EI)_{макс}$ и $(EI)_{мин}$= 0,4$(EI)_{макс}$, используя первое значение при определении изгибающего момента, второе-при определении перемещений свай, поперечной силы и давления, оказываемого на грунт боковыми поверхностями сваи. Значение $(EI)_{макс}$ определяется как для трещиностойких свай при кратковременном действии нагрузки в соответствии с п. 9.3^{х}СНиП П-В.I-62^х по формуле $(EI)_{макс}=B_к=0,85E_бI_п$. Для принятой сваи

$E_б$=3I500 МН/м^2, $I_п$=7,I·I0^{-4} м^4

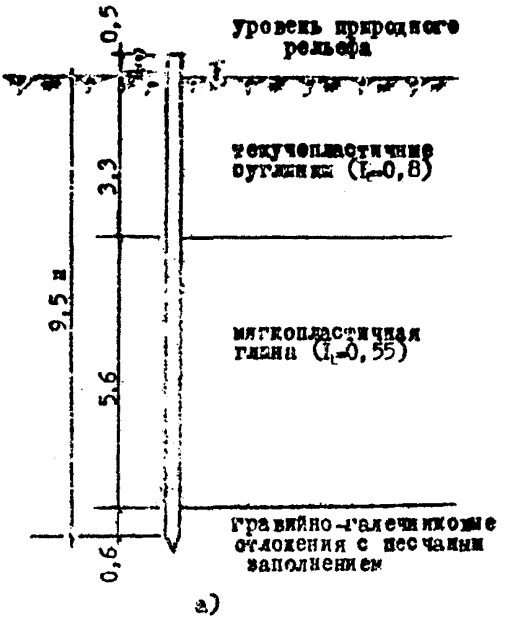


Рис.6 Схема геологического разреза (а) и график испытания сваи горизонтальной статической нагрузкой (б)

$(EI)_{макс} = B_к = 19$ МН·м^2 ; $(EI)_{мин} = 0,4\ B_к = 7,6$ МН·м^2.

По графику на рис.66 нагрузка, при достижении которой величина горизонтального перемещения сваи начинает непрерывно возрастать без увеличения нагрузки, составляет $P_y = 23$ кН. По формуле (17) величина $P^г_{ст} = 0,7 \cdot 23 = 16,1$ кН $= 0,0161$ МН. Горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта, соответствующее силе $P^г_{ст}$, определяется по графику и составляет $y_0 = 10,3$ мм $= 0,0103$ м.

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

при $(EI)_{макс}$ $\quad \alpha_1 = 1,34 \sqrt[3]{\dfrac{0,0161}{0,0103 \cdot 19}} = 0,583$ м$^{-1}$

при $(EI)_{мин}$ $\quad \alpha_2 = 1,34 \sqrt[3]{\dfrac{0,0161}{0,0103 \cdot 7,6}} = 0,791$ м$^{-1}$

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

Расчетные нагрузки на сваи, входящие в фундамент, определяются по формуле (22) СНиП II-Б.5-67^x

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

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

$P_{макс} = 560$ кН , $P_{мин} = 390$ 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 $EI=(EI)_{макс}$; $\alpha=\alpha_I$ и во втором случае $EI=(EI)_{мин}$; $\alpha=\alpha_2$

при $P_{макс}$=560 кН $M^{изг}_{макс}=\dfrac{\alpha_I H(EI)_{макс}}{\alpha_I^2(EI)_{макс}-P}=\dfrac{0,583\cdot33\cdot19\cdot10^3}{0,583^2\cdot19\cdot10^3-560}=$

$=\dfrac{365541}{5868}=62,3$ КН кН·м ,

$Q_{макс}=H\dfrac{PH}{\alpha_2^2(EI)_{мин}-P}=33+\dfrac{560\cdot33}{0,791^2\cdot7,6\cdot10^8-560}$

$=33+\dfrac{18480}{4162}=37,4$ кН .

при $P_{мин}$= 390 кН $M^{изг}_{макс}$ =60,0 кН·м , $Q_{макс}$= 36,3 кН.

В соответствии с п.4.3 "Рекомендаций 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-В.I-62[x].

Для проверки принятой сваи С10-30 по прочности на внецентренное сжатие воспользуемся вспомогательными графиками выпуска I рабочих чертежей забивных железобетонных свай серии I.011-I. Сваи марки С10-30 сечением 30х30 см из бетона марки 300 с ненапрягаемой стержневой арматурой 4Ø14 АП при расчете по прочности на внецентренное сжатие могут воспринимать следующие максимальные величины изгибаю-

щих моментов:

при $P_{макс}$=560 кН $M_{доп}$= 71 кН·м > 62,9 кН·м

при $P_{мин}$ =390 кН $M_{доп}$= 62 кН·м > 60,0 кН·м

Проверяем прочность наклонного сечения сваи на действие поперечной силы в соответствии с главой СНиП II-В.I-62[x] .Для бетона марки 300 расчетное сопротивление растяжению R_p=1050 кН/м^2 , ширина сечения в=0,3 м , рабочая высота сечения h_0=0,26 м , величина

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

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 ,производим в соответствии с п.4.18 "Рекомендаций по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений,возводимых в сейсмических районах",принимая расчетное значение угла внутреннего трения грунта пониженным на величину $\Delta\varphi = 4^0$ при расчетной сейсмичности 8 баллов. Величину максимального давления,оказываемого боковой поверхностью сваи на грунт при жесткой заделке сваи в низкий ростверк, определяем по формуле (20) указанных "Рекомендаций",принимая значения EI=$(EI)_{мин}$=7,6·10^3 кН·м^2 ; $\alpha = \alpha_2$= 0,791 м$^{-1}$ и P=$P_{макс}$=560 кН:

$$\sigma_2^{макс} = \frac{0,7 \cdot \alpha_2^3 H (EI)_{мин}}{в_c (\alpha_2^2 (EI)_{мин} - P_{макс})} = \frac{0,7 \cdot 0,791^2 \cdot 33 \cdot 7,6 \cdot 10^3}{0,95(0,791^2 \cdot 7,6 \cdot 10^3 - 560)} = 21,93 \text{ кН/м}^2$$

Максимальное давление сваи на грунт имеет место на глубине $z = 1,2/\alpha_2$= 1,2/0,791 = 1,52 м. Расчетное значение угла внутреннего трения текучепластичного суглинка $\varphi = 0,9\,\varphi^н - \Delta\varphi = 0,9 \cdot 12^0 - 4^0 = 6^0$, сцепления $c = 0,4c^н = 0,4 \cdot 10$ кН/м^2=4 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 4^0 значение угла внутреннего трения текучепластичного суглинка:

$$R_{гр} = \eta_1 \eta_2 \frac{4}{\cos\varphi}(\gamma z \operatorname{tg}\varphi + c) =$$

$$= 1{,}0 \cdot 1{,}0 \frac{4}{\cos 6^0}(1{,}73 \cdot 1{,}52 \cdot 10 \cdot \operatorname{tg} 6^0 + 4) = 27{,}7 \text{ кН/м}^2.$$

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

Оставляем принятую по серии 1.011-1 марку сваи С10-30 сечением 30х30 см длиной 10 м с глубиной погружения 9,5 м. При жесткой заделке сваи в низкий ростверк величина горизонтальной расчетной сейсмической нагрузки на нее может быть принята равной 33 кН при диапазоне вертикальных нагрузок от 390 до 560 кН.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. 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 сейсмовзрывные воздействия .II

5. Испытания свай статическими горизонтальными нагрузками. . . .I8

Приложение I. Пример определения несущей способности сваи с учетом сейсмических воздействий по результатам испытаний статической вдавливающей нагрузкой 2I

Приложение 2. Пример определения несущей способности сваи по результатам испытаний на совместное действие вертикальной статической и горизонтальной динамической нагрузки. 24

Приложение 3. Пример определения несущей способности сваи по результатам испытаний свайного фундамента на сейсмовзрывные воздействия. . . .29

Приложение 4. Пример определения коэффициента упругой деформации системы "свая-грунт" по результатам полевых испытаний. Проверка прочности и устойчивости сваи 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

АЦ 11150 формат 60x90 I/I6 , тираж 500 экземпляров.

2,62 печ. л., I,6 уч.-изд.л. Цена 20 коп

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

gost.e-ecolog.ru