

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Д.М. Нуриева

**РАСЧЕТ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям для студентов
специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий
и сооружений», направление подготовки 08.03.01 «Строительство»

Казань
2016

УДК 624.15
ББК 38.79
Н90

Нуриева Д.М.

Н90 Расчет свайных фундаментов на сейсмические воздействия: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», направление подготовки 08.03.01 «Строительство» / Д.М. Нуриева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит.ун-та, 2016. – 42 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебно-методическом пособии приведены общие положения нормативного метода расчета свайных фундаментов с учетом сейсмических воздействий. Рассмотрен пример расчета свайного фундамента с буронабивными сваями.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры механики
Д.Е. Страхов

УДК 624.15
ББК 38.79

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2016

© Нуриева Д.М., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Общие положения	5
Исходные данные для расчета	9
Задача 1. Определение и проверка несущей способности буронабивной сваи по грунту на сжимающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий	12
Задача 2. Расчет сваи на совместное действие вертикальной, горизонтальной сил и момента. Расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю.	19
Список литературы	28
<i>Приложение 1.</i>	29
<i>Приложение 2.</i>	40
<i>Приложение 3.</i>	42

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений всегда являлось одной из основных задач при проектировании и возведении зданий и сооружений в сейсмоопасных районах. В последнее время ее актуальность существенно возросла в связи с участившимися случаями землетрясений, в том числе с большими человеческими жертвами и огромным материальным ущербом.

В России более 30% территории являются сейсмоопасными с расчетной интенсивностью землетрясений 7–9 баллов. К сейсмоопасным районам относятся территории в Забайкалье, в районах Северного Кавказа, на Сахалине, у побережья Черного моря и др. Проблема коснулась и Татарстана. Согласно карте ОСР-97, она составляет 6–7 баллов. Главная причина повышения сейсмической опасности на территории Татарстана связана с активной разработкой месторождений нефти и развитием карстовых процессов. В связи с этим весьма актуальным является разработка антисейсмических мероприятий, в состав которых входит проектирование сооружений, обладающих высокими технико-экономическими показателями, и способных воспринимать землетрясения ожидаемой интенсивности с минимальным ущербом. Решение данной задачи невозможно без обеспечения сейсмостойкости оснований и фундаментов. Учитывая, что в последнее время все возрастают объемы строительства на площадках с неблагоприятными грунтовыми условиями, наиболее приемлемым при этом является применение свайных фундаментов, достаточно хорошо зарекомендовавших себя в сейсмически активных районах. По результатам обследования последствий землетрясений было выявлено, что сооружения на свайных фундаментах имели меньшие остаточные деформации и получали меньшие повреждения в наземных конструкциях.

Область применения свайных фундаментов в сейсмоопасных районах в основном та же, что и в обычных условиях. При этом могут использоваться как классические свайные фундаменты с забивными или буронабивными (набивными) сваями, верхние концы которых жестко заделаны в ростверк, так и, при определенном технико-экономическом обосновании, свайные фундаменты с промежуточной подушкой из сыпучих материалов, играющей роль буферного слоя между ростверком и сваями, функцией которого является восприятие горизонтальных (сейсмических) нагрузок.

В данных методических указаниях приводятся сведения о нормативном методе расчета свайных фундаментов с учетом сейсмических воздействий. Рассмотрен пример расчета свайного фундамента с буронабивными сваями. Методические указания могут быть использованы при изучении дисциплины «Сейсмостойкость сооружений», «Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия», «Динамический расчет зданий и сооружений».

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область применения свайных фундаментов в сейсмических районах в основном та же, что и в несейсмических. При проектировании свайных фундаментов в сейсмических районах нижние концы свай следует опирать на скальные грунты, крупнообломочные грунты, плотные и средней плотности пески, твердые, полутвердые и тугопластичные глинистые грунты ($I_L \leq 0,5$). ОпираНИЕ нижних концов свай на рыхлые пески, глинистые грунты мягкопластичной, текучепластичной консистенции ($I_L > 0,5$) не допускается.

Величина заглубления в грунт свай в сейсмических районах должна быть не менее 4 м, а при наличии в основании нижних концов свай водонасыщенных песков средней плотности – не менее 8 м. Допускается уменьшение заглубления свай при соответствующем обосновании, полученном в результате полевых испытаний свай имитированными сейсмическими воздействиями. Для одно-этажных сельскохозяйственных зданий, не содержащих ценного оборудования, и в случае опирания свай на скальные грунты их заглубление в грунт принимают таким же, как и в несейсмических районах.

Для свайных фундаментов в сейсмических районах следует применять сваи всех видов, кроме свай без поперечного армирования и булавовидных. Не допускается также применение бетонных свай (свай, не имеющих арматурных каркасов по всей длине свайного ствола).

Буронабивные сваи в сейсмических районах следует устраивать в мало-влажных устойчивых грунтах при диаметре свай не менее 40 см и отношении их длины к диаметру не более 25. При этом необходимо вести строгий контроль за качеством изготовления свай, гарантирующий точное соответствие их формы и размеров проекту. Как исключение допускается прорезание слоев водонасыщенных грунтов с применением извлекаемых обсадных труб или глинистого раствора. В структурно-неустойчивых грунтах применять набивные сваи можно только с обсадными оставляемыми трубами.

Ростверк свайного фундамента под несущими стенами здания в пределах отсека должен быть, как правило, непрерывным и расположенным в одном уровне. Верхние концы свай должны быть жестко заделаны в ростверк на глубину, определяемую расчетом, учитывающим сейсмические нагрузки.

Устройство безростверковых свайных фундаментов зданий и сооружений не допускается.

При соответствующем технико-экономическом обосновании можно применять свайные фундаменты с промежуточной подушкой из сыпучих материалов (щебня, гравия, песка крупного и средней крупности). Такие фундаменты не следует применять в органоминеральных, органических и просадочных грунтах II типа, на подрабатываемых территориях, геологически неустойчивых площадках (на которых имеются или могут возникнуть оползни, сели, карсты и т.п.) и на площадках, сложенных нестабилизированными грунтами. Для свайных фундаментов с промежуточной подушкой следует применять такие же виды свай, как и в несейсмических районах (кроме булавовидных).

При проектировании свайных фундаментов в сейсмических районах расчет должен проводиться по I группе предельных состояний на **особое** сочетание нагрузок, в состав которых входят постоянные, 1–2 временные и особая (сейсмическая) нагрузки. При этом необходимо предусматривать:

1) определение несущей способности сваи по грунту на сжимающую (выдерживающую) нагрузку;

2) проверку устойчивости грунта по условию ограничения давления, передаваемого на грунт боковыми поверхностями сваи;

3) расчет свай на совместное действие расчетных усилий (продольной силы, изгибающего момента и поперечной силы).

Аналитическое определение несущей способности сваи по грунту на сжимающую нагрузку при жестком сопряжении свай с ростверком производится с использованием стандартных формул для несейсмоопасных районов, но с учетом сложных процессов, возникающих на контакте между сваяй и грунтом при воздействии сейсмического импульса. В момент землетрясения происходит горизонтальное раскачивание свай колеблющимся сооружением, горизонтальные динамические (сейсмические) силы, передаваясь от сооружения через ростверк на сваи, вызывают их знакопеременный изгиб. В результате этого на некотором расстоянии от подошвы ростверка между сваяй и грунтом возникает зазор, исключающий в пределах данной длины сопротивление грунта по боковой поверхности сваи (рис.1). Кроме этого, в результате прохождения сейсмических волн возможно дополнительное снижение несущей способности сваи за счет уменьшения сил трения на оставшейся длине сваи, а также за счет уменьшения лобового сопротивления грунта под острием сваи. Для учета этих факторов в нормах проектирования введены следующие требования:

- Согласно п. 12.3 [2] при определении несущей способности сваи по грунту с учетом сейсмической нагрузки, значения R и f_i следует умножать на понижающие коэффициенты условий работы грунта основания γ_{eq1} и γ_{eq2} , соответственно принимаемые в зависимости от характеристик окружающего сваю грунта и расчетной балльности площадки строительства.

Примечание. Расчетная балльность площадки строительства принимается на основании карт сейсмического микрорайонирования для рассматриваемого населенного пункта, а при их отсутствии – на основании [1] с использованием описания инженерно-геологических условий строительной площадки и комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСП-97.

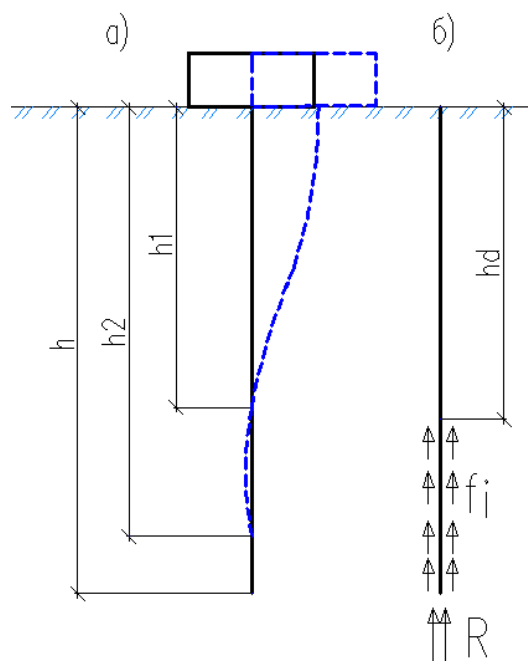


Рис.1.

а) изгиб сваи, защемленной в ростверк при землетрясении;

б) расчетная схема сваи на вертикальную нагрузку

- Значения коэффициентов γ_{eq1} и γ_{eq2} следует умножать на 0,85, 1,0 или 1,15 для зданий и сооружений, возводимых в районах с повторяемостью 1, 2, 3 соответственно.

Примечание. Анализ многолетних наблюдений показывает, что в разных районах землетрясения с максимальной для данного района интенсивностью повторяются через различный период времени. Чем больше промежуток времени между такими землетрясениями, тем меньше вероятность того, что данное сооружение вообще попадет в условия максимальных по интенсивности землетрясений. Учитывая это, в картах сейсмического районирования ОСР-97 указаны не только ожидаемые максимальные интенсивности, но и ожидаемая категория их повторяемости: **1** – один раз в 500 лет; **2** – один раз в 1000 лет; **3** – один раз в 5000 лет. То есть **повторяемость** землетрясений принимается на основании [1] в соответствии с выбранной картой сейсмического районирования ОСР-97 (А, В, С). Карта А отражает 10%-ю вероятность превышения в течение 50 лет интенсивности сейсмических воздействий, указанных на карте, и соответствует повторяемости землетрясений **1** (один раз в 500 лет). Карта В отражает 5%-ю вероятность и соответствует повторяемости **2** (один раз в 1000 лет). Карта С отражает 1%-ю вероятность и соответствует повторяемости **3** (один раз в 5000 лет). Выбор карты осуществляется в зависимости от функционального назначения проектируемого сооружения и уровня его ответственности.

- Несущую способность свай-стоек, опирающихся на скальные и крупнообломочные грунты, определяют без введения дополнительных коэффициентов условий работы γ_{eq1} и γ_{eq2} .
- Сопротивление грунта f_i на боковой поверхности висячей сваи до расчетной глубины h_d следует принимать равным нулю (п. 12.3[2]). Расчетную глубину h_d , до которой не учитывают сопротивление грунта на боковой поверхности сваи, определяют по формуле (12.1[2]), в зависимости от вида ростверка, нагрузок, действующих на оголовки сваи и характеристик окружающего сваю грунта.
- Согласно п. 12.5 [2], определение расчетной глубины h_d при воздействии сейсмических нагрузок следует производить, принимая значения расчетного угла внутреннего трения φ_I уменьшенным для расчетной сейсмичности 7 баллов – на 2° , 8 баллов – на 4° , 9 баллов – на 7° .
- Согласно п. 12.8 [2], расчет свай в просадочных грунтах на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий должен производиться при природной влажности, если замачивание грунта невозможно, и при полностью водонасыщенном грунте, имеющем показатель текучести, определяемый по формуле 9.1 [2], если замачивание грунта возможно; при этом определение несущей способности свай в грунтовых условиях II типа по просадочности производят *без учета возможности развития отрицательных сил трения грунта*.

Как отмечалось ранее, в сейсмических районах, при соответствующем технико-экономическом обосновании, возможно применение свайных фундаментов с *промежуточной подушкой* из сыпучих материалов (щебня, гравия, песка крупного и средней крупности) – рис. 2.

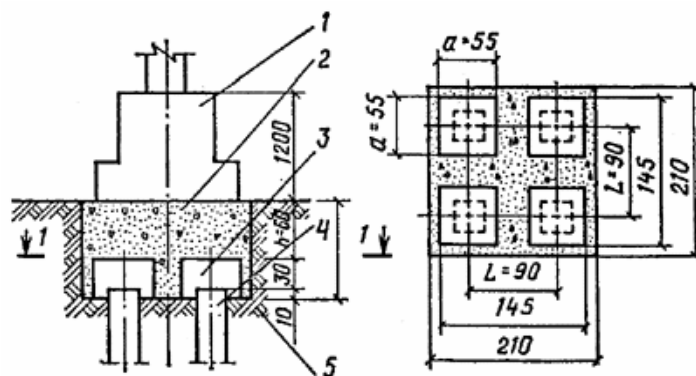


Рис.2. Схема свайного фундамента с промежуточной подушкой:
 1 — фундаментный блок; 2 — промежуточная подушка; 3 — железобетонные оголовки;
 4 — железобетонные сваи; 5 — поверхность дна котлована

Поскольку в фундаментах с промежуточной подушкой практически исключается передача на сваю горизонтальных нагрузок от колеблющегося сооружения (их воспринимает подушка), расчет свай на горизонтальные сейсмические нагрузки не производится. Несущую способность таких свай, работающих на сжимающую нагрузку в условиях сейсмических воздействий, следует определять в соответствии с требованиями 12.3 [2]; при этом сопротивление грунта необходимо учитывать вдоль всей боковой поверхности свай, т.е. $h_d = 0$, а коэффициент условий работы нижнего конца сваи при сейсмических воздействиях принимать $\gamma_{eq1} = 1,2$. Фундаментный блок, устанавливаемый на промежуточную подушку, рассчитывается как ростверк обычного свайного фундамента в соответствии с [5], при этом предполагается, что подошва блока опирается непосредственно на сваи. При расчете свайных фундаментов с промежуточной подушкой по деформациям осадку фундамента следует вычислять как сумму осадки условного фундамента, определяемой в соответствии с требованиями подраздела 7.4 [2], и осадки промежуточной подушки.

Общая схема расчета свайного фундамента в сейсмоопасном районе следующая:

1) проводится расчет свайного фундамента на основные сочетания нагрузок (без учета сеймики) по стандартным формулам как для несейсмоопасного района; подбираются длина, диаметр свай, количество свай в кусте, производится расчет осадки основания, определяются размеры ростверка;

2) проводится расчет свайного фундамента на особое сочетание нагрузок (с учетом сейсмической нагрузки), и по результатам расчета, в случае необходимости, производится корректировка принятого ранее решения. Необходимость корректировки возникает, если при принятых параметрах свайного фундамента не выполняются условия обеспечения его несущей способности по I группе предельных состояний. Выполнения необходимых условий можно достигнуть путем увеличения длины, диаметра, жесткости свай, увеличения количества свай в кусте.

Ниже приводится пример расчета свайного фундамента с буронабивными сваями, жестко защемленными в ростверке.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Требуется произвести расчет отдельно стоящего свайного фундамента под компрессор весом 90 т при расчетной сейсмичности строительной площадки 9 баллов и повторяемости землетрясений – 1.

Компрессор расположен внутри одноэтажного производственного здания, крепится к фундаменту шарнирно. Здание имеет II уровень ответственности.

В пределах строительной площадки залегают грунты (рис.3а):

- **ИГЭ - 1:** суглинок твердый, пылеватый, просадочный ($I_L < 0$, в замоченном состоянии $I_L = 0,4$; $\varphi_I = 23^0$; $c_I = 21$ кПа; $\gamma_I = 20$ кН/м²);

- **ИГЭ - 2:** песок пылеватый, средней плотности, маловлажный ($\varphi_I = 25^0$; $c = 0$ кПа; $\gamma = 17$ кН/м², $e = 0,7$).

Грунтовые воды не обнаружены. Строительная площадка относится ко второму типу грунтовых условий по просадочности. Учитывая наличие просадочных грунтов, приняты свайные фундаменты с буронабивными сваями.

На основании расчета фундамента на действие собственного веса компрессора с учетом динамических вибраций от его работы (данный расчет здесь не приводится) были приняты: длина буронабивной сваи $l = 10,8$ м; диаметр сваи $d = 0,5$ м; класс бетона сваи В15; количество свай в кусте $n = 18$ шт.; размеры ростверка $9 \times 4,2 \times 1,2$ м.

Размещение свай в плане показано на рис. 3 б.

Учитывая шарнирное соединение надземной конструкции с фундаментом, при особом сочетании нагрузок на ростверк передаются:

- вертикальная расчетная нагрузка от веса компрессора $P = 850$ кН;
- горизонтальная сейсмическая нагрузка $S = 391,23$ кН (получена на основе [1]).

Упрощенная схема нагружения показана на рис.3в.

Необходимо решить 2 задачи.

Задача 1. Требуется определить несущую способность буронабивной сваи по грунту на действие сжимающей нагрузки с учетом сейсмических воздействий. Произвести проверку несущей способности сваи по грунту.

Задача 2. Требуется произвести расчет сваи на совместное действие расчетных усилий (продольной силы, изгибающего момента и поперечной силы) включая проверку устойчивости грунта по условию ограничения давления, передаваемого на грунт боковыми поверхностями сваи, и расчет сваи по сопротивлению материала.

Для выполнения самостоятельной работы необходимо взять исходные данные для расчета из табл. 1 на основании шифра, выданного преподавателем.

Размещение свай в плане и размеры ростверка принимаются студентом самостоятельно по рекомендациям приложения 3.

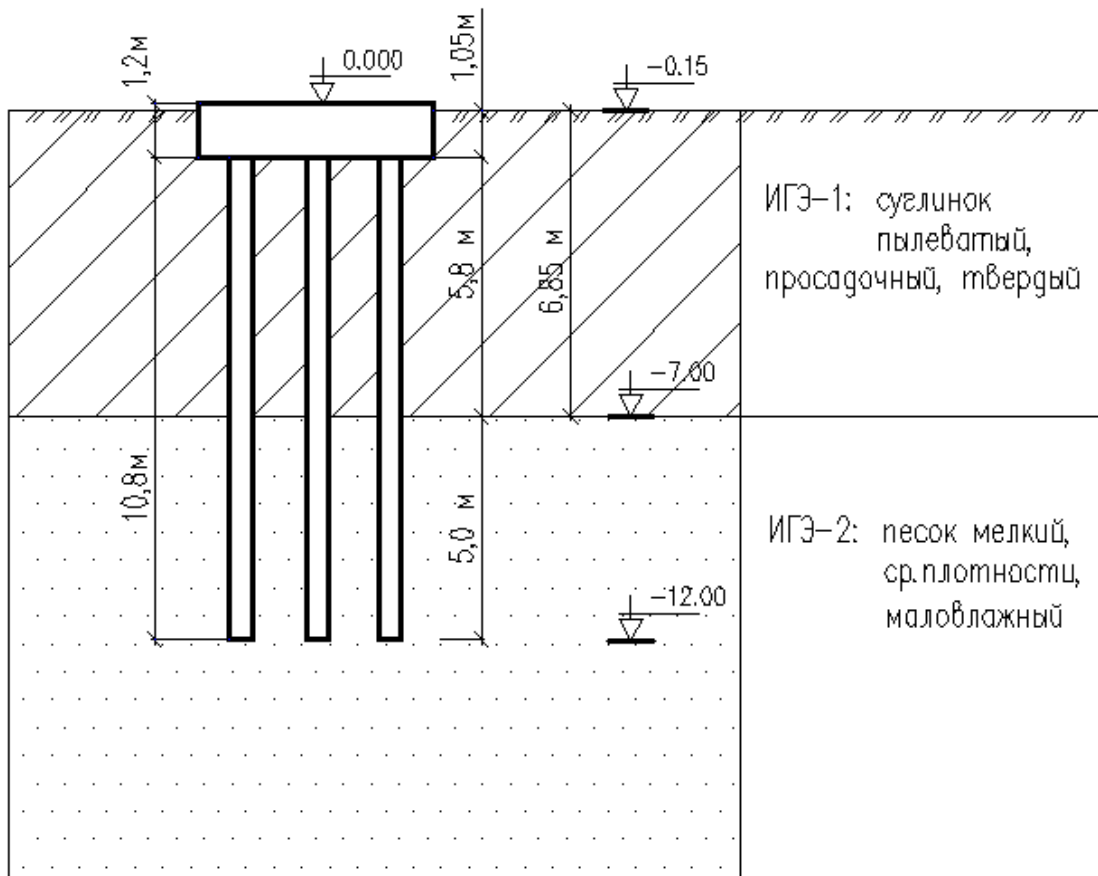


Рис.3а. Геологический профиль строительной площадки

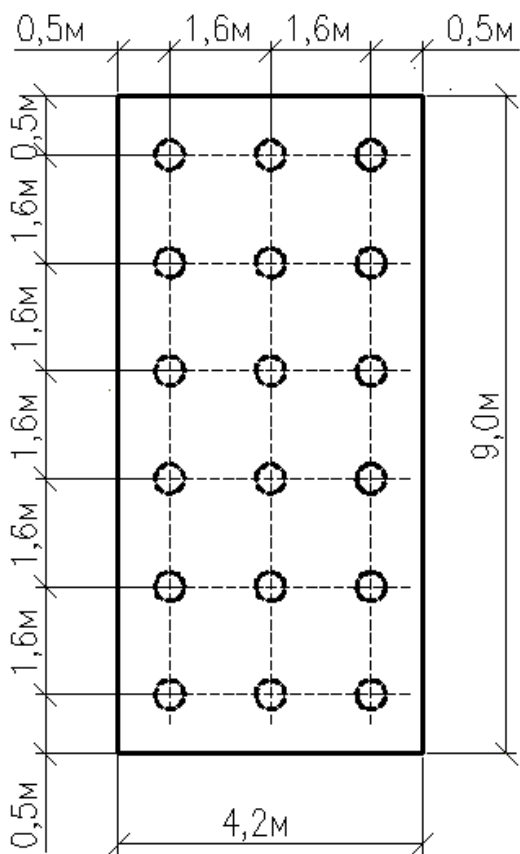


Рис.3б

Схема размещения свай в плане

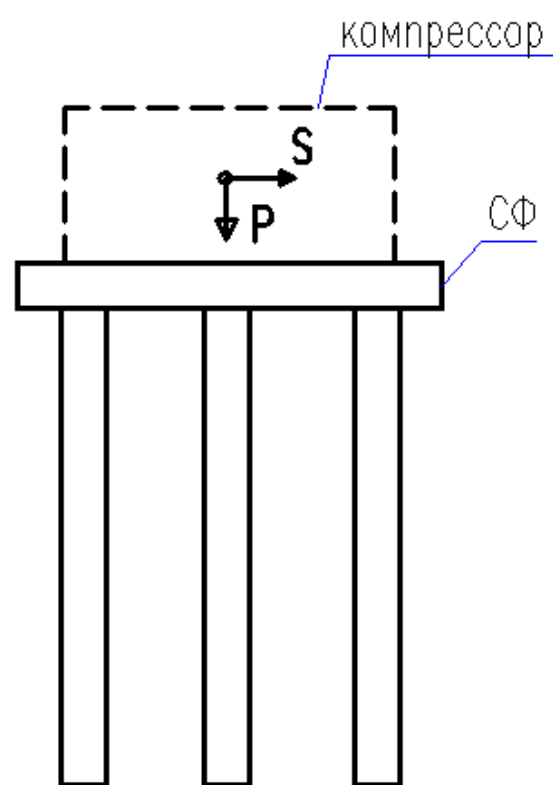


Рис.3в

Схема нагружения при особом сочетании

Таблица 1

Исходные данные для решения задач

Цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7
Сейсмичность площадки (1-я цифра)	7	8	9	-	-	-	-
Повторяемость землетрясений (2-я цифра)	1	2	3	1	2	3	1
Уровень ответственности здания (5-я цифра)	I	II	I	I	II	II	I
Длина свай, м. (3-я цифра)	9	8,5	11	10	7	10	9,5
Диаметр свай, м. (3-я цифра)	0,6	0,5	0,6	0,8	0,5	0,8	0,6
Класс бетона свай	B15						
Количество свай в кусте n , шт. (3-я цифра)	8	9	10	7	12	6	11
Глубина заложения подошвы ростверка d_p , м (2-я цифра)	1,35	1,05	1,65	-	-	-	-
Высота ростверка h_p , м	$h_p = d_p + 0,15$ м						
Вертикальная нагрузка на фундамент P , кН (4-я цифра)	1000	1200	850	1500	1350	780	1400
Горизонтальная сейсмическая нагрузка на фундамент S , кН (4-я цифра)	450	540	382	210	270	351	330
ИГЭ -1 - суглинок с показателем текучести I_L (5-я цифра)	0,4	0,7	1,0	0,6	0,5	0,9	0,8
ИГЭ -1 (γ_I , кН/м ³) (5-я цифра)	18	19,80	19,1	18,9	20	19,5	19,0
ИГЭ -1 (φ_I , град) (4-я цифра)	20	22	18	15	19	10	25
ИГЭ -1 (C_I , кПа) (5-я цифра)	15	23	12	10	28	14	18
ИГЭ -1 (мощность слоя h_I , м) (3-я цифра)	7	6	8	5,5	5	9	6,6
ИГЭ -2 – песок средней плотности, мелкий маловлажный, (γ_I , кН/м ³) (3-я цифра)	16,0	17,1	17,8	16,5	17,0	16,4	18,0
ИГЭ -2 (φ_I , град) (4-я цифра)	25	27	28	30	32	33	34
ИГЭ -2 (C_I , кПа) (3-я цифра)	5	3	2	0	1	4	8
ИГЭ -2 (коэфф-т пористости e)	0,65						
ИГЭ -2 (мощность слоя h_2 , м)	8,0						

ЗАДАЧА 1

Определение и проверка несущей способности буронабивной сваи по грунту на сжимающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий

Несущая способность буронабивной сваи по грунту с учетом сейсмической нагрузки определяется по формуле:

$$F_{eq} = \gamma_c \left(\gamma_{eq1} \cdot \gamma_{cR} RA + \cdot u \sum_{h_d}^{d_{ce}} \gamma_{eq2i} \cdot \gamma_{cfi} \cdot f_i h_i \right), \quad (1)$$

здесь γ_c – коэффициент условий работы сваи, принимается равным 0,8 при опирании ее на глинистые грунты со степенью влажности $S_r < 0,85$ и лессовые грунты, равным **1,0** – в остальных случаях;

γ_{cR} – коэффициент условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи, принимаемый равным **1,0** во всех случаях, за исключением свай с камуфлетным уширением и свай РИТ ($\gamma_{cR}=1,3$); свай с уширенной пятой, бетонируемой подводным способом ($\gamma_{cR}=1,3$);

γ_{cfi} – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности, принимается согласно табл. 1 приложения 1;

γ_{eq1} , γ_{eq2} – понижающие коэффициенты, учитывающие сейсмические воздействия, принимаются по табл. 2 приложения 1;

A – площадь поперечного сечения сваи (для сваи круглого сечения $A = \pi d^2/4$);

u – периметр поперечного сечения сваи (для сваи круглого сечения $u = \pi d$, d – диаметр сваи);

d_{ce} – глубина заложения нижнего конца сваи относительно подошвы ростверка;

h_d – расчетная длина, в пределах которой сопротивление грунта f_i по боковой поверхности сваи принимается равной нулю; определяются по формуле:

$$h_d = \frac{\delta_1 (H + \alpha_\varepsilon \delta_3 M)}{b_p \left(\frac{\delta_2}{\alpha_\varepsilon} \gamma_I \operatorname{tg} \varphi_I + c_I \right)} \quad \text{и не более} \quad \frac{3}{\alpha_\varepsilon}, \quad (2)$$

где δ_1 , δ_2 , δ_3 – безразмерные коэффициенты при жесткой заделке сваи в низкий ростверк, равные 1,2; 1,2 и 0 соответственно;

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

γ_I – расчетное значение удельного веса грунта, определяемое в водонасыщенных грунтах с учетом взвешивающего действия воды;

φ_I – расчетное значение угла внутреннего трения грунта, принимаемое уменьшенным для расчетной сейсмичности 7 баллов – на 2° , 8 баллов – на 4° , 9 баллов – на 7° ;

c_I – расчетные значения удельного сцепления грунта;

(значения γ_I , φ_I , c_I принимаются для грунтов, расположенных в зоне глубины до $3/\alpha_\varepsilon$ от уровня подошв ростверка);

α_ε – коэффициент деформации, определяется по формуле:

$$\alpha_\varepsilon = 5 \sqrt{\frac{K \cdot b_p}{\gamma \cdot EI}}, \quad (3)$$

здесь K – коэффициент пропорциональности, определяемый в зависимости от характеристики грунта, залегающего в пределах глубины $l_k = 3,5d + 1,5$ по табл. 7 приложения 1; d – диаметр поперечного сечения сваи; b_p – условная ширина сваи, принимаемая:

– для свай с диаметром стволов $\geq 0,8$ м: $b_p = (d + 1)$;

– для свай с диаметром стволов $< 0,8$ м: $b_p = (1,5d + 0,5)$.

EI – жесткость сваи;

E – модуль деформации бетона;

I – момент инерции поперечного сечения сваи (для сваи круглого сечения $I = \pi r^4 / 4$);

γ – коэффициент работы сваи (для отдельно стоящей сваи $\gamma = 3$).

Определение сил бокового сопротивления грунта f_i производится на основании табл. 4 приложения 1.

Сопротивление грунта под нижним концом буронабивной сваи R при ее опирании на глинистый грунт определяется по табл. 6 приложения 1, при опирании на песчаный грунт вычисляется по формуле:

$$R = 0,75\alpha_4(\alpha_1\gamma'_I d + \alpha_2\alpha_3\gamma_I h), \quad (4)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – безразмерные коэффициенты, определяются на основании табл. 5 приложения 1;

γ'_I – удельный вес грунта в основании сваи;

γ_I – осредненный удельный вес грунта по длине сваи.

Допустимая нагрузка на сваю:

$$N_d = \frac{F_{eq}}{\gamma_k}, \quad (5)$$

где γ_k – коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным 1,4, если несущая способность сваи определена расчетом.

Несущая способность сваи по грунту обеспечена, если выполняется условие:

$$N_{\max} < \frac{\gamma_0 N_d}{\gamma_n}, \quad (6)$$

где N_d – допустимая нагрузка на сваю;

γ_0 – коэффициент условий работы, учитывающий повышение однородности грунтовых условий при применении свайных фундаментов, принимаемый равным 1,0 при односвайном фундаменте и 1,15 при кустовом расположении свай;

γ_n – коэффициент надежности по назначению (ответственности) сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10, соответственно, для сооружений I, II и III уровней ответственности;

N_{\max} – усилие в наиболее нагруженной свае куста при особом сочетании нагрузок, определяемое по формуле:

$$N_{\max} = \frac{N_I}{n} + \frac{M_I \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}, \quad (7)$$

где N_I – расчетная сжимающая сила на уровне подошвы ростверка при особом сочетании нагрузок;

M_I – расчетный изгибающий момент на уровне подошвы ростверка в рассматриваемом направлении при особом сочетании нагрузок;

x_{\max} – расстояние от главных осей фундамента до оси наиболее удаленной сваи в направлении действия рассматриваемого момента M_I ;

x_i – расстояние от главных осей фундамента до оси i -ой сваи в направлении действия рассматриваемого момента M_I .

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные:

- сейсмичность площадки – 9 б;
- повторяемость землетрясений – 1;
- уровень ответственности здания – II;
- свая буронабивная, устраиваемая под защитой обсадной трубы из бетона класса В15;
- длина сваи $l = 10,8$ м;
- диаметр сваи $d = 0,5$ м;
- количество свай в кусте – 18 шт.;
- размеры ростверка – $9 \times 4,2 \times 1,2$ м;
- глубина заложения ростверка – 1,05 м;
- вертикальная расчетная нагрузка на фундамент от веса компрессора $P = 900$ кН;
- горизонтальная сейсмическая нагрузка, передаваемая на фундамент $S = 391,23$ кН;
- характеристики грунтов (рис. 1а):
 - ИГЭ - 1: суглинок пылеватый, просадочный, твердый ($I_L = 0,4$; $\varphi_I = 23^0$; $c = 21$ кПа; $\gamma = 20$ кН/м²);
 - ИГЭ - 2: песок мелкий, пылеватый, средней плотности, маловлажный ($\varphi_I = 25^0$; $c = 0$ кПа; $\gamma = 17$ кН/м², $e = 0,7$).

Требуется определить несущую способность сваи по грунту и допустимую нагрузку на сваю с учетом сейсмических воздействий. Произвести проверку несущей способности сваи по грунту.

Решение

1) Определим нагрузки на уровне подошвы ростверка.

Учитывая, что расчет производится на особое сочетание нагрузок, постоянную нагрузку от собственного веса конструкций принимаем с коэффициентом особого сочетания нагрузок $n_c = 0,9$ [1]. Тогда вертикальная нагрузка на уровне подошвы ростверка с учетом веса самого ростверка размерами $9 \times 4,2 \times 1,2$ м составит:

$$N_I = 0,9 \cdot (900 + 1,1 \cdot 9 \cdot 4,2 \cdot 1,2 \cdot 25) = 1932,66 \text{ кН,}$$

здесь 1,1 – коэффициент надежности по нагрузке,

25 кН/м³ – плотность железобетона.

Учитывая, что на ростверк передается горизонтальная сейсмическая сила $Q = S = 391,23$ кН, на уровне подошвы ростверка будет возникать изгибающий момент:

$$M_I = Q \cdot h_p = 391,23 \cdot 1,2 = 469,48 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (h_p \text{ – высота плиты ростверка}).$$

Горизонтальная (сейсмическая) нагрузка в уровне верха сваи:

$$H = \frac{Q}{n} = \frac{391,23}{18} = 21,8 \text{ кН.}$$

2) Определим сопротивление грунта под нижним концом буронабивной сваи R .

Расчетная схема сваи показана на рис. 3.

Поскольку в качестве несущего слоя грунта выступает песчаный грунт (ИГЭ-2 - песок мелкий, средней плотности, маловлажный), расчетное сопротивление под нижним концом сваи R будем определять по формуле (4).

Глубина заложения нижнего конца сваи $h = z = 11,85$ м.

При диаметре сваи $d = 0,5$ м отношение $h/d = 11,85/0,5 = 23,7$.

Расчетный угол внутреннего трения грунта в основании сваи $\phi_1 = 25^\circ$.

Удельный вес грунта в основании сваи $\gamma'_1 = 17$ кН/м³.

Осредненный удельный вес грунта по длине сваи:

$$\gamma_1 = (20 \cdot 5,8 + 17 \cdot 5,0) / (5,8 + 5) = 18,61 \text{ кН/м}^3.$$

При заданных параметрах грунта по табл. 5 приложения 1 приняты следующие безразмерные коэффициенты:

$$\alpha_1 = 12,6; \alpha_2 = 24,8; \alpha_3 = 0,5; \alpha_4 = 0,31.$$

Тогда

$$\begin{aligned} R &= 0,75 \alpha_4 (\alpha_1 \gamma'_1 d + \alpha_2 \alpha_3 \gamma_1 h) = \\ &= 0,75 \cdot 0,31 \cdot (12,6 \cdot 17 \cdot 0,5 + 24,8 \cdot 0,5 \cdot 18,61 \cdot 11,85) = 660,68 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

3) Определим коэффициент деформации по формуле: $\alpha_\varepsilon = 5 \sqrt[5]{\frac{K \cdot b_p}{\gamma \cdot EI}}$.

Здесь $\gamma = 3$ – при расчете одиночной сваи;

условная ширина сваи при ее диаметре до 0,8 м:

$$b_p = 1,5d + 0,5 = 1,5 \cdot 0,5 + 0,5 = 1,25 \text{ м};$$

модуль деформации бетона класса В15: $E = 24 \cdot 10^6$ кН/м²;

момент инерции поперечного сечения сваи: $I = \pi r^4 / 4 = 0,003066$ м⁴;

жесткость сваи: $EI = 24 \cdot 10^6 \cdot 0,003066 = 73584$ кН·м².

Коэффициент пропорциональности K определяется в пределах глубины $l_k = 3,5d + 1,5 = 3,5 \cdot 0,5 + 1,5 = 3,35$ м, где залегает суглинок пылеватый, просадочный (ИГЭ-1) с показателем текучести в замоченном состоянии, равным 0,4. Тогда согласно табл. 7 приложения 1 коэффициент $K = 13200$ кН/м⁴.

При данных параметрах коэффициент деформации:

$$\alpha_\varepsilon = 5 \sqrt[5]{\frac{13200 \cdot 1,25}{3 \cdot 73584}} = 0,595 \text{ м}^{-1}.$$

4) Определим расчетную длину, в пределах которой отсутствует боковое сопротивление грунта f_i по формуле (2):

$$h_d = \frac{\delta_1 (H + \alpha_\varepsilon \delta_3 M)}{b_p \left(\frac{\delta_2}{\alpha_\varepsilon} \gamma_1 \operatorname{tg} \phi_1 + c_1 \right)} = \frac{1,2 \cdot (21,8 + 0)}{1,25 \cdot \left(\frac{1,2}{0,595} \cdot 20 \cdot \operatorname{tg} (23^\circ - 7^\circ) + 21 \right)} = 0,65 \text{ м} < \frac{3}{\alpha_\varepsilon} = 5,04.$$

Примечание: угол внутреннего трения принят на 7° ниже, поскольку сейсмичность площадки составляет 9 баллов.

5) Определим сопротивление грунта по боковой поверхности сваи:

Для удобства вычисления сведены в табл. 2.

Таблица 2

z, м	h_i , м	f_i , кПа	γ_{cf_i}	γ_{eq2_i}	$\cdot \gamma_{eq2_i} \gamma_{cf_i} f_i h_i$
2,7	2,0	23,8	0,7	0,6	20,0
4,7	2,0	28,4	0,7	0,6	23,86
6,275	1,15	31,315	0,7	0,6	15,10
7,85	2,0	32,275	0,7	0,65	29,84
9,85	2,0	33,925	0,7	0,65	30,87
11,35	1,0	35,48	0,7	0,65	16,14
ИТОГО					135,81

Примечание: при определении сопротивлений f_i с учетом сейсмических воздействий просадочные свойства грунта не учитываются (п.12.8 [2]).

б) Определим несущую способность сваи по грунту по формуле (1).

При диаметре сваи 0,5 м площадь и периметр ее поперечного сечения:
 $A = 3,14 \cdot 0,5^2 / 4 = 0,19625 \text{ м}^2$, $u = 3,14 \cdot 0,5 = 1,57 \text{ м}$.

Коэффициенты формулы (1):

$\gamma_c = 1$ (для буронабивной сваи, опирающейся нижним концом на песчаный грунт);

$\gamma_{cR} = 1$; $\gamma_{eq1} = 0,6$ (при опирании буронабивной сваи на маловлажный песчаный грунт средней плотности при сейсмичности площадки строительства 9 баллов (табл 2 приложения 1)).

Учитывая заданную повторяемость землетрясения – 1 (см. исходные данные), к коэффициентам γ_{eq1} и γ_{eq2} вводим дополнительно коэффициент 0,85. Тогда несущая способность сваи по грунту с учетом сейсмичности равна:

$$F_{eq} = 1,0 \cdot 0,85 (0,6 \cdot 1,0 \cdot 660,68 \cdot 0,19625 + 1,57 \cdot 135,81) = 252,87 \text{ кН}.$$

7) Определим допустимую нагрузку на сваю:

$$N_d = \frac{F_{eq}}{\gamma_k} = \frac{252,87}{1,4} = 180,62 \text{ кН}.$$

8) Проверим несущую способность по грунту на сжимающую нагрузку по формуле (6).

Усилие в наиболее нагруженной свае (рис.1б и формула (7):

$$N_{\max} = \frac{1932,66}{18} + \frac{469,48 \cdot 1,6}{12 \cdot 1,6^2} = 146,49 \text{ кН} < \frac{\gamma_0 N_d}{\gamma_n} = \frac{1,15 \cdot 180,62}{1,15} = 180,62 \text{ кН},$$

здесь $\gamma_0 = 1,15$ при кустовом расположении свай;

$\gamma_n = 1,15$ для здания II уровня ответственности.

Условие (6) выполняется. Несущая способность сваи по грунту на сжимающую нагрузку при сейсмических воздействиях обеспечена.

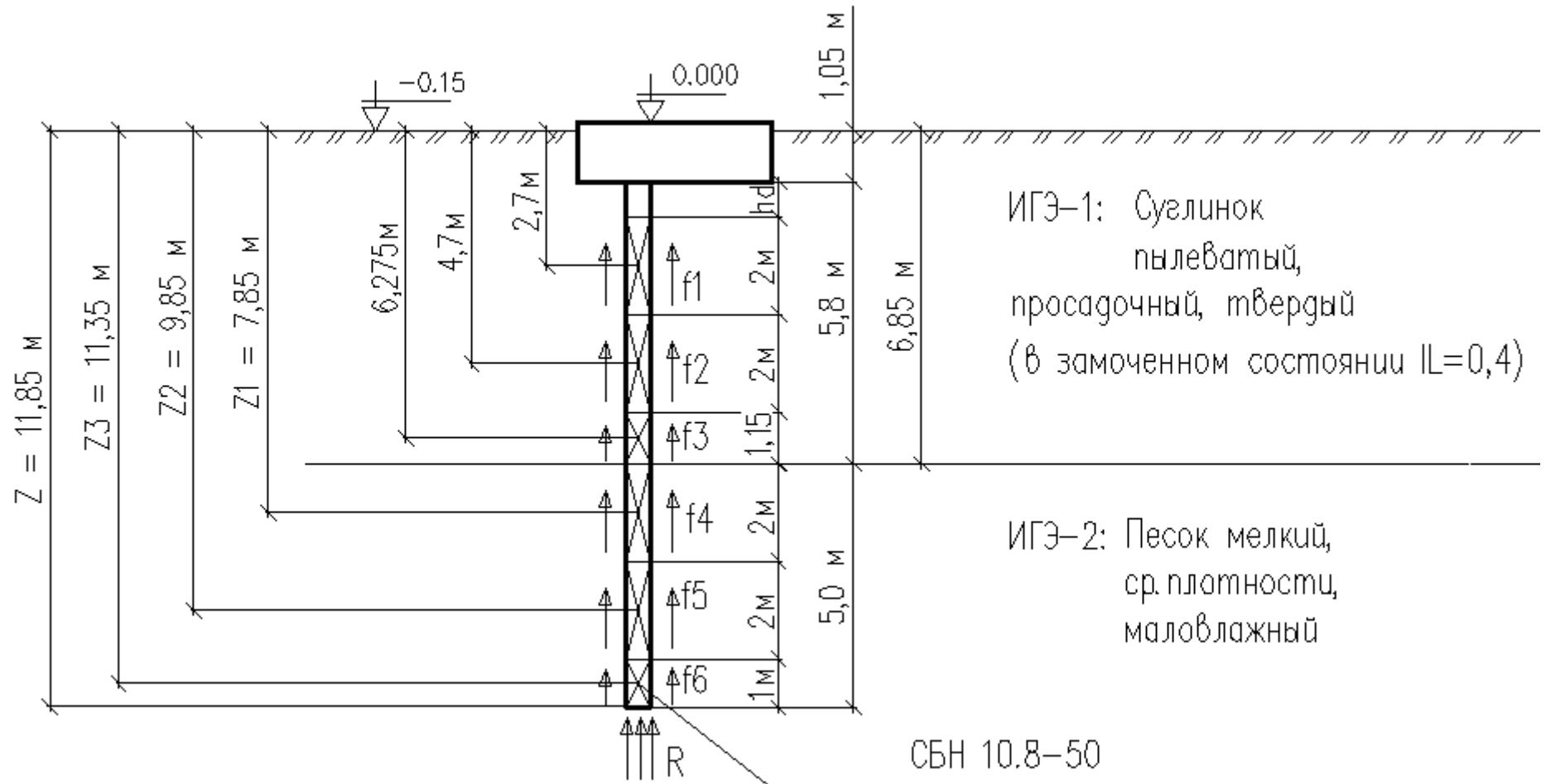


Рис.3. Расчетная схема сваи

ЗАДАЧА 2

Расчет сваи на совместное действие вертикальной, горизонтальной сил и момента. Расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю

Расчет сваи на совместное действие вертикальной, горизонтальной сил и момента производится на основании *приложения В* [2] в соответствии со схемой, приведенной на рис.4. В этом случае, при особом сочетании нагрузок (с учетом сейсмических воздействий) расчет предусматривает:

- 1) расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю;
- 2) проверку сечений свай по сопротивлению материала.

1) Расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю, производится по условию ограничения расчетного давления σ_z , оказываемого на грунт боковыми поверхностями сваи при особом сочетании нагрузок. Глубина расположения расчетных сечений (z) от расчетной поверхности зависит от приведенной глубины \bar{l} погружения сваи в грунт, равной $\bar{l} = \alpha_\varepsilon l$ (l – длина сваи, α_ε – коэффициент деформации (его вычисление – в задаче 1)). При $\bar{l} \leq 2,5$ проверка выполняется для двух сечений, расположенных на глубине: $z = l/3$ и $z = l$. При $\bar{l} > 2,5$ – в одном сечении на глубине $z = 0,85/\alpha_\varepsilon$. В качестве расчетной поверхности принимается при высоком ростверке поверхность грунта, при низком – подошва ростверка (поз.1 на рис. 4).

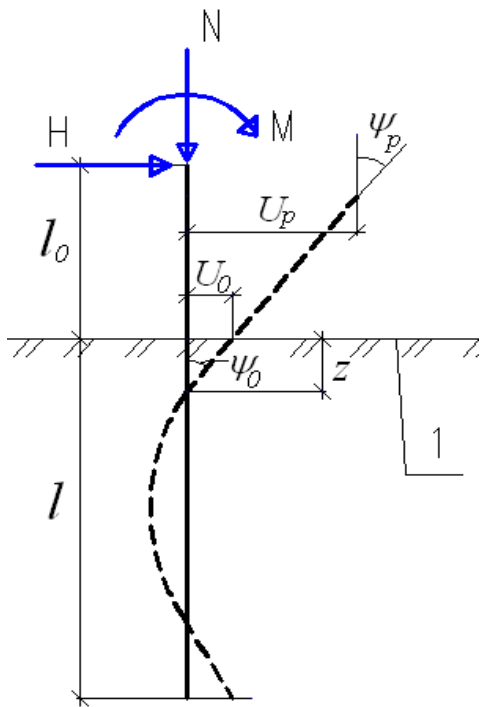


Рис. 4. Схема нагрузок на сваю:
1 – расчетная поверхность

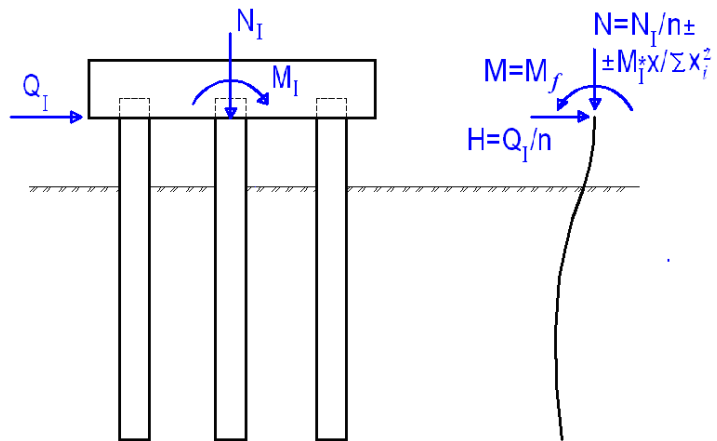


Рис. 5. Определение нагрузок на голову сваи в случае жесткой заделки в ростверк и многорядном расположении свай (n – количество свай в кусте)

В соответствии с приложением В [2] для всех рассматриваемых сечений должно выполняться условие:

$$\sigma_z \leq \eta_1 \eta_2 \frac{4}{\cos \varphi_I} (\gamma_I \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi + \xi \cdot c_I), \quad (8)$$

где σ_z – расчетное давление на грунт на глубине z , определяется по формуле (10);

η_1 – коэффициент, равный единице, кроме случаев расчета фундаментов распорных сооружений, для которых $\eta_1 = 0,7$;

η_2 – коэффициент, учитывающий долю постоянной нагрузки в суммарной нагрузке, определяемый по формуле:

$$\eta_2 = \frac{M_c + M_t}{\bar{n} M_c + M_t} \quad (9)$$

где M_c – момент от внешних постоянных нагрузок в сечении фундамента на уровне нижних концов свай; M_t – то же, от внешних временных расчетных нагрузок; \bar{n} – коэффициент, принимаемый равным 2,5, за исключением случаев расчета: а) особо ответственных сооружений, для которых при $\bar{l} \leq 2,6$ принимается $\bar{n} = 4$ и при $\bar{l} \geq 5$ $\bar{n} = 2,5$ (при промежуточных значениях \bar{l} значение \bar{n} определяется интерполяцией); б) фундаментов с однорядным расположением свай на внецентренно приложенную вертикальную сжимающую нагрузку, для которых следует принимать $\bar{n} = 4$ независимо от значения \bar{l}).

γ_I – расчетный удельный вес грунта ненарушенной структуры, определяемый в водонасыщенных грунтах с учетом взвешивания в воде;

φ_I , c_I – расчетные значения, соответственно, угла внутреннего трения грунта и удельного сцепления грунта;

ξ – коэффициент, принимаемый для забивных свай и свай-оболочек равным 0,6, а для всех остальных видов свай – 0,3.

При нарушении неравенства (8) производится корректировка фундамента (увеличивается сечение свай или в фундамент вводятся дополнительные сваи).

В соответствии с [2] (СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85, приложение В), расчетное давление на грунт σ_z должно определяться численными методами с использованием современных программных комплексов (Лира, Старк, Склад и т.п.). Для ручного счета можно использовать методику [3] (СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов», приложение Д)).

Согласно [3], расчетное давление на грунт на глубине z определяется по формуле:

$$\sigma_z = \frac{K}{\alpha_\varepsilon} z \left(U_0 A_1 - \frac{\psi_0}{\alpha_\varepsilon} B_1 + \frac{M_0}{\alpha_\varepsilon^2 EI} C_1 + \frac{H_0}{\alpha_\varepsilon^3 EI} D_1 \right), \quad (10)$$

здесь A_1, C_1, D_1 – коэффициенты, определенные по табл. 9 приложения 1 в зависимости от приведенной глубины расчетного сечения $\bar{z} = \alpha_\varepsilon \cdot z$;

$K, \alpha_\varepsilon, EI$ – то же, что и в задаче 1;

U_0 и Ψ_0 – горизонтальное перемещение и угол поворота поперечного сечения сваи в уровне поверхности грунта при высоком ростверке, а при низком ростверке – в уровне его подошвы (рис. 4); определяются по формулам:

$$U_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{HH} + M_0 \cdot \varepsilon_{HM}, \quad (11)$$

$$\Psi_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{MH} + M_0 \cdot \varepsilon_{MM}, \quad (12)$$

где H_0 и M_0 – расчетные значения поперечной силы и изгибающего момента, передающиеся на сваю в уровне рассматриваемого сечения, принимаемые равными $H_0 = H$, $M_0 = M + Hl_0$; l_0 – длина участка сваи, равная расстоянию от подошвы ростверка до поверхности грунта под ростверком (при низком ростверке $l_0 = 0$); H и M – расчетные значения поперечной силы и изгибающего момента, действующие на голову сваи. Для свайного фундамента с вертикальными сваями одинакового поперечного сечения горизонтальная нагрузка принимается равномерно распределенной между всеми сваями, то есть $H = Q/n$ (Q – горизонтальная нагрузка на фундамент, n – количество свай). Изгибающий момент M зависит от конструкции свайного фундамента. При многорядном (два ряда и более) расположении свай в фундаменте и жесткой заделке свай в ростверк M принимается равным расчетному моменту заделки M_f и вычисляется исходя из невозможности поворота головы сваи ($\Psi_0 = 0$) по формуле (16). В случае свободного опирания ростверка на сваи принимается $M = 0$;

$\varepsilon_{HH}, \varepsilon_{HM}, \varepsilon_{MH}, \varepsilon_{MM}$ – перемещения расчетного сечения сваи от действия единичных нагрузок, в частности (рис.5):

ε_{HH} – горизонтальное перемещение сечения от силы $H_0 = 1$;

ε_{HM} – горизонтальное перемещение сечения от момента $M_0 = 1$;

ε_{MH} – угол поворота сечения от силы $H_0 = 1$;

ε_{MM} – угол поворота сечения от момента $M_0 = 1$. Определяются они по формулам:

$$\varepsilon_{HH} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^3 EI} A_0; \quad (13)$$

$$\varepsilon_{HM} = \varepsilon_{MH} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^2 EI} B_0; \quad (14)$$

$$\varepsilon_{MM} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon EI} C_0, \quad (15)$$

где A_0, B_0, C_0 – безразмерные коэффициенты, принимаемые по табл. 8 приложения 1 в зависимости от приведенной глубины заложения свай в грунте \bar{l} .

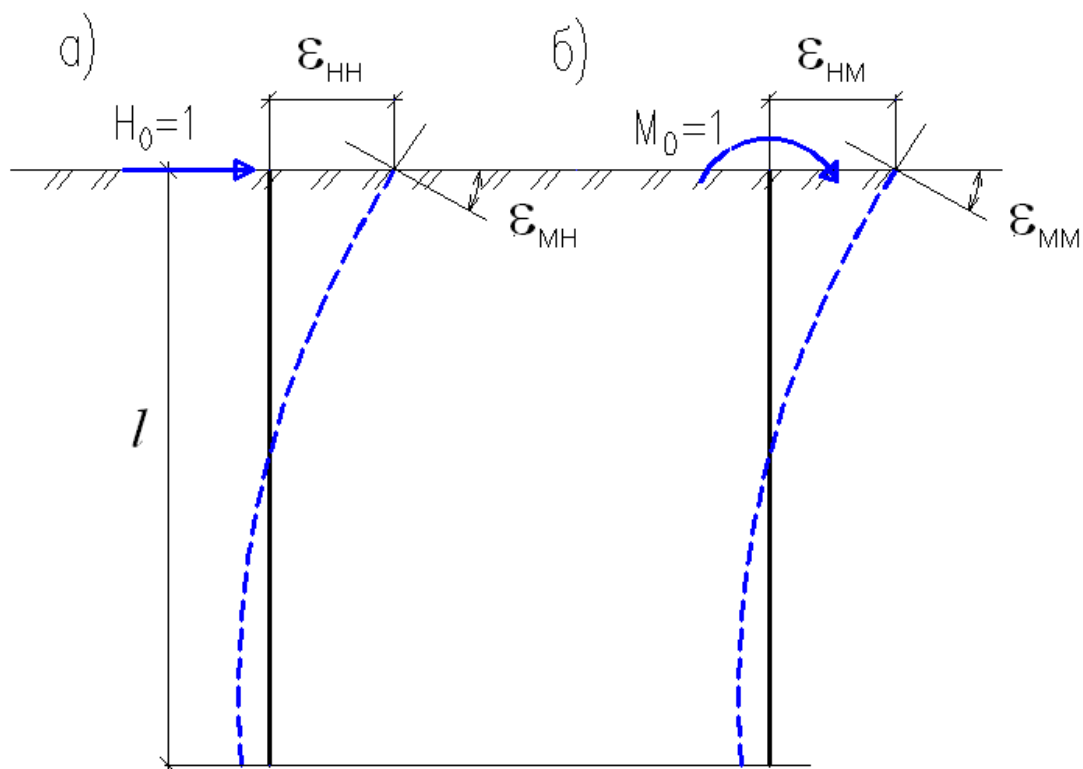


Рис. 5. Расчетные схемы к определению единичных перемещений:

- а) перемещения от действия силы $H_0=1$, приложенной в уровне поверхности грунта;
 б) перемещения от действия момента $M_0=1$

Расчетный момент заделки M_f , учитываемый при расчете свай, имеющих жесткую заделку в ростверк, следует определять по формуле:

$$M_f = - \frac{\varepsilon_{MH} + l_0 \varepsilon_{MM} + l_0^2 / (2EI)}{\varepsilon_{MM} + l_0 / EI} H, \quad (16)$$

при низком ростверке $l_0 = 0$; знак «минус» означает, что при горизонтальной силе H , направленной слева направо, на голову сваи со стороны заделки передается момент, направленный против часовой стрелки.

2) Проверка несущей способности сваи по материалу при особом сочетании нагрузок производится по предельным состояниям I группы на совместное действие расчетных усилий – вертикальной силы N_z , изгибающего момента M_z и поперечной силы H_z . Расчеты выполняются в зависимости от материала сваи согласно требованиям соответствующих глав Строительных норм и правил (для железобетонных свай используется [5]). Свая рассчитывается как внецентренно нагруженный стержень, защемленный в грунте в сечении, расположенном от подошвы ростверка на расстоянии $l_1 = l_0 + 2/\alpha_\varepsilon$. При этом расчетные значения усилий в свае могут определяться как с помощью автоматизированных расчетных программных комплексов, так и ручным способом. При ручном вычислении усилий в свае на глубине z от расчетной поверхности используются формулы приложения Д [3]:

$$M_z = \alpha_\varepsilon^2 EIU_0 A_3 - \alpha_\varepsilon EI\psi_0 B_3 + M_0 C_3 + \frac{H_0}{\alpha_\varepsilon} D_3; \quad (17)$$

$$Q_z = \alpha_\varepsilon^3 EIU_0 A_4 - \alpha_\varepsilon^2 EI\psi_0 B_4 + \alpha_\varepsilon M_0 C_4 + H_0 D_4; \quad (18)$$

$$N_z = N. \quad (19)$$

здесь $A_3, B_3, C_3, D_3, A_4, B_4, C_4, D_4$ – безразмерные коэффициенты, определенные по табл. 9 приложения 1 в зависимости от приведенной глубины расположения расчетного сечения сваи в грунте $\bar{z} = \alpha_\varepsilon \cdot z$; α_ε, EI – то же, что и в задаче 1.

Максимальное значение расчетного момента в свае M_z^{\max} определяют по эпюре изгибающих моментов. Для построения эпюры вычисления по формуле (17) проводятся для $\bar{z} = 0,0; 0,5; 1,0 \dots 4,0$. В частном случае максимальный момент может действовать в заделке головы сваи в ростверк, то есть $M_z^{\max} = M_f$.

Примечание

При расчете железобетонных свай, изготавливаемых в грунте (кроме свай-столбов и буроопускных свай) по прочности материала расчетное сопротивление бетона следует принимать с понижающим коэффициентом условий работы $\gamma_{cb} = 0,85$, учитывающим бетонирование в узком пространстве скважин и обсадных труб, и дополнительного понижающего коэффициента γ'_{cb} , учитывающего влияние способа производства свайных работ:

а) в глинистых грунтах, если возможны бурение скважин и бетонирование их насухо без крепления стенок при положении уровня подземных вод в период строительства ниже пяты свай, $\gamma'_{cb} = 1,0$;

б) в грунтах, бурение скважин и бетонирование в которых производят насухо с применением извлекаемых обсадных труб или полых шнеков, $\gamma'_{cb} = 0,9$;

в) в грунтах, бурение скважин и бетонирование в которых осуществляют при наличии в них воды с применением извлекаемых обсадных труб или полых шнеков, $\gamma'_{cb} = 0,8$;

г) в грунтах, бурение скважин и бетонирование в которых выполняют под глинистым раствором или под избыточным давлением воды (без обсадных труб), $\gamma'_{cb} = 0,7$.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные те же, что и в задаче 1:

- сейсмичность площадки – 9б;
- свайный фундамент из буронабивных свай диаметром 0,5 м, длиной 10,8 м;
- количество свай в кусте – 18 шт.;
- характеристики грунтов (рис. 1а):
 - **ИГЭ - 1:** суглинок пылеватый, просадочный, твердый ($\varphi_I = 23^0$; $c = 21$ кПа; $\gamma = 20$ кН/м²);
 - **ИГЭ - 2:** песок мелкий, пылеватый, средней плотности, маловлажный ($\varphi_I = 25^0$; $c = 0$ кПа; $\gamma = 17$ кН/м², $e = 0,7$).

В условиях сейсмических воздействий на уровне подошвы ростверка действуют следующие нагрузки (рис. 6):

$$N_I = 1932,66 \text{ кН}, \quad M_I = 469,5 \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad Q_I = 391,23 \text{ кН}.$$

Требуется проверить устойчивость грунта, окружающего сваю, с учетом сейсмических воздействий. Проверить сечение сваи по сопротивлению материала.

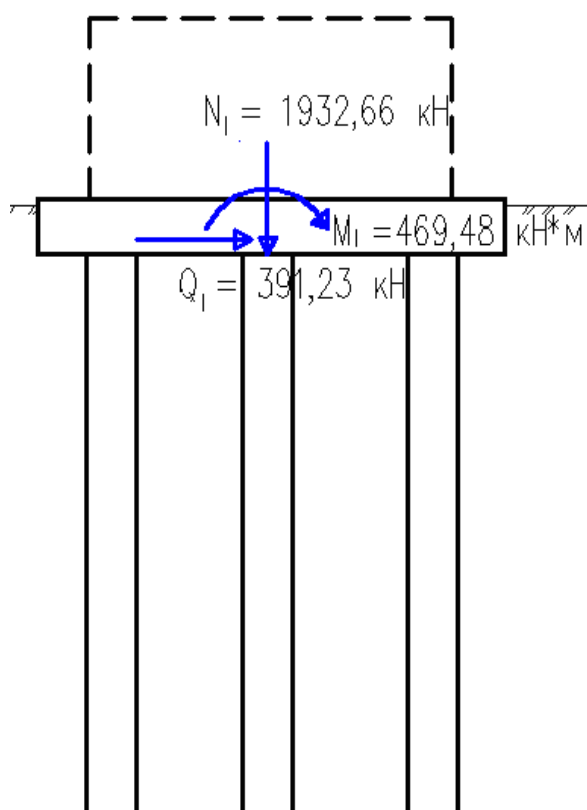


Рис. 6. Схема нагружения свайного фундамента

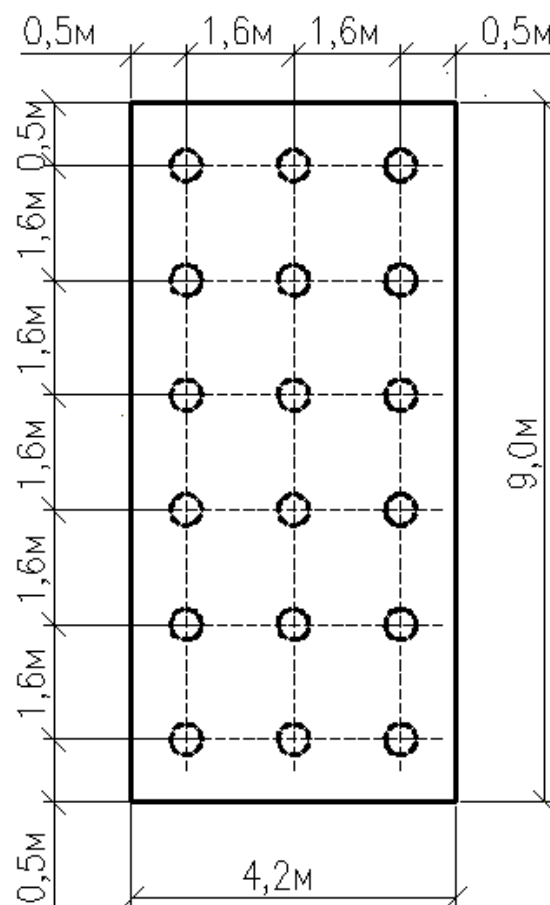


Рис. 7. Схема размещения свай в плане

1) Определим нагрузки, действующие на голову сваи.

На голову максимально нагруженной сваи приходят нагрузки:

- вертикальная

$$N_{\max} = \frac{N_I}{n} + \frac{M_I \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2} = \frac{1932,66}{18} + \frac{469,48 \cdot 1,6}{12 \cdot 1,6^2} = 146,49 \text{ кН}$$

- горизонтальная $H = \frac{Q}{n} = \frac{391,23}{18} = 21,735 \text{ кН}$.

Поскольку в сейсмическом районе принимается жесткое сопряжение между свайей и ростверком, необходимо определить расчетный момент заделки сваи в ростверке M_f по формуле (16). При этом, учитывая низкий ростверк, принимаем расстояние $l_0 = 0$. Для определения единичных перемещений ε_{HH} , ε_{HM} , ε_{MH} , ε_{MM} (рис. 5) необходимо знать значения следующих параметров, вычисленных в задаче 1:

– коэффициент деформации $\alpha_\varepsilon = 0,595 \text{ м}^{-1}$;

– жесткость сваи $EI = 73584 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$.

По табл. 8 приложения 1 для случая опирания сваи на нескальный грунт при $\bar{l} = 6,426 \text{ м} > 4$ определяем безразмерные коэффициенты: $A_0 = 2,441$, $B_0 = 1,621$, $C_0 = 1,751$. Перемещения свай в уровне подошвы ростверка от действия единичных нагрузок (рис.5, формулы (13–15)):

$$\varepsilon_{HH} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^3 EI} A_0 = \frac{1}{0,595^3 \cdot 73584} \cdot 2,441 = 1,59 \cdot 10^{-4} \text{ м/кН};$$

$$\varepsilon_{MH} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^2 EI} B_0 = \frac{1}{0,595^2 \cdot 73584} \cdot 1,621 = 6,22 \cdot 10^{-5} \text{ 1/кН};$$

$$\varepsilon_{HM} = \varepsilon_{MH} = 6,22 \cdot 10^{-5} \text{ 1/кН} \cdot \text{м};$$

$$\varepsilon_{MM} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon EI} C_0 = \frac{1}{0,595 \cdot 73584} \cdot 1,751 = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/кН} \cdot \text{м}.$$

Тогда расчетный момент заделки по формуле (16):

$$M_f = -\frac{\varepsilon_{MH}}{\varepsilon_{MM}} H = -\frac{6,22 \cdot 10^{-5}}{4,0 \cdot 10^{-5}} 21,735 = -33,80 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

знак «минус» означает, что при горизонтальной силе H , направленной слева направо, на голову сваи со стороны заделки передается момент, направленный против часовой стрелки.

Итак, при низком ростверке на голову наиболее нагруженной сваи приходят нагрузки:

$$N_{\max} = 146,49 \text{ кН}, H = 21,735 \text{ кН}, M = M_f = -33,80 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

2) Определим перемещения сваи на уровне подошвы ростверка по формулам (11–12).

Расчетные значения поперечной силы и изгибающего момента, передающиеся на сваю в уровне подошвы низкого ростверка (при $l_0 = 0$) принимаем равными нагрузкам, приходящими на голову сваи, то есть:

$$H_0 = H = 21,735 \text{ кН}, \quad M_0 = M = M_f = -33,80 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Тогда горизонтальное перемещение сваи на уровне подошвы ростверка:

$$U_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{HH} + M_0 \cdot \varepsilon_{HM} = 21,735 \cdot 1,59 \cdot 10^{-4} + (-33,80) \cdot 6,22 \cdot 10^{-5} = 0,00135 \text{ м}.$$

Угол поворота поперечного сечения сваи в уровне подошвы ростверка принимаем $\psi_0 = 0$, поскольку сваи жестко заземлены в ростверк, и в направлении действующего момента M_f расположено 3 ряда свай (более одного), то есть поворот голов свай невозможен.

3) Вычислим давление на грунт боковой поверхности сваи в расчетных сечениях для определения устойчивости грунта.

Приведенная длина сваи $\bar{l} = \alpha_\varepsilon l = 0,595 \cdot 10,8 = 6,426$.

Поскольку $\bar{l} > 2,5$, давление σ_z , оказываемое на грунт боковой поверхностью сваи, определяем только для одного сечения, расположенного на глубине $z = 0,85/\alpha_\varepsilon = 0,85/0,595 = 1,428$ м, отчисляемой от уровня подошвы ростверка.

По табл. 9 приложения 1 определим значения безразмерных коэффициентов, соответствующих приведенной глубине расчетного сечения $\bar{z} = \alpha_\varepsilon \cdot z = 0,595 \cdot 1,428 = 0,85$:

$$A_1 = 0,996, \quad C_1 = 0,3625, \quad D_1 = 0,103.$$

Учитывая, что $\psi_0 = 0$ и коэффициент пропорциональности $K = 13200 \text{ кН/м}^4$ (определение K , задача 1), по формуле (10) вычислим:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{K}{\alpha_\varepsilon} \bar{z} \left(U_0 A_1 - \frac{\psi_0}{\alpha_\varepsilon} B_1 + \frac{M_0}{\alpha_\varepsilon^2 EI} C_1 + \frac{H_0}{\alpha_\varepsilon^3 EI} D_1 \right) = \\ &= \frac{13200}{0,595} 0,85 \left(0,00135 \cdot 0,996 - 0 - \frac{33,80}{0,595^2 \cdot 73584} 0,3625 + \frac{21,735}{0,595^3 \cdot 73584} 0,103 \right) = \\ &= 19,2 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

3) Проверим устойчивость грунта по формуле (8).

В правой части выражения (8) коэффициенты $\eta_1 = 1$, поскольку фундамент не является распорным сооружением. Так как в рассматриваемой задаче момент на уровне нижних концов свай возникает только от действия сейсмических сил (горизонтальные постоянные нагрузки отсутствуют), в формуле (9) принимаем $M_c = 0$, и соответственно $\eta_2 = 1$. Коэффициент $\xi = 0,3$.

Сечение сваи на глубине $z = 1,1428$ м от подошвы ростверка находится в суглинках просадочных (ИГЭ-1), имеющих следующие характеристики в замоченном состоянии: $\varphi_1 = 23^0$; $c_1 = 21$ кПа; $\gamma_1 = 20$ кН/м². Учитывая, что расчет производим для района сейсмичностью 9 баллов, расчетный угол внутреннего трения понижаем на 7^0 . Тогда предельное давление грунта на рассматриваемой глубине:

$$\sigma_u = \eta_1 \eta_2 \frac{4}{\cos \varphi_1} (\gamma_1 \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + \xi \cdot c_1) =$$

$$= 1 \cdot 1 \cdot \frac{4}{\cos(23 - 9)^0} (20 \cdot 1,1428 \cdot \operatorname{tg}(23^0 - 7^0) + 0,3 \cdot 21) = 60,29 \text{ кПа}.$$

Проверим условие (8): $\sigma_z = 19,2$ кПа < 60,29 кПа.

Условие выполняется, устойчивость грунта обеспечена.

3) Проверим сечение свай по сопротивлению материала.

По формуле (17) вычислим значения изгибающих моментов M_z для $\bar{z} = 0,0; 0,5; 1,0 \dots 4,0$ и построим эпюру (табл. 3). По эпюре моментов видим, что в нашем случае максимальный изгибающий момент действует в месте сопряжения свай с ростверком, то есть $M_z^{\max} = M_f = -33,8$ кН·м, ему соответствуют $Q_z = H = 21,735$ кН, и $N_z = N_{\max} = 146,49$ кН.

Таблица 3

Вычисление изгибающих моментов в сечениях свай

\bar{z}	z, м	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	M _z , кН·м	Эпюра M _z
0,0	0,0	0,0	0,0	1	0,0	-33.80	
0,5	0,84	-0,021	-0,005	0,999	0,5	-16.24	
1,0	1,68	-0,167	-0,083	0,975	0,994	-2.52	
1,5	2,52	-0,559	-0,42	0,811	1,437	5.43	
2,0	3,36	-1,295	-1,314	0,207	1,646	7.60	
2,5	4,20	-2,381	-3,131	-1,413	1,1345	5.49	
3,0	5,04	-3,541	-6	-4,688	-0,891	1.41	
3,5	5,88	-3,919	-9,544	-10,34	-5,854	-2.14	
4,0	6,72	-1,614	-11,731	-17,919	-15,076	-1.81	

Подбор армирования свай по полученным максимальным усилиям должен производиться на основании [5] как для внецентренно-нагруженного элемента. Для предварительного упрощенного подбора арматуры могут быть использованы графики приложения 2.

В нашем случае по графику (а) Приложения 2 при усилиях $M_z^{\max} = 33,8$ кН·м и $N_z = 146,49$ кН для сваи диаметром 500 мм принимаем армирование: 6Ø12 А-III (А400).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. (Актуализированная редакция СНиП II-7-81).
2. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты (Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85).
3. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов.
4. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Общие положения. Актуализированная редакция СП 52-01-2003.
5. Ильичев В.А., Монголов Ю.В., Шаевич В.М. «Свайные фундаменты в сейсмических районах»: Учебник.– М.:Стройиздат,– 1983 , 104 с.
6. Основания и фундаменты: Справочник/ Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Слободян, Г.С. Госькова; Под ред. Г.И. Швецова. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с.
7. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под. общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.В. Трофименкова. М: Стройиздат, 1985. – 480 с.

(Таблица 7.5 СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

29

Сваи и способы их устройства	Коэффициент условий работы свай γ_{cf}			
	в песках	в супесях	в суглинках	в глинах
1. Набивные по 6.4, α при забивке инвентарной трубы с наконечником	0,8	0,8	0,8	0,7
2. Набивные виброштампованные	0,9	0,9	0,9	0,9
3. Буровые, в том числе с уширением, бетонируемые:				
а) при отсутствии воды в скважине (сухим способом), а также при использовании обсадных инвентарных труб	0,7	0,7	0,7	0,6
б) под водой или под глинистым раствором	0,6	0,6	0,6	0,6
в) жесткими бетонными смесями, укладываемыми с помощью глубинной вибрации (сухим способом)	0,8	0,8	0,8	0,7
4. Бурунабивные, полые круглые, устраиваемые при отсутствии воды в скважине с помощью вибросердечника	0,8	0,8	0,8	0,7
5. Сваи-оболочки, погружаемые вибрированием с выемкой грунта	1,0	0,9	0,7	0,6
6. Сваи-столбы	0,7	0,7	0,7	0,6
7. Буруинъекционные, изготавливаемые под защитой обсадных труб или бентонитового раствора с опрессовкой давлением 200-400 кПа (2-4 атм)	0,9	0,8	0,8	0,8
8. Буруинъекционные сваи РИТ	1,3	1,3	1,1	1,1

(Таблица 12.1 СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

Расчетная сейсмичность зданий и сооружений, баллы	Коэффициент условий работы $\gamma_{вq1}$ для корректировки значений R при грунтах						Коэффициент условий работы $\gamma_{вq2}$ для корректировки значений f_i при грунтах					
	Пески плотные		Пески средней плотности		Глинистые грунты при показателе текучести		Пески плотные и средней плотности		Глинистые грунты при показателе текучести			
	мало-влажные и влажные	насыщенные водой	мало-влажные и влажные	насыщенные водой	$I_L < 0$	$0 \leq I_L \leq 0,5$	мало-влажные и влажные	насыщенные водой	$I_L < 0$	$0 \leq I_L \leq 0,75$	$0,75 \leq I_L < 1$	
7	$\frac{1}{0,9}$	$\frac{0,9}{0,5}$	$\frac{0,95}{0,85}$	$\frac{0,8}{0,4}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{0,95}{0,9}$	$\frac{0,95}{0,85}$	$\frac{0,9}{0,5}$	$\frac{0,95}{0,9}$	$\frac{0,85}{0,8}$	$\frac{0,75}{0,75}$	
8	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{0,8}{0,4}$	$\frac{0,85}{0,75}$	$\frac{0,7}{0,35}$	$\frac{0,95}{0,95}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{0,85}{0,75}$	$\frac{0,8}{0,4}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{0,7}{0,65}$	
9	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{0,7}{0,35}$	$\frac{0,75}{0,6}$	-	$\frac{0,9}{0,85}$	$\frac{0,85}{0,7}$	$\frac{0,75}{0,65}$	$\frac{0,7}{0,35}$	$\frac{0,85}{0,65}$	$\frac{0,7}{0,6}$	-	

Примечания:

1. Значения $\gamma_{вq1}$ и $\gamma_{вq2}$, указанные над чертой, относятся к забивным, набивным сваям (сваям вытеснения), под чертой - к буровым.
2. Значения коэффициентов $\gamma_{вq1}$ и $\gamma_{вq2}$ следует умножать на 0,85, 1,0 или 1,15 для зданий и сооружений, возводимых в районах с повторяемостью 1, 2, 3 соответственно (кроме транспортных и гидротехнических).
3. Несущую способность свай-стоек, опирающихся на скальные и крупнообломочные грунты, определяют без введения дополнительных коэффициентов условий работы $\gamma_{вq1}$ и $\gamma_{вq2}$.

(Таблица 7.2 СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ.
Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, R , кПа						
	песков средней плотности						
	гравелистых	крупных	-	средней крупности	мелких	пылеватых	-
	глинистых грунтов при показателе текучести I_L , равном						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	7500	<u>6600</u> 4000	3000	<u>3100</u> 2000	<u>2000</u> 1200	1100	600
4	8300	<u>6800</u> 5100	3800	<u>3200</u> 2500	<u>2100</u> 1600	1250	700
5	8800	<u>7000</u> 6200	4000	<u>3400</u> 2800	<u>2200</u> 2000	1300	800
7	9700	<u>7300</u> 6900	4300	<u>3700</u> 3300	<u>2400</u> 2200	1400	850
10	10500	<u>7700</u> 7300	5000	<u>4000</u> 3500	<u>2600</u> 2400	1500	900
15	11700	<u>8200</u> 7500	5600	<u>4400</u> 4000	2900	1650	1000
20	12600	8500	6200	<u>4800</u> 4500	3200	1800	1100
25	13400	9000	6800	5200	3500	1950	1200
30	14200	9500	7400	5600	3800	2100	1300
≥ 35	15000	10000	8000	6000	4100	2250	1400

Примечания:

- Над чертой даны значения R для песков, под чертой - для глинистых грунтов.
- В таблицах 7.2 и 7.3 глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта при планировке территории срезкой, подсыпкой, намывом до 3 м следует принимать от уровня природного рельефа, а при срезке, подсыпке, намыве от 3 м - от условной отметки, расположенной соответственно на 3 м выше уровня срезки или на 3 м ниже уровня подсыпки.

Глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта в водоеме следует принимать от уровня дна после общего размыва расчетным паводком, на болотах - от уровня дна болота.

При проектировании путепроводов через выемки глубиной до 6 м для свай, забиваемых молотами без подмыва или устройства лидерных скважин, глубину погружения в грунт нижнего конца сваи в таблице 7.2 следует принимать от уровня природного рельефа в месте сооружения фундамента. Для выемок глубиной более 6 м глубину погружения свай следует принимать как для выемок глубиной 6 м.

- Для промежуточных глубин погружения свай и промежуточных значений показателя текучести I_L глинистых грунтов значения R и f_i в таблицах 7.2 и 7.3 определяют интерполяцией.

4. Для плотных песков, плотность которых определена по данным статического зондирования, значения R по таблице 7.2 для свай, погруженных без использования подмыва или лидерных скважин, следует увеличить на 100%. При определении плотности грунта по данным других видов инженерных изысканий и отсутствии данных статического зондирования для плотных песков значения R по таблице 7.2 следует увеличить на 60%, но не более чем до 20000 кПа.

5. Значения расчетных сопротивлений R по таблице 7.2 допускается использовать при условии, если заглубление свай в неразмываемый и несрезаемый грунт составляет не менее, м:

4,0 - для мостов и гидротехнических сооружений;

3,0 - для зданий и прочих сооружений.

6. Значения расчетного сопротивления R под нижним концом забивных свай сечением 0,15x0,15 м и менее, используемых в качестве фундаментов под внутренние перегородки одноэтажных производственных зданий, допускается увеличивать на 20%.

7. Для супесей при числе пластичности $I_p \leq 4$ и коэффициенте пористости $e < 0,8$ расчетные сопротивления R и f_1 следует определять как для пылеватых песков средней плотности.

8. При расчетах показатель текучести грунтов следует принимать применительно к прогнозируемому их состоянию в период эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

Таблица 4

(Таблица 7.3 СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

Средняя глубина расположения слоя грунта, м	Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек f_i , кПа								
	песков средней плотности								
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых	-	-	-	-	-	-
	глинистых грунтов при показателе текучести I_L , равном								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	28	7	5	4	4
3	48	35	25	20	30	8	7	6	5
4	53	38	27	22	32	9	8	7	5
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	6
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7
35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Примечания:

1. При определении расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности свай f_i следует учитывать требования, изложенные в примечаниях 2, 3 и 8 к таблице 7.2.

2. При определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай f_i пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 м.

3. Значения расчетного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай f_i следует увеличивать на 30% по сравнению со значениями, приведенными в таблице.

4. Расчетные сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости $e < 0,5$ и глин с коэффициентом пористости $e < 0,6$ следует увеличивать на 15% по сравнению со значениями, приведенными в таблице 7.2, при любых значениях показателя текучести.

Таблица 5

(Таблица 7.7 СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ.
Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

Коэффициенты	Расчетные значения угла внутреннего трения грунта φ_1 , град.								
	23	25	27	29	31	33	35	37	39
α_1	9,5	12,6	17,3	24,4	34,6	48,6	71,3	108,0	163,0
α_2	18,6	24,8	32,8	45,5	64,0	87,6	127,0	185,0	260,0
α_3 при h/d , равном:									
4,0	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84	0,85	0,85	0,85	0,87
5,0	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
7,5	0,68	0,70	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
10,0	0,62	0,65	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81
12,5	0,58	0,61	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80
15,0	0,55	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71	0,73	0,76	0,79
17,5	0,51	0,55	0,58	0,62	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78
20,0	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,68	0,72	0,75	0,78
22,5	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,67	0,71	0,74	0,77
25,0 и более	0,44	0,49	0,54	0,59	0,63	0,67	0,70	0,74	0,77
α_4 при d , равном, м:									
0,8 и менее	0,34	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
4,0	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
Примечание - Для промежуточных значений φ_1 , h/d и d значения коэффициентов α_1 , α_2 , α_3 и α_4 определяют интерполяцией.									

Таблица 6

(Таблица 7.7 СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ.
Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

Глубина заложения нижнего конца сваи h , м	Расчетное сопротивление R , кПа, под нижним концом набивных и буровых свай с уширением и без уширения и свай-оболочек, погружаемых с выемкой грунта и заполняемых бетоном, при глинистых грунтах, за исключением просадочных, с показателем текучести I_L , равным						
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	850	750	650	500	400	300	250
5	1000	850	750	650	500	400	350
7	1150	1000	850	750	600	500	450
10	1350	1200	1050	950	800	700	600
12	1550	1400	1250	1100	950	800	700
15	1800	1650	1500	1300	1100	1000	800
18	2100	1900	1700	1500	1300	1150	950
20	2300	2100	1900	1650	1450	1250	1050
30	3300	3000	2600	2300	2000	-	-
40	4500	4000	3500	3000	2500	-	-

Примечание:

Для свайных фундаментов опор мостов значения, приведенные в таблице, следует:

а) повышать (при расположении опор в водоеме) на величину, равную $1,5 \gamma_w h_w$,

где γ_w - удельный вес воды - 10 кН/м^3 ;

h_w - глубина слоя воды в водоеме от ее уровня при расчетном паводке до уровня дна водоема, а при возможности размыва - до уровня дна после общего размыва;

б) понижать при коэффициенте пористости грунта $e > 0,6$, при этом коэффициент понижения m следует определять интерполяцией между значениями $m = 1,0$ при $e = 0,6$ и $m = 0,6$ при $e = 1,1$.

(Таблица В.1. СП 24.13330.2011 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ.
Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85)

Грунты, окружающие сваи, и их характеристики	Коэффициент пропорциональности K , кН/м ⁴ (тс/м ⁴)
Пески крупные ($0,55 \leq e \leq 0,7$); глины и суглинки твердые ($I_L < 0$)	18000-30000 (1800-3000)
Пески мелкие ($0,6 \leq e \leq 0,75$); пески средней крупности ($0,55 \leq e \leq 0,7$), супеси твердые ($I_L < 0$); глины и суглинки тугопластичные и полутвердые ($0 \leq I_L \leq 0,5$)	12000-18000 (1200-1800)
Пески пылеватые ($0,6 \leq e \leq 0,8$); супеси пластичные ($0 \leq I_L \leq 0,75$); глины и суглинки мягкопластичные ($0,5 \leq I_L \leq 0,75$)	7000-12000 (700-1200)
Глины и суглинки текучепластичные ($0,75 \leq I_L \leq 1$)	4000-7000 (400-700)
Пески гравелистые ($0,55 \leq e \leq 0,7$); крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем	50000-100000 (5000-10000)
<p><i>Примечания:</i></p> <p>1. Меньшие значения коэффициента K в таблице соответствуют более высоким значениям показателя текучести I_L глинистых и коэффициентов пористости e песчаных грунтов, указанным в скобках, а большие значения коэффициента K - соответственно более низким значениям I_L и e. Для грунтов с промежуточными значениями характеристик I_L и e значения коэффициента K определяются интерполяцией.</p>	

Таблица 8

(Таблица Д.2 СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов»)

\bar{l}	Опираие сваи на дисперсный грунт			Опираие сваи на скальный грунт			Заделка сваи в скальный грунт		
	A_0	B_0	C_0	A_0	B_0	C_0	A_0	B_0	C_0
0,5	72,004	192,026	576,243	48,006	96,037	192,291	0,042	0,125	0,5
0,6	50,007	111,149	278,069	33,344	55,609	92,942	0,072	0,18	0,6
0,7	36,745	70,023	150,278	24,507	35,059	50,387	0,114	0,244	0,699
0,8	28,14	46,943	88,279	18,775	23,533	29,763	0,17	0,319	0,798
0,9	22,244	33,008	55,307	14,851	16,582	18,814	0,241	0,402	0,896
1	18,03	24,106	36,486	12,049	12,149	12,582	0,329	0,494	0,992
1,1	14,916	18,16	25,123	9,983	9,196	8,836	0,434	0,593	1,086
1,2	12,552	14,041	17,944	8,418	7,159	6,485	0,556	0,698	1,176
1,3	10,717	11,103	13,235	7,208	5,713	4,957	0,695	0,807	1,262
1,4	9,266	8,954	10,05	6,257	4,664	3,937	0,849	0,918	1,342
1,5	8,101	7,349	7,838	5,498	3,889	3,24	1,014	1,028	1,415
1,6	7,154	6,129	6,268	4,887	3,308	2,758	1,186	1,134	1,48
1,7	6,375	5,189	5,133	4,391	2,868	2,419	1,361	1,232	1,535
1,8	5,73	4,456	4,299	3,985	2,533	2,181	1,532	1,321	1,581
1,9	5,19	3,878	3,679	3,653	2,277	2,012	1,693	1,397	1,617
2	4,737	3,418	3,213	3,381	2,081	1,894	1,841	1,46	1,644
2,2	4,032	2,756	2,591	2,977	1,819	1,758	2,08	1,545	1,675
2,4	3,526	2,327	2,227	2,713	1,673	1,701	2,24	1,586	1,685
2,6	3,163	2,048	2,013	2,548	1,6	1,687	2,33	1,596	1,687
2,8	2,905	1,869	1,889	2,453	1,572	1,693	2,371	1,593	1,687
3	2,727	1,758	1,818	2,406	1,568	1,707	2,385	1,586	1,691
3,5	2,502	1,641	1,757	2,394	1,597	1,739	2,389	1,584	1,711
≥ 4	2,441	1,621	1,751	2,419	1,618	1,75	2,401	1,6	1,732

Примечание: при значении глубины \bar{l} , соответствующей промежуточному значению, указанному в таблице Д.2, его следует округлить до ближайшего табличного значения.

Таблица 9

(Таблица Д.3 СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов»)

Приведенная глубина распо- ложения сече- ния сваи в грун- те \bar{z}	Коэффициенты											
	A_1	B_1	C_1	D_1	A_3	B_3	C_3	D_3	A_4	B_4	C_4	D_4
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
0,1	1	0,1	0,005	0	0	0	1	0,1	-0,005	0	0	1
0,2	1	0,2	0,02	0,001	-0,001	0	1	0,2	-0,02	-0,003	0	1
0,3	1	0,3	0,045	0,005	-0,005	-0,001	1	0,3	-0,045	-0,009	-0,001	1
0,4	1	0,4	0,08	0,011	-0,011	-0,002	1	0,4	-0,08	-0,021	-0,003	1
0,5	1	0,5	0,125	0,021	-0,021	-0,005	0,999	0,5	-0,125	-0,042	-0,008	0,999
0,6	0,999	0,6	0,18	0,036	-0,036	-0,011	0,998	0,6	-0,18	-0,072	-0,016	0,997
0,7	0,999	0,7	0,245	0,057	-0,057	-0,02	0,996	0,699	-0,245	-0,114	-0,03	0,994
0,8	0,997	0,799	0,32	0,085	-0,085	-0,034	0,992	0,799	-0,32	-0,171	-0,051	0,989
0,9	0,995	0,899	0,405	0,121	-0,121	-0,055	0,985	0,897	-0,404	-0,243	-0,082	0,98
1	0,992	0,997	0,499	0,167	-0,167	-0,083	0,975	0,994	-0,499	-0,333	-0,125	0,967
1,1	0,987	1,095	0,604	0,222	-0,222	-0,122	0,96	1,09	-0,603	-0,443	-0,183	0,946
1,2	0,979	1,192	0,718	0,288	-0,287	-0,173	0,938	1,183	-0,716	-0,575	-0,259	0,917
1,3	0,969	1,287	0,841	0,365	-0,365	-0,238	0,907	1,273	-0,838	-0,73	-0,356	0,876
1,4	0,955	1,379	0,974	0,456	-0,455	-0,319	0,866	1,358	-0,967	-0,91	-0,479	0,821
1,5	0,937	1,468	1,115	0,56	-0,559	-0,42	0,811	1,437	-1,105	-1,116	-0,63	0,747
1,6	0,913	1,553	1,264	0,678	-0,676	-0,543	0,739	1,507	-1,248	-1,35	-0,815	0,652
1,7	0,882	1,633	1,421	0,812	-0,808	-0,691	0,646	1,566	-1,396	-1,613	-1,036	0,529
1,8	0,843	1,706	1,584	0,961	-0,956	-0,867	0,53	1,612	-1,547	-1,906	-1,299	0,374
1,9	0,795	1,77	1,752	1,126	-1,118	-1,074	0,385	1,64	-1,699	-2,227	-1,608	0,181
2	0,735	1,823	1,924	1,308	-1,295	-1,314	0,207	1,646	-1,848	-2,578	-1,966	-0,057
2,2	0,575	1,887	2,272	1,72	-1,693	-1,906	-0,271	1,575	-2,125	-3,36	-2,849	-0,692
2,4	0,347	1,874	2,609	2,195	-2,141	-2,663	-0,949	1,352	-2,339	-4,228	-3,973	-1,592
2,6	0,033	1,755	2,907	2,724	-2,621	-3,6	-1,877	0,917	-2,437	-5,14	-5,355	-2,821
2,8	-0,385	1,49	3,128	3,288	-3,103	-4,718	-3,108	0,197	-2,346	-6,023	-6,99	-4,445
3	-0,928	1,037	3,225	3,858	-3,541	-6	-4,688	-0,891	-1,969	-6,765	-8,84	-6,52
3,5	-2,928	-1,272	2,463	4,980	-3,919	-9,544	-10,34	-5,854	1,074	-6,789	-13,692	-13,826
4	-5,853	-5,941	-0,927	4,548	-1,614	-11,731	-17,919	-15,076	9,244	-0,358	-15,611	-23,14

Таблица 10

(Таблица 6.11. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции.
Общие положения. Актуализированная редакция СП 52-01-2003.)

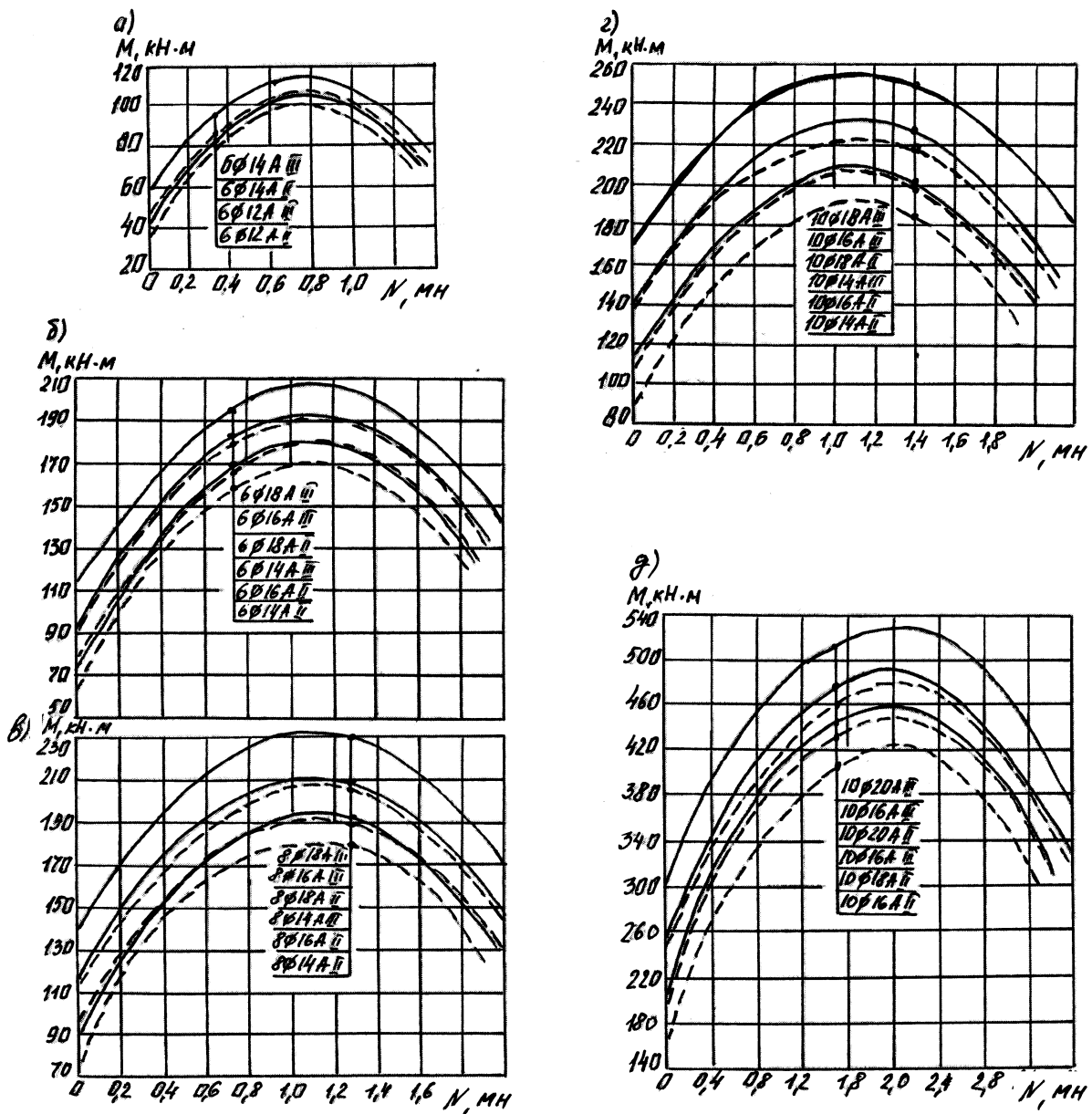
Значения начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10^3$, МПа (кгс/см ²), при классе бетона по прочности на сжатие										
B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19,0 (194)	24,0 (245)	27,5 (280)	30,0 (306)	32,5 (331)	34,5 (352)	36,0 (367)	37,0 (377)	38,0 (387)	39,0 (398)	39,5 (403)

Приложение 2

Графики к определению прочности материала буронабивных свай, изготовляемых сухим способом из бетона марки 200 (В15) [7]:

- а) диаметром 500 мм с 6 стержнями;
- б) диаметром 600 мм с 6 стержнями;
- в) диаметром 600 мм с 8 стержнями;
- г) диаметром 600 мм с 10 стержнями;
- д) диаметром 800 мм с 10 стержнями.

Порядок пользования графиками следующий: находится точка пересечения расчетных значений изгибающего момента M и вдавливающей силы, действующей на сваю N , откладываемых по оси ординат и оси абсцисс; кривая сверху, ближайшая к точке пересечения, соответствует требуемому армированию сваи.



Графики к определению прочности материала буронабивных свай, изготавливаемых сухим способом из бетона марки 200 (B15) [7]:

- е) диаметром 1000 мм с 10 стержнями;
- ж) диаметром 1000 мм с 12 стержнями;
- з) диаметром 1000 мм с 14 стержнями;
- и) диаметром 1200 мм с 12 стержнями;
- к) диаметром 1200 мм с 16 стержнями.

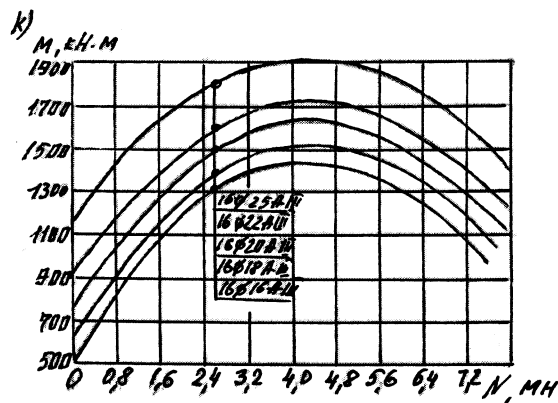
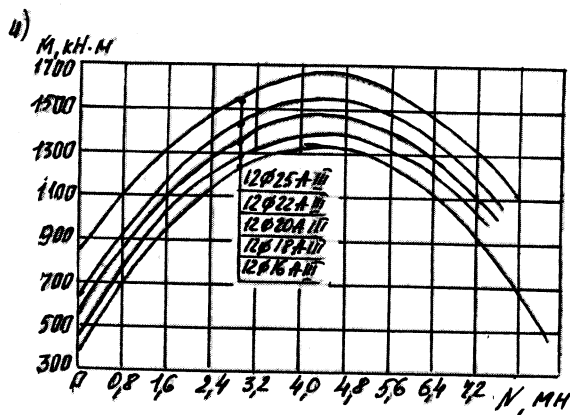
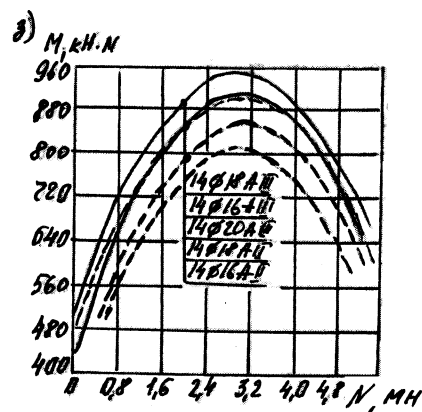
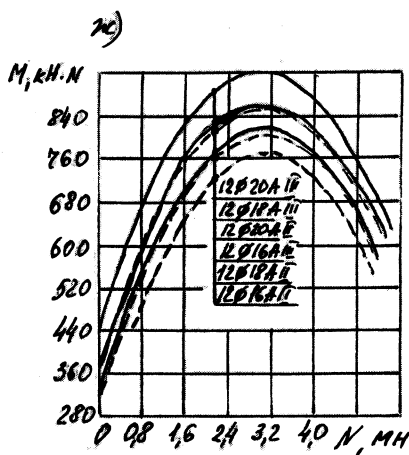
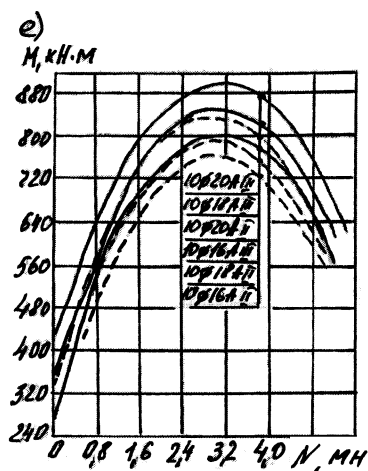
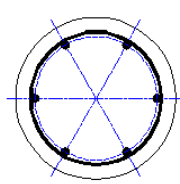
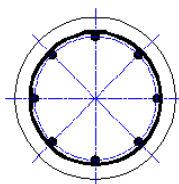


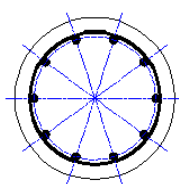
Схема размещения арматурных стержней в сечении сваи



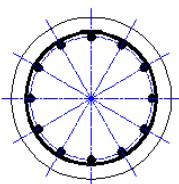
6 стержней



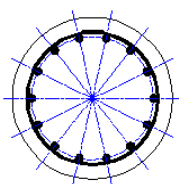
8 стержней



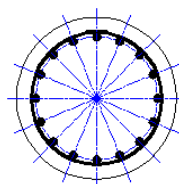
10 стержней



12 стержней

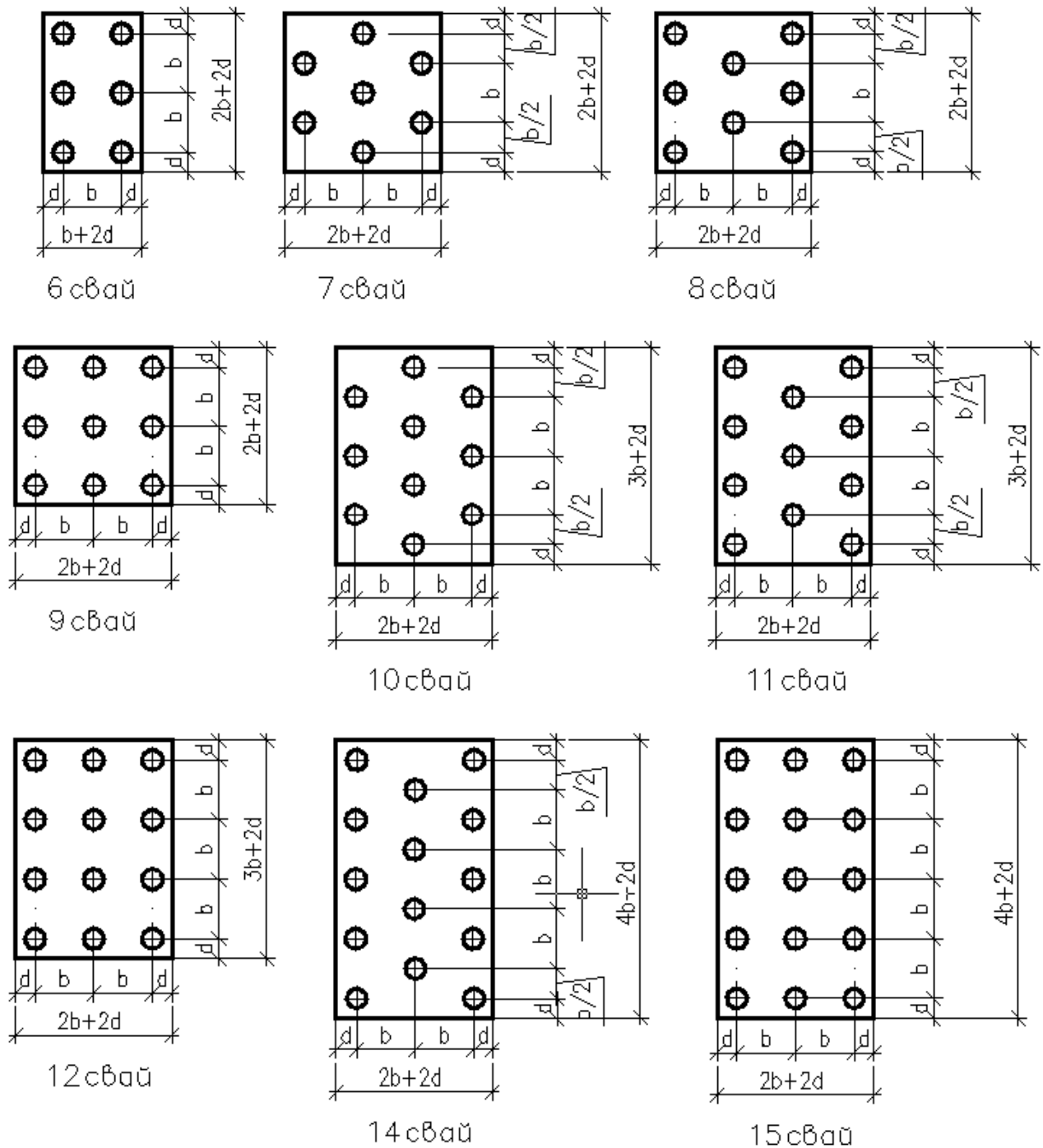


14 стержней



16 стержней

Рекомендуемое размещение свай в ростверке



Примечание.

- 1) Рекомендуется шаг между сваями назначать в пределах $b = (3-6)d$ (d – диаметр поперечного сечения свай). При этом в соответствии с [2, 3] расстояние в свету между сваями должно быть не менее 1 м. При выполнении задачи можно принимать $b = 3d$.
- 2) Размеры ростверка рекомендуется назначать кратными 0,3 м. При этом расстояние от оси крайней свай до края ростверка принимается не менее d (d – диаметр поперечного сечения свай).

Нуриева Дания Мансуровна

**РАСЧЕТ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям
для студентов специальности 08.05.01 «Строительство
уникальных зданий и сооружений»,
направление подготовки 08.03.01 «Строительство»