

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»**

Архитектурно-строительный факультет

Кафедра оснований и фундаментов

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ
СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

**Методические рекомендации
к выполнению курсового проекта
по направлению подготовки
08.03.01 Строительство**

**Краснодар
КубГАУ
2019**

Составители: А. А. Петухов, А. С. Межаков, В. А. Демченко

Примеры расчета и конструирования свайных фундаментов : метод. рекомендации / сост. А. А. Петухов, А. С. Межаков, В. А. Демченко. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 40 с.

В методических рекомендациях рассматриваются вопросы проектирования столбчатых свайных фундаментов под монолитную железобетонную колонну. Приводятся основные положения по порядку проектирования свайных фундаментов и представлены примеры расчета.

Методические рекомендации предназначены для обучающихся кафедры оснований и фундаментов направления подготовки 08.03.01 Строительство, направленность «Промышленное и гражданское строительство», а также для подготовки выпускных квалификационных работ.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского ГАУ, протокол № 8 от 22.04.2019.

Председатель
методической комиссии

М. И. Шипельский

© Петухов А. А.,
Межаков А.С.,
Демченко В. А., составление, 2019
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2019

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации разработаны для помощи в выполнении курсового проекта «Проектирование оснований и фундаментов здания» для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Промышленное и гражданское строительство». Они предназначены для выполнения отдельного раздела курсового проекта. Общие требования по выполнению курсового проекта представлены в методических рекомендациях кафедры [11]. Целью предлагаемых методических рекомендаций является помощь в проектировании свайных фундаментов из забивных сборных железобетонных призматических свай под монолитную железобетонную колонну.

Свайные фундаменты традиционно применяются в тех случаях, когда верхняя толща инженерно-геологического разреза сложена слабыми грунтами и возникает необходимость передачи нагрузок на нижние более плотные слои грунтов. Однако в настоящее время свайные фундаменты вытесняют фундаменты мелкого заложения даже на площадках с благоприятными грунтовыми условиями для последних. Это связано с тем, что свайные фундаменты более надежные (они, в какой-то степени, «прощают» некоторые просчеты и неучтенные факторы проектирования, строительства и эксплуатации), менее трудоемкие (бóльшая механизация работ, меньший объем земляных работ, всесезонность работ) и часто менее материалоемкие. Пожалуй, фундаменты мелкого заложения сейчас используются на площадках, где погружение свай невозможно по какой-либо причине (отсутствие соответствующего оборудования и квалификации рабочих, стесненность застройки, наличие плотных грунтов, в том числе с крупными включениями и др.), или для малоэтажного строительства.

1. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Свайный фундамент под монолитную железобетонную колонну проектируется в следующей последовательности:

1. Сбор необходимых исходных данных для проектирования.
2. Назначение глубины заложения подошвы ростверка.
3. Назначение длины и конструкции свай.
4. Определение несущей способности свай.
5. Определение количества свай в кусте и назначение предварительных размеров ростверка.
6. Расчет конечной осадки свайного фундамента.
7. Расчет и конструирование ростверка.
8. Выбор сваебойного молота и расчет проектного отката свай (в рамках курсового проекта не рассматривается).

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. Краткие теоретические сведения

Согласно п. 4.1 СП 24.13330.1011 [1] в самом общем случае свайные фундаменты должны проектироваться на основе и с учетом:

- а) результатов инженерных изысканий для строительства;
- б) сведений о сейсмичности района строительства;
- в) данных, характеризующих назначение, конструктивные и технологические особенности сооружения и условия их эксплуатации;
- г) действующих на фундаменты нагрузок;
- д) условий существующей застройки и влияния на нее нового строительства;
- е) экологических требований;

ж) требования к технико-экономическому сравнению возможных вариантов проектных решений фундаментов;

и) инженерной цифровой модели местности (ИЦММ) с отображением подземных и надземных сооружений и коммуникаций (геоподоснова);

к) технических условий, выданных всеми уполномоченными заинтересованными организациями.

2.2. Пример исходных данных

Условия задачи для примера 1. Требуется составить исходные данные для проектирования свайного фундамента из сборных железобетонных призматических свай под монолитную железобетонную колонну гражданского здания.

Исходные данные:

Для данного примера исходные данные не приводятся, поскольку сама задача является примером их составления для последующих задач.

Решение примера:

а) Результаты инженерных изысканий для строительства.

Место строительства – г. Краснодар.

На рис. 2.1 приведена инженерно-геологическая колонка по скважине. Физико-механические характеристики грунтов сведены в табл. 2.1.

б) Сведения о сейсмичности района строительства.

Расчетная сейсмичность района для степени сейсмической опасности «А» составляет 6 баллов.

в) Данные, характеризующие назначение, конструктивные и технологические особенности сооружения и условия их эксплуатации.

Уровень ответственности здания – II, нормальный.

Тип здания – многоэтажное гражданское здание с рамно-связевым каркасом из сборно-монолитных железобетонных элементов, без подвала.

Размеры поперечного сечения колонны крайнего ряда – 400х400 мм.

г) Действующие на фундаменты нагрузки.

$$N_I = 2243 \text{ кН}; M_I = 64 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_I = 15 \text{ кН}.$$

$$N_{II} = 1950 \text{ кН}; M_{II} = 55 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_{II} = 13 \text{ кН}.$$

д) Условия существующей застройки и влияния на нее нового строительства.

Существующая застройка в зоне влияния нового строительства отсутствует.

е) Экологические требования отсутствуют.

ж) Требования к технико-экономическому сравнению возможных вариантов проектных решений фундаментов отсутствуют.

и) Инженерная цифровая модель местности (ИЦММ) с отображением подземных и надземных сооружений и коммуникаций отсутствует.

к) Технические условия, выданные всеми уполномоченными заинтересованными организациями, отсутствуют.

3. НАЗНАЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ПОДОШВЫ РОСТВЕРКА

3.1. Краткие теоретические сведения

Ключевым фактором, влияющим на глубину заложения подошвы ростверка, является минимальная конструктивная высота ростверка h_{min} . Для столбчатого ростверка под монолитную железобетонную колонну рекомендуется принимать $h_{min} = 600$ мм. В дальнейшем она может быть откорректирована по результатам расчетов прочности ростверка.

Тогда глубина заложения подошвы столбчатого ростверка с учетом минимальной конструктивной высоты для здания без подвала равна

Скважина С-82

Диаметр скважины: 146 мм
 Абс. отметка устья: 137,20 м

Способ бурения: колонковый
 Дата бурения: 04.04.19

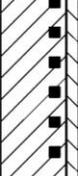
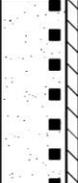
Номер инженерно-геологического элемента	Геологический элемент	Глубина залегания слоя, м		Мощность слоя, м	Описание грунта	Разрез скважины, М 1:100	Грунта по разработке	Глубина подземных вод
		от	до					Дата замера
713	f	0,0	2,0	2,0	Насыпной грунт		29 а	
404	al	2,0	5,5	3,5	Супесь пластичная		36 а	
304	al	5,5	11,2	5,7	Суглинок мягкопластичный		35 а	
544	al	11,2	18,0	6,8	Песок мелкий средней степени водонасыщения средней плотности		29 а	

Рисунок 2.1 – Инженерно-геологическая колонка по скважине С-82

$$d_{\min} = 150 + h_{\min}, \quad (3.1)$$

где 150 мм – расстояние от пола первого этажа до обреза ростверка.

Для здания с подвалом (цокольным этажом или техподпольем) d_{\min} равно

$$d_{\min} = d_b + 150 + h_{\min}, \quad (3.2)$$

где 150 мм – расстояние от пола подвала до обреза ростверка; d_b – глубина подвала, равная расстоянию от уровня планировки до пола подвала. d_{\min} должно быть кратно 50 мм.

Таблица 2.1 – Физико-механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	713	304	404	544	
Наименование грунта	насыпной грунт	суглинок мягкопластичный легкий	Супесь пластичная	Песок мелкий средней степени водонасыщения средней плотности	
Физические характеристики					
Естественная влажность, W , %	23,8	26,2	18,3	14,7	
Плотность грунта, ρ г/см ³	1,93	1,93	1,91	1,77	
Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	1,56	1,53	1,61	1,54	
Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	2,69	2,7	2,69	2,65	
Коэффициент пористости, e	0,73	0,77	0,67	0,72	
Степень влажности, S_r	0,88	0,92	0,74	0,54	
лажность на границе текучести W_L	28	30	21	-	
Влажность на границе текучести W_p	22	20	16	-	
Число пластичности I_p	6	10	5	-	
Показатель текучести I_L	0,3	0,62	0,46	-	
Механические характеристики					
Угол внутреннего трения, градус	φ_H	-	16,8	21,8	33
	φ_I	-	15,9	20,9	30
	φ_{II}	-	16,3	21,3	33
Удельное сцепление	C_H	-	18,7	11,3	0
	C_I	-	16,6	10,6	0
	C_{II}	-	15,4	10,1	0
Модуль деформации E , МПа	-	9,6	13	22,6	

При наличии существующей застройки в пределах зоны влияния строительства глубину d_{\min} необходимо скорректировать с учетом глубины заложения подошвы существующих фундаментов.

Глубину d_{\min} необходимо сравнить с расчетной глубиной промерзания грунта d_f . При этом предварительно необходимо убедиться, что глубина заложения фундамента действительно зависит от d_f согласно табл. 5.3 [2].

Если $d_{\min} \geq d_f$, то действие нормальных сил морозного пучения грунта на подошву ростверка исключено.

Если $d_{\min} < d_f$, то на подошву ростверка будут действовать нормальные силы морозного пучения. В этом случае для исключения действия этих сил надо предусмотреть воздушный зазор под ростверком толщиной 200 мм.

Расчетная глубина промерзания грунта d_f вычисляется согласно СП 22.13330.2011 [2] по формуле:

$$d_f = d_{f,n} \cdot k_h, \quad (3.3)$$

где $d_{f,n}$ – нормативная глубина промерзания грунта; k_h – коэффициент влияния теплового режима здания по табл. 5.2 СП 22.13330.2011 [2].

Нормативную глубину сезонного промерзания грунта $d_{f,n}$ для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, допускается определять по формуле:

$$d_{f,n} = d_0 \cdot \sqrt{M_t}, \quad (3.4)$$

где M_t – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за год в данном районе, принимаемых по табл. 5.1 СП 131.13330.2012 [4]; d_0 – величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м; для супесей, песков мелких и пылеватых 0,28 м; для песков гравелистых, крупных и средней крупности 0,30 м; для крупнообломочных грунтов 0,34 м; для грунтов неоднородного сложения – как средневзвешенное в пределах глубины промерзания.

3.2. Пример назначения глубины заложения подошвы ростверка

Условия задачи для примера 2. Требуется по исходным данным, полученным при решении примера 1 в разделе 2.2, назначить глубину заложения подошвы ростверка.

Исходные данные:

1. Инженерно-геологическая колонка (см. рис. 2.1).
2. Таблица физико-механических характеристик грунтов (см. табл. 2.1).
3. Место строительства – г. Краснодар.
4. Тип здания – многоэтажное гражданское здание с рамно-связевым каркасом из сборно-монолитных железобетонных элементов, без подвала.
5. Полы – по грунту.
6. Среднесуточная температура воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам – $+10^{\circ}\text{C}$.
7. Размеры поперечного сечения колонны крайнего ряда – 400×400 мм.
8. Уровень чистого пола соответствует относительной отметке 0,000 м.
9. Уровень земли равен уровню чистого пола.
10. Существующая застройка в зоне влияния нового строительства отсутствует.

Решение примера:

1. Примем минимальную высоту ростверка

$$h_{min} = 600 \text{ мм.}$$

Значение h_{min} должно быть кратно 100 мм.

2. Поскольку здание без подвала, то, используя формулу (3.1), вычислим

$$d_{min} = 150 + h_{min} = 150 + 600 = 750 \text{ мм.}$$

Значение d_{min} должно быть кратно 50 мм.

3. Поскольку существующая застройка в зоне влияния нового строительства отсутствует, то корректировку d_{min} с учетом существующих фундаментов не будем выполнять.

4. Используя табл. 5.1 СП 131.13330.2012 [4], вычислим безразмерный коэффициент M_t :

$$M_t = \frac{|-0,2|}{1} = 0,2.$$

5. Для насыпного грунта (ИГЭ-713) из супеси примем $d_0 = 0,28$ м согласно пояснениям к формуле (3.4).

6. Используя формулу (3.4), вычислим

$$d_{f,n} = d_0 \cdot \sqrt{M_t} = 0,28 \cdot \sqrt{0,2} = 0,13 \text{ м.}$$

7. По табл. 5.2 СП 22.13330.2011 [2] для здания без подвала с полами по грунту и среднесуточной температурой воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам $+10$ °С, определим коэффициент влияния теплового режима здания $k_h = 0,7$.

8. Используя формулу (3.3), вычислим

$$d_f = d_{f,n} \cdot k_h = 0,13 \cdot 0,7 = 0,091 \text{ м.}$$

9. Сравним d_{min} и d_f .

Так как $d_{min} > d_f$, $0,75 \text{ м} > 0,091 \text{ м}$, то действие нормальных сил морозного пучения грунта на подошву ростверка исключено.

10. Окончательно принимаем глубину заложения подошвы ростверка $d = 0,75$ м. На рис. 3.1 приведена схема посадки ростверка на инженерно-геологическую колонку, на котором количество свай показано условно.

4. НАЗНАЧЕНИЕ ДЛИНЫ И КОНСТРУКЦИИ СВАИ

4.1. Краткие теоретические сведения

Свая – это стержнеобразный элемент, погруженный в грунт или изготовленный в грунте и предназначенный для передачи нагрузок от надфундаментных конструкций на грунты основания. У свай различают нижний конец, ствол и оголовок.

Основание – это часть массива грунтов вокруг сваи, которая воспринимает нагрузку от сваи. Основание состоит из

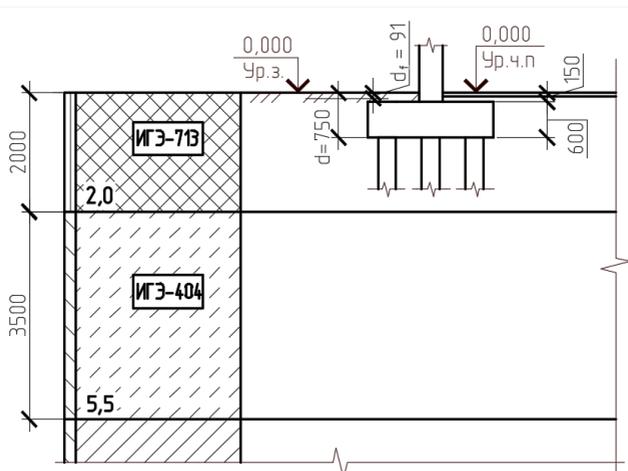


Рисунок 3.1 – Схема посадки ростверка на инженерно-геологическую колонку

несущего слоя, в который заглубляется нижний конец сваи, и прорезаемые слои вокруг боковой поверхности ствола.

Согласно СП 24.13330.2011 [1] по условиям взаимодействия с основанием сваи следует подразделять на свай-стойки и висячие (сваи трения).

К сваям-стойкам следует относить сваи всех видов, опирающиеся на скальные грунты, а забивные сваи, кроме того, на слабodeформируемые грунты (с модулем деформации $E > 50$ МПа), и передающие нагрузку на основание преимущественно через нижний конец сваи.

К висячим сваям (сваям трения) следует относить все остальные сваи, не вошедшие в группу свай-стоек и передающие нагрузку на основание боковой поверхностью и нижним концом.

Длина свай назначается в зависимости от конструкции сваи, глубины заложения подошвы ростверка, конструкции узла сопряжения сваи с ростверком, глубины залегания несущего слоя основания и величины заглубления сваи в этот слой.

Конструкция свай. Существует большое многообразие свай, имеющих различную конструкцию и изготавливаемых по различной технологии. Конструкция и технология изготовления свай накладывают ограничения на ее длину. Так, для свай заводского изготовления обязательно необходимо учитывать существующий сортамент типоразмеров, а для свай, изготавливаемых в грунте, – технические характеристики имеющегося оборудования.

Наиболее распространенными сваями являются сборные железобетонные призматические сваи сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой цельные и составные, изготавливаемые по [6-8]. При расчетной допускаемой нагрузке на сваю менее 300 кН целесообразно применять сваи сечением 200х200 мм и 250х250 мм, в пределах 300-800 кН – сваи сечением 300х300 мм, более 800 кН – сваи сечением 350х350 мм и 400х400 мм.

Конструкции узла сопряжения свай с ростверком.

Согласно СП 24.13330.2011 [1] сопряжение свайного ростверка со сваями допускается предусматривать как свободно опирающимся, так и жестким.

Свободное опирание ростверка на сваи должно учитываться в расчетах условно как шарнирное сопряжение и при монолитных ростверках должно выполняться путем заделки головы сваи в ростверк на глубину 5-10 см.

Жесткое сопряжение свайного ростверка со сваями следует предусматривать в случае, когда:

а) стволы свай располагаются в слабых грунтах (рыхлых песках, глинистых грунтах текучей консистенции, илах, торфах и т.п.);

б) в месте сопряжения сжимающая нагрузка, передаваемая на сваю, приложена к ней с эксцентриситетом, выходящим за пределы ее ядра сечения;

в) на сваю действуют горизонтальные нагрузки, значения перемещений от которых при свободном опирании оказываются более предельных для проектируемого здания или сооружения;

г) в фундаменте имеются наклонные или вертикальные составные сваи;

д) сваи работают на выдергивающие нагрузки.

Жесткое сопряжение железобетонных свай с монолитным железобетонным ростверком следует предусматривать с заделкой в ростверк выпусков арматуры на длину их анкеровки, принятой согласно приложению 1.

На практике же преимущественно всегда используют жесткое сопряжение свай с ростверком как наиболее надежное.

Величины заглубления свай в несущий слой.

Нижний конец свай, как правило, следует заглублять в прочные грунты, прорезая более слабые напластования грунтов. Для свай-стоек величина заглубления нижнего конца в несущий слой должна быть не менее 0,5 м, а для висячих свай – не менее 1,0 м. При этом опирание нижних концов свай на рыхлые пески и глинистые грунты текучей консистенции не допускается.

При назначении длины свай следует помнить, что погружение свай затруднено в песчаные плотные грунты, поэтому, если они встречаются в инженерно-геологическом разрезе, то их рекомендуется использовать в качестве несущего слоя.

Следует понимать, что назначение длины свай многовариантно. В реальной практике проектирования рациональный вариант свайного фундамента принимается на основании технико-экономического сравнения.

4.2. Пример назначения длины и конструкции свай

Условия задачи для примера 3. Требуется по исходным данным, полученным при решении примеров 1, 2, назначить длину и конструкцию свай.

Исходные данные:

1. Глубина заложения подошвы ростверка $d = 0,75$ м.

2. Сопряжение сваи с ростверком – жесткое.
3. Бетон ростверка – В15.
4. Сваи армировать продольной арматурой диаметром 14 мм класса А400.

Решение примера:

1. Будем проектировать свайный фундамент таким образом, чтобы во всех сваях в кусте возникали только сжимающие продольные усилия. Согласно приложению 2 величина анкеровки арматуры сваи равна $18d_s = 18 \cdot 14 = 252$ мм. Окончательно примем, что голова сваи заводится в ростверке на 300 мм, а на участке длиной 250 мм оголяется продольная арматура сваи.

2. Выберем в качестве несущего слоя основания песок мелкий средней степени водонасыщения средней плотности (ИГЭ-544). При этом свая прорезает ИГЭ-713 толщиной $2,0 - 0,75 = 1,25$ м, ИГЭ-404 толщиной 3,5 м, ИГЭ-304 толщиной 6,2 м и должна заглубляться в ИГЭ-544 минимум на 1,0 м.

3. Тогда требуемая длина сваи равна

$$L_{\text{тр}}^{\text{CB}} = 0,3 + 1,25 + 3,5 + 5,7 + 1,0 = 11,75 \text{ м,}$$

где 0,3 м – величина заделки сваи в ростверк.

4. Согласно заданию на проектирование примем сборную железобетонную призматическую сваю сплошного сечения с ненапрягаемой арматурой цельную, изготавливаемые по [6, 7]. Согласно сортаменту, приведенному в приложении 2, примем сваю бóльшей длины марки С.120.30-8 массой 2,5 т, где $L_{\text{пр}}^{\text{CB}} = 120$ дм – проектная длина сваи в дециметрах; 30 см – размер поперечного сечения; 8 – тип продольного армирования, соответствующий четырем арматурным стержням диаметром 14 мм класса А400 [7]. Поскольку свая по характеру работы в грунте является висячей, то она проектируется как свая обычной ударостойкости из бетона В20 (для свай-стоек используется бетон В25 или В30; в этом случае к марке сваи в конце добавляется индекс «у» – ударостойкая).

5. Откорректируем заглубление сваи в несущий слой с учетом новой проектной длины:

$$L_{\text{пр}}^{\text{св}} - L_{\text{тр}}^{\text{св}} + 1,0 = 12 - 11,75 + 1 = 1,25 \text{ м} > 1,0 \text{ м.}$$

б. Схема посадки сваи на инженерно-геологическую колонку приведена на рис. 4.2, на котором количество свай указано условно.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ

5.1. Краткие теоретические сведения

Несущая способность сваи – это сила предельного сопротивления основания одиночной сваи по условию ограничения развития в нем чрезмерных деформаций сдвига. Различают несущую способность сваи на действие вдавливающей, выдергивающей или горизонтальной нагрузок. Также несущая способность сваи бывает по грунту и ее материалу. Для свай-стоек их необходимо обязательно обе вычислять, сравнивать и для дальнейших расчетов принимать наименьшее значение. Для висячих свай несущая способность по материалу всегда заведомо больше несущей способности сваи по грунту.

Существуют две группы методов определения несущей способности сваи: расчетные и по результатам полевых испытаний. В данных методических рекомендациях рассмотрены только расчетные методы для свай-стоек и висячих свай на действие вдавливающей нагрузки в соответствии с СП 24.13330.2011 [1].

Согласно СП 24.13330.2011 [1] несущая способность висячей забивной сваи по грунту на действие вдавливающей нагрузки определяется как сумма расчетных сопротивлений основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формуле:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + u \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i), \quad (5.1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1; γ_{cr} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы соответственно под нижним концом и на боковой поверхности

свай, принимаемые для забивных свай равными 1; A – площадь опирания нижнего конца сваи на грунт, принимаемая равной площади поперечного сечения сваи; u – наружный периметр поперечного сечения сваи; R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое по приложению 3; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, принимаемое по приложению 4; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, которая должна быть не более 2,0 м.

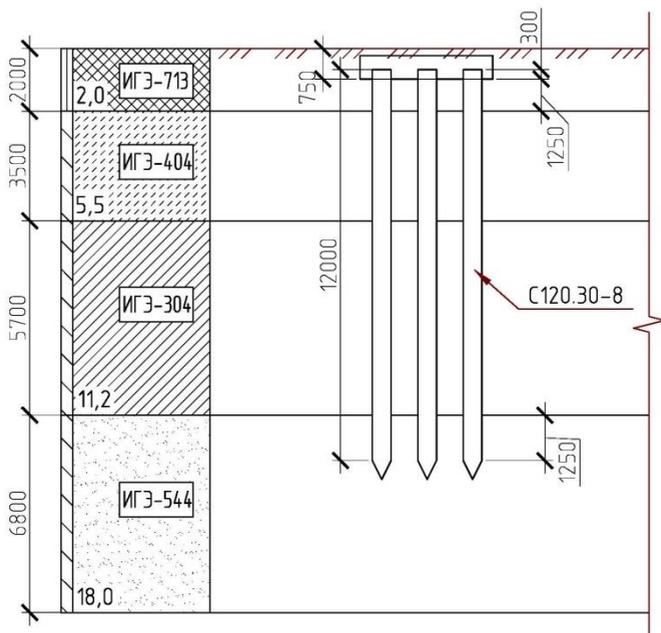


Рисунок 4.2 – Схема посадки сваи на инженерно-геологическую колонку

Согласно [1] несущая способность забивной свайстойки по грунту на действие вдавливающей нагрузки определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c R \cdot A. \quad (5.2)$$

Расчетное сопротивление основания под нижним концом сваи для всех видов забивных свай принимается равным $R = 20000$ кПа.

Согласно [5] несущая способность забивной свайстойки по материалу на действие вдавливающей нагрузки определяется по формуле:

$$F_{d,m} = \varphi \cdot R_b \cdot A, \quad (5.3)$$

где $\varphi = 0,6$ – коэффициент продольного изгиба; R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию.

5.2. Пример определения несущей способности свай

Условия задачи для примера 4. Требуется по исходным данным, полученным при решении примеров 1-3, определить несущую способность сваи расчетным методом.

Исходные данные:

1. Инженерно-геологическая колонка (см. рис. 2.1).
2. Таблица физико-механических характеристик грунтов (см. табл. 2.1).
3. Глубина заложения подошвы ростверка $d = 0,75$ м.
4. Сваи – С.120.30-8 массой 2,5 т.

Решение примера:

1. Разобьем слои грунтов, прорезаемые свайей, таким образом, чтобы их толщина была не более 2,0 м. На рис. 5.1 приведена схема к расчету несущей способности сваи.

2. Вычислим расчетное сопротивление каждого i -го слоя грунта на боковой поверхности сваи, используя приложение 6 и метод линейной интерполяции:

Сопротивлением насыпного грунта (ИГЭ-713) пренебрежем.

Для ИГЭ-404 с $I_L = 0,46$:

$h_1 = 2,0$ м; $z_1 = 3,0$ м; $f_1 = 20,4$ кПа.

$h_2 = 1,5$ м; $z_2 = 4,75$ м; $f_2 = 25,5$ кПа.

Для ИГЭ-304 с $I_L = 0,62$:

$h_3 = 2,0$ м; $z_3 = 6,5$ м; $f_3 = 16,6$ кПа.

$$h_4 = 2,0 \text{ м}; z_4 = 8,5 \text{ м}; f_4 = 17,2 \text{ кПа.}$$

$$h_5 = 1,7 \text{ м}; z_5 = 10,35 \text{ м}; f_5 = 17,27 \text{ кПа.}$$

Для ИГЭ-544 – песок мелкий:

$$h_7 = 1,25 \text{ м}; z_7 = 11,825 \text{ м}; f_7 = 48,83 \text{ кПа.}$$

3. Вычислим расчетное сопротивление несущего слоя под нижним концом сваи, используя приложение 3 и метод линейной интерполяции:

Для ИГЭ-544 – песок мелкий:

$$z_R = 12,45 \text{ м}; R = 2747 \text{ кПа.}$$

4. Вычислим периметр поперечного сечения сваи:

$$u = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ м.}$$

5. Вычислим площадь поперечного сечения сваи:

$$A = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ м}^2.$$

6. Вычислим несущую способность сваи по грунту, используя формулу (5.1)

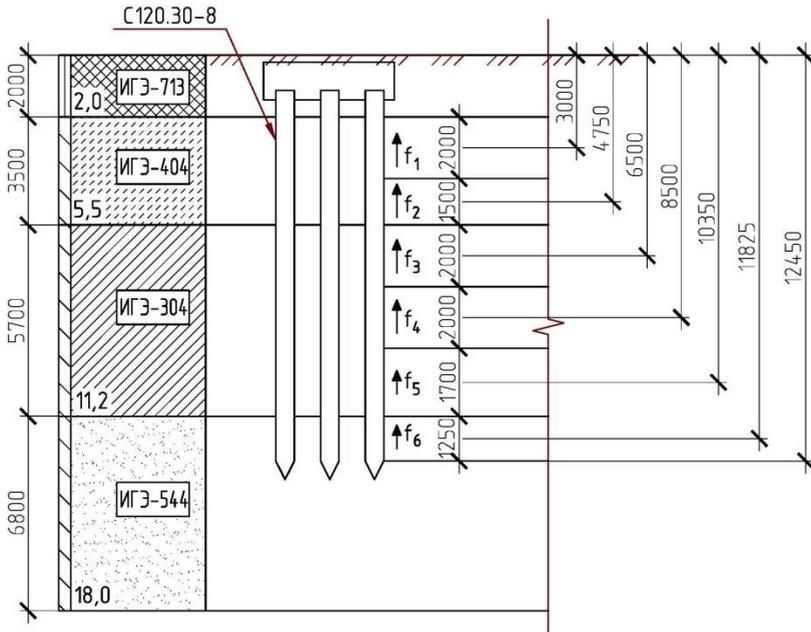


Рисунок 5.1 – Схема к расчету несущей способности сваи

$$\begin{aligned}
 F_d &= \gamma_c (\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + u \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i) = \\
 &= 1 \cdot [1 \cdot 2747 \cdot 0,09 + 1 \cdot 1,2 \cdot (20,4 \cdot 2 + 25,5 \cdot 1,5 + 16,6 \cdot 2 + 17,2 \cdot 2 + \\
 &+ 17,27 \cdot 1,7 + 48,83 \cdot 1,25)] = \\
 &= 1 \cdot [247,2 + 1 \cdot 1,2 \cdot (40,8 + 38,25 + 33,2 + 34,4 + 29,36 + 61,04)] = \\
 &= 247,2 + 284,5 = 532 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СВАЙ В КУСТЕ

6.1. Краткие теоретические сведения

Согласно СП 24.13330.2011 [1] количество свай в кусте и их расположение в плане должно быть таким, чтобы выполнялись следующие условия:

$$N_{\text{CB}}^{\text{max}} \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g} \cdot \gamma_n}, N_{\text{CB}}^{\text{min}} \geq 0, \quad (6.1)$$

где $N_{\text{CB}}^{\text{max}}$ – максимальное значение расчетной вдавливающей нагрузки, передаваемой на сваю; $N_{\text{CB}}^{\text{min}}$ – минимальное значение расчетной вдавливающей нагрузки, передаваемой на сваю; γ_n – коэффициент надежности по ответственности здания; F_d – несущая способность свай; $\gamma_{c,g}$ – коэффициент надежности по грунту.

При этом разница между $N_{\text{CB}}^{\text{max}}$ и $\frac{F_d}{\gamma_{c,g} \cdot \gamma_n}$ не должна превышать 20 %, что будет свидетельствовать о рациональности компоновки свайного куста.

Коэффициент γ_n может принимать следующие значения согласно ГОСТ 27751-2014 [10]: 1,1; 1,0; 0,8 соответственно для повышенного, нормального и пониженного уровней ответственности. Коэффициент γ_n следует использовать в формуле (6.1) только в том случае, если он не был учтен при определении нагрузок на фундамент.

Коэффициент $\gamma_{c,g}$ может принимать следующие значения согласно СП 24.13330.2011 [1]: 1,4 – для случаев опреде-

ления несущей способности сваи расчетным методом и по результатам динамических испытаний; 1,25 – для случая определения несущей способности сваи по результатам зондирования грунтов; 1,2 – для случая определения несущей способности сваи по результатам статических испытаний.

Если расчет свайных фундаментов производится с учетом ветровых нагрузок, то воспринимаемую крайними сваями расчетную нагрузку допускается повышать на 20%. Поэтому условие (6.1) принимает следующий вид:

$$N_{CB}^{max} \leq 1,2 \cdot \frac{F_d}{\gamma_{c,g} \gamma_n}, \quad (6.2)$$

Выполнение условия (6.2) гарантирует отсутствие выдергивающей нагрузки в сваях куста. В противном случае, необходимо будет проверять сваи по несущей способности на действие выдергивающей нагрузки.

Для фундаментов с вертикальными сваями N_{CB}^{max} и N_{CB}^{min} допускается определять по формуле:

$$N_{CB}^{max/min} = \frac{N_d}{n} \pm \frac{\sum M_x y}{\sum y_i^2} \pm \frac{\sum M_y x}{\sum x_i^2}, \quad (6.3)$$

где N_d , $\sum M_x$, $\sum M_y$ – соответственно расчетная сжимающая сила, суммарные расчетные изгибающие моменты относительно главных центральных осей x и y плана свай в плоскости подошвы ростверка; n – число свай в кусте фундамента; x , y – расстояния от главных осей до оси каждой сваи, для которой вычисляется расчетная нагрузка; x_i , y_i – расстояния от главных осей до оси каждой сваи в кусте (рис. 6.1).

Знаки «+» перед слагаемыми в формуле (6.4) обеспечивают получение значения N_{CB}^{max} , а знаки «-» – N_{CB}^{min} .

Расчетная сжимающая сила на куст свай N_d равна сумме вертикальной расчетной нагрузке N_I , расчетных весов ростверка с грунтом на его уступах $G_{p,I}$ и свай $G_{cb,I}$:

$$N_d = N_I + G_{p,I} + G_{cb,I}. \quad (6.4)$$

Суммарные расчетные изгибающие моменты $\sum M_x$ и

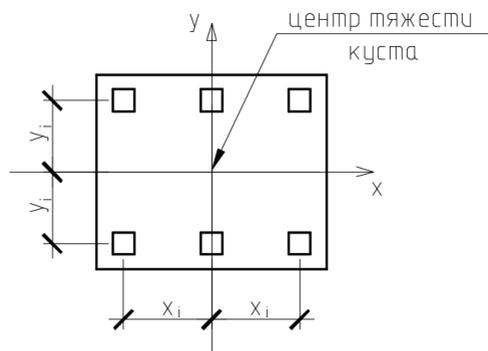


Рисунок 6.1 – Схема для пояснения параметров формулы (6.4)

$\sum M_y$ вычисляются по формулам:

$$\sum M_x = M_{x,I} + Q_{I,y} \cdot h, \quad (6.5)$$

$$\sum M_y = M_{y,I} + Q_{I,x} \cdot h, \quad (6.6)$$

Требуемое количество свай в кусте в первом приближении можно вычислить по формуле:

$$n = \frac{N_I \gamma_c \cdot \gamma_n}{F_d}. \quad (6.7)$$

Забивные сваи в плане необходимо располагать так, чтобы расстояние между их осями было в пределах $3d \dots 6d$ для висячих свай и $1,5d \dots 3d$ для свай-стоек (где d – размер поперечного сечения свай). Рекомендуется же использовать типовую расстановку свай в кусте (приложение 5).

Размеры ростверка в плане вычисляются следующим образом:

$$a = A + d + 2 \cdot c, \quad (6.8)$$

$$b = B + d + 2 \cdot c, \quad (6.9)$$

где a – длина ростверка; A, B – габаритные размеры свайного куста согласно приложению 7; d – размер поперечного сечения свай; $c=100$ мм – рекомендуемое расстояние между наружной гранью крайней сваи до боковой грани ростверка.

Бóльший размер ростверка следует располагать в направлении действия бóльшего суммарного изгибающего момента. Размеры ростверка должны быть кратны 100 мм.

Расчетный вес ростверка равен

$$G_{p,I} = a \cdot b \cdot d_p \cdot \gamma_{mt} \cdot \gamma_f, \quad (6.10)$$

где d_p – глубина заложения ростверка; $\gamma_{mt} = 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$ – осредненный удельный вес ростверка и грунта на его уступах; $\gamma_f = 1,1$ – коэффициент надежности по нагрузке для веса железобетона.

Расчетный вес свай в кусте равен

$$G_{св,I} = n \cdot m_{св} \cdot g \cdot \gamma_f, \quad (6.11)$$

где n – количество свай в кусте; $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ – ускорение свободного падения; $\gamma_f = 1,1$ – коэффициент надежности по нагрузке для веса железобетона; $m_{св}$ – масса сваи в тоннах.

6.2. Пример определения количества свай в кусте

Условия задачи для примера 5. Требуется по исходным данным, полученным при решении примеров 1-4, определить количество свай в кусте и габаритные размеры ростверка.

Исходные данные:

1. Действующие на фундаменты нагрузки:

$$N_I = 2243 \text{ кН}; M_I = 64 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_I = 15 \text{ кН}.$$

$$N_{II} = 1950 \text{ кН}; M_{II} = 55 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_{II} = 13 \text{ кН}.$$

2. Глубина заложения подошвы ростверка $d = 0,75$ м.

3. Высота ростверка $h = 0,6$ м.

4. Сваи – С.120.30-8 массой 2,5 т.

5. Несущая способность сваи, определенная расчетным методом $F_d = 532 \text{ кН}$.

Решение примера:

1. Вычислим требуемое количество свай в кусте в первом приближении, используя формулу (6.7):

$$n = \frac{N_I \cdot \gamma_{с,г} \cdot \gamma_n}{F_d} = \frac{2243 \cdot 1,4 \cdot 1}{532} = 5,9 \approx 6 \text{ шт.}$$

2. Используя приложение 5, komponуем свайный куст (рис. 6.2).

3. Вычислим размеры ростверка в плане, используя формулы (6.8), (6.9):

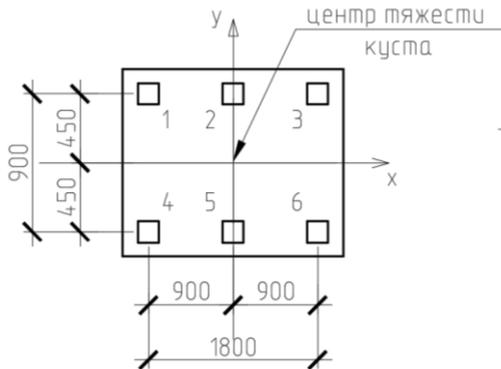


Рисунок 6.2 – План свайного куста с нумерацией свай

$$a = A + d + 2 \cdot c = 1,8 + 0,3 + 2 \cdot 0,1 = 2,3 \text{ м.}$$

$$b = B + d + 2 \cdot c = 0,9 + 0,3 + 2 \cdot 0,1 = 1,4 \text{ м.}$$

Убедимся, что размеры ростверка кратны 100 мм.

4. Вычислим расчетный вес ростверка, используя формулу (6.10):

$$G_{p,I} = a \cdot b \cdot d_p \cdot \gamma_{mt} \cdot \gamma_f = 2,3 \cdot 1,4 \cdot 0,75 \cdot 20 \cdot 1,1 = 53,1 \text{ кН.}$$

5. Вычислим расчетный вес свай, используя формулу (6.11):

$$G_{св,I} = n \cdot m_{св} \cdot g \cdot \gamma_f = 6 \cdot 2,5 \cdot 10 \cdot 1,1 = 165 \text{ кН.}$$

6. Вычислим расчетную сжимающую силу на куст свай N_d , используя формулу (6.4):

$$N_d = N_l + G_{p,I} + G_{св,I} = 2243 + 53,1 + 165 = 2461 \text{ кН.}$$

7. Вычислим суммарные расчетные изгибающие моменты $\sum M_x$ и $\sum M_y$, используя формулы (6.5) и (6.6):

$$\sum M_x = 0,$$

$$\sum M_y = M_{y,I} + Q_{I,x} \cdot h = 64 + 15 \cdot 0,6 = 73 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

8. Вычислим максимальное $N_{\text{св}}^{\text{max}}$ и минимальное $N_{\text{св}}^{\text{min}}$ значения расчетной вдавливающей нагрузки, передаваемой на крайние сваи 1, 3, 4, 6, используя формулу (6.3):

$$N_{\text{св}1,3,4,6}^{\text{max}} = \frac{N_d}{n} + \frac{\sum M_x y}{\sum y_i^2} + \frac{\sum M_y x}{\sum x_i^2} =$$

$$= \frac{2461}{6} + 0 + \frac{73 \cdot 0,9}{0,9^2 \cdot 4} = 410,2 + 20,3 = 431 \text{ кН}.$$

$$N_{\text{св}1,3,4,6}^{\text{min}} = \frac{N_d}{n} - \frac{\sum M_x y}{\sum y_i^2} - \frac{\sum M_y x}{\sum x_i^2} =$$

$$= \frac{2461}{6} - 0 - \frac{73 \cdot 0,9}{0,9^2 \cdot 4} = 410,2 - 20,3 = 390 \text{ кН}.$$

9. Выполним проверки условий (6.1).

$$N_{\text{св}}^{\text{max}} > 1,2 \cdot \frac{F_d}{\gamma_{\text{с.г}} \cdot \gamma_n},$$

$$431 \text{ кН} > 1,2 \cdot \frac{532}{1,4 \cdot 1},$$

$$431 \text{ кН} > 456 \text{ кН}.$$

Условие (6.1) выполняется. При этом разница между величинами равна 5,5 % < 20 %.

$$N_{\text{св}}^{\text{min}} \geq 0,$$

$$390 \text{ кН} \geq 0.$$

Условие (6.2) выполняется.

7. РАСЧЕТ КОНЕЧНОЙ ОСАДКИ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

7.1. Краткие теоретические сведения

Согласно СП 24.13330.2011 [1] расчет осадки свайного фундамента по деформациям основания следует производить исходя из условия:

$$S \leq S_u, \quad (7.1)$$

где S – расчетное значение конечной осадки свайного фундамента; S_u – предельное значение конечной осадки свайного фундамента согласно приложению Д [2].

Согласно СП 24.13330.2011 [1] осадка малой группы висячих свай (при количестве менее 25 шт) рассчитывается методом взаимного влияния свай.

Суммарная осадка свай в кусте определяется по формуле:

$$S_i = S(N) + \sum_{i=1}^{n-1} S_{ad,i}, \quad (7.2)$$

где $S(N)$ – осадка рассматриваемой одиночной сваи от вертикальной нагрузки N без учета влияния соседних свай в кусте; $S_{ad,i}$ – дополнительная осадка рассматриваемой одиночной сваи от вертикальной нагрузки N_i с учетом влияния соседней i -ой свай в кусте; n – общее количество свай в кусте.

Расчет осадки одиночной сваи $S(N)$ допускается производить по формуле:

$$S(N) = \beta \frac{N}{G_1 L} \quad (7.3)$$

при выполнении условия:

$$\frac{L}{d} > \frac{G_1 L}{G_2 d} > 1, \quad (7.4)$$

где N – вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю; β – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + 0,5 \frac{1 - \frac{\beta'}{\alpha_1}}{\chi}, \quad (7.5)$$

где β' – коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае; α' – тот же коэффициент для случая однородного основания; χ – относительная жесткость сваи; EA – жесткость ствола сваи на сжатие; λ_1 – параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола.

Коэффициент β' определяется по формуле:

$$\beta' = 0,17 \ln \left(\frac{k_v G_1 L}{G_2 d} \right). \quad (7.6)$$

Коэффициент α' определяется по формуле:

$$\alpha' = 0,17 \ln \left(\frac{k_v L}{d} \right). \quad (7.7)$$

Параметр χ определяется по формуле:

$$\chi = EA/G_1L^2. \quad (7.8)$$

Параметр λ_1 определяется по формуле:

$$\lambda_1 = \frac{2,12\chi^{3/4}}{1+2,12\chi^{3/4}}. \quad (7.9)$$

Коэффициент k_v определяется по формуле:

$$k_v = 2,82 - 3,78v + 2,18v^2. \quad (7.10)$$

Характеристики G_1 и v_1 принимаются осредненными для всех слоев грунта в пределах глубины погружения сваи, а G_2 и v_2 – ниже острия сваи до исследованной глубины.

Модуль сдвига грунта G определяется по формуле:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}, \quad (7.11)$$

где E – модуль деформации грунта; ν – коэффициент Пуассона грунта.

Расчетный диаметр для свай некруглого сечения, в частности стандартных забивных свай заводского изготовления, вычисляется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}, \quad (7.12)$$

где A – площадь поперечного сечения сваи.

Дополнительная осадка сваи S_{ad} , находящейся на расстоянии a от рассматриваемой одиночной сваи, к которой приложена нагрузка N , равна:

$$S_{ad} = \delta \frac{N}{G_1L}, \quad (7.13)$$

где

$$\delta = \begin{cases} 0,17 \ln \frac{k_v G_1 L}{2 G_2 a}, & \text{если } \frac{k_v G_1 L}{2 G_2 a} > 1; \\ 0, & \text{если } \frac{k_v G_1 L}{2 G_2 a} \leq 1. \end{cases} \quad (7.14)$$

7.2. Пример расчета конечной осадки свайного фундамента

Условия задачи для примера 6. Требуется по исходным данным, полученным при решении примеров 1-5, вычис-

лить конечную осадку свайного фундамента и сравнить ее предельным значением.

Исходные данные:

1. Инженерно-геологическая колонка (см. рис. 2.1).
2. Таблица физико-механических характеристик грунтов (см. табл. 2.1).
3. Тип здания – многоэтажное гражданское здание с рамно-связевым каркасом из сборно-монолитных железобетонных элементов, без подвала.
4. Действующие на фундаментах нагрузки:
 $N_I = 2243 \text{ кН}; M_I = 64 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_I = 15 \text{ кН}.$
 $N_{II} = 1950 \text{ кН}; M_{II} = 55 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_{II} = 13 \text{ кН}.$
5. Глубина заложения подошвы ростверка $d = 0,75 \text{ м}.$
6. Высота ростверка $h = 0,6 \text{ м}.$
7. Сваи – С.120.30-8 массой 2,5 т.
8. Бетон свай – В20.

Решение примера:

1. Произвольно пронумеруем каждую сваю в кусте (рис. 7.1).

2. Вычислим нормативный вес ростверка, используя формулу (6.10):

$$G_{p,II} = a \cdot b \cdot d_p \cdot \gamma_{mt} \cdot \gamma_f = 2,3 \cdot 1,4 \cdot 0,75 \cdot 20 \cdot 1 = 48,3 \text{ кН}.$$

3. Вычислим нормативный вес свай, используя формулу (6.11):

$$G_{св,II} = n \cdot m_{св} \cdot g \cdot \gamma_f = 6 \cdot 2,5 \cdot 10 \cdot 1 = 150 \text{ кН}.$$

4. Вычислим нормативную сжимающую силу на куст свай N_d , используя формулу (6.4):

$$N_d = N_{II} + G_{p,II} + G_{св,II} = 1950 + 48,3 + 150 = 2148 \text{ кН}.$$

5. Вычислим суммарные нормативные изгибающие моменты $\sum M_x$ и $\sum M_y$, используя формулы (6.5) и (6.6):

$$\sum M_x = 0,$$

$$\sum M_y = M_{y,II} + Q_{II,x} \cdot h = 55 + 13 \cdot 0,7 = 64,1 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

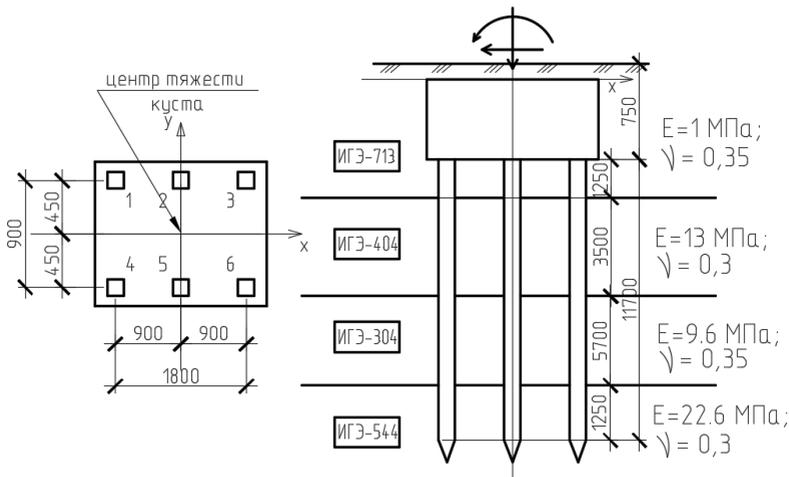


Рисунок 7.1 – Схема к расчету осадки свайного фундамента

6. Вычислим значения нормативной вдавливающей нагрузки, передаваемой на сваи, используя формулу (6.3):

$$N_{св1,4} = 376 \text{ кН}. \quad N_{св3,6} = 340 \text{ кН}. \quad N_{св2,5} = 358 \text{ кН}.$$

7. Вычислим осадки всех свай, рассматривая их как одиночные (т.е. без учета влияния соседних свай в кусте).

7.1) Вычислим модуль сдвига для всех ИГЭ, которые пререзает свая, используя формулу (7.11):

$$G_{ИГЭ-713} = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{1}{2 \cdot (1 + 0,35)} = 0,4 \text{ МПа}.$$

$$G_{ИГЭ-404} = 5 \text{ МПа}. \quad G_{ИГЭ-304} = 3,6 \text{ МПа}.$$

$$G_{ИГЭ-544} = 8,7 \text{ МПа}.$$

Для насыпного грунта (ИГЭ-713) зададимся модулем деформации $E = 1 \text{ МПа}$ и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,35$.

7.2) Вычислим средневзвешенное значение модуля сдвига для грунтов, пререзаемых свайей:

$$G_1 = \frac{G_{ИГЭ-713} * 1,25 + G_{ИГЭ-404} * 3,5 + G_{ИГЭ-304} * 5,7 + G_{ИГЭ-544} * 1,25}{1,25 + 3,5 + 5,7 + 1,25} = \frac{0,4 * 1,25 + 5 * 3,5 + 3,6 * 5,7 + 8,7 * 1,25}{11,7} = 4,22 \text{ МПа},$$

где 1,25 м, 3,5 м, 5,7 м, 1,25 м – толщины грунтов, которые пререзает свая.

7.3) Вычислим относительную жесткость ствола сваи, используя формулу (7.8):

$$\chi = \frac{EA}{G_1 * l^2} = \frac{22000 * 0.3 * 0.3}{4,5 * 11,7^2} = 3,25,$$

где l – длина сваи в грунте; A – площадь поперечного сечения сваи; $E = 22000$ МПа – модуль упругости бетона сваи для класса В20.

7.4) Вычислим параметр, отвечающий за увеличение осадки за счет сжатия ствола сваи, используя формулу (7.9):

$$\lambda_1 = \frac{2,12 * \chi^{3/4}}{1 + 2,12 \chi^{3/4}} = \frac{2,12 * 3,25}{1 + 2,12 * 3,25^{3/4}} = \frac{2,12 * 3,25}{6,13} = 1,12.$$

7.5) Вычислим средневзвешенное значение коэффициента Пуассона для грунтов, прорезаемых свайей:

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \frac{\nu_{игэ-713} * 1,25 + \nu_{игэ-404} * 3,5 + \nu_{игэ-304} * 5,7 + \nu_{игэ-554} * 1,25}{0,55 + 3,5 + 6,2 + 1,45} = \\ &= \frac{0,35 * 1,25 + 0,3 * 3,5 + 0,35 * 5,7 + 0,3 * 1,25}{11,7} = 0,33. \end{aligned}$$

7.6) Определим коэффициент Пуассона для грунта несущего слоя:

$$\nu_2 = \nu_{игэ-544} = 0,3.$$

7.7) Вычислим

$$\nu = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2} = \frac{0,33 + 0,3}{2} = 0,315.$$

7.8) Вычислим параметр K_v , используя формулу (7.10):

$$K_v = 2,82 - 3,78 \nu + 2,18 \nu^2 = 2,82 - 3,78 * 0,315 + 2,18 * 0,315^2 = 1,85.$$

7.9) Определим модуль сдвига для грунта несущего слоя:

$$G_2 = G_{игэ-544} = 8,7 \text{ МПа.}$$

7.10) Размер поперечного сечения сваи $d = 0,3$ м.

7.11) Вычислим коэффициент β' , соответствующий абсолютно жесткой свайе, используя формулу (7.6):

$$\beta' = 0,17 * \ln \frac{k_v * G_1 * l}{G_2 * d} = 0,17 * \ln \frac{1,85 * 4,5 * 11,7}{8,7 * 0,3} = 0,62.$$

7.12) Вычислим

$$k_{v1} = 2,82 - 3,78 \nu_1 + 2,18 \nu_1^2 = 2,82 - 3,78 * 0,33 + 2,18 * 0,33^2 = 1,81.$$

7.13) Вычислим коэффициент α' , используя формулу (7.7):

$$\alpha' = 0,17 * \ln \frac{k_{v1} l}{d} = 0,17 * \ln \frac{1,81 * 11,7}{0,3} = 0,72.$$

7.14) Вычислим коэффициент β , используя формулу (7.5):

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + \frac{1-\beta'}{\chi} = \frac{0,62}{1,12} + \frac{1-\frac{0,62}{0,72}}{3,25} = 0,55 + 0,043 = 0,51.$$

7.15) Вычислим осадки свай, рассматривая ее как одиночные (без учета влияния соседних свай в кусте):

$$S(N_{II}^{\text{свая1,4}}) = \beta \cdot \frac{N_{II}^{\text{свая1,4}}}{G_1 \cdot l} = 0,51 \cdot \frac{376}{4500 \cdot 11,7} = 3,6 \text{ мм.}$$

$$S(N_{II}^{\text{свая3,6}}) = 3,34 \text{ мм. } S(N_{II}^{\text{свая2,5}}) = 3,42 \text{ мм.}$$

8. Вычислим дополнительную осадку сваи 1 от влияния сваи 4.

8.1) Вычислим и сравним с единицей (если значение получилось менее 1, то это значит, что влияние между сваями отсутствует)

$$\frac{K_v \cdot G_1 \cdot l}{2 \cdot G_2 \cdot a} = \frac{1,85 \cdot 4,5 \cdot 1,7}{2 \cdot 8,7 \cdot 0,9} = 6,2 > 1,$$

где $a = 0,9$ м – расстояние между осями свай 1 и 4.

8.2) Вычислим параметр δ , используя формулу (7.14):

$$\delta = 0,17 \cdot \ln \frac{k_v \cdot G_1 \cdot l}{G_2 \cdot a} = 0,17 \cdot \ln 6,2 = 0,31.$$

8.3) Вычислим дополнительную осадку сваи 1 от влияния сваи 4

$$S_{ad}^{\text{свая1 от 4}} = \delta \cdot \frac{N_{II}^{\text{свая4}}}{G_1 \cdot l} = 0,31 \cdot \frac{376}{4500 \cdot 11,7} = 2,24 \text{ мм.}$$

9. Вычислим дополнительную осадку сваи 1 от влияния сваи 2 ($a = 0,9$ м). Значение δ такое же, как для расчета $S_{ad}^{\text{свая1 от 4}}$.

$$S_{ad}^{\text{свая1 от 2}} = \delta \cdot \frac{N_{II}^{\text{свая2}}}{G_1 \cdot l} = 0,31 \cdot \frac{358}{4500 \cdot 11,7} = 2,2 \text{ мм.}$$

10. Аналогичным образом вычислим дополнительные осадки сваи 1 от влияния свай 5, 3, 6.

$$S_{ad}^{\text{свая1 от 5}} = 1,7 \text{ мм. } S_{ad}^{\text{свая1 от 3}} = 1,3 \text{ мм. } S_{ad}^{\text{свая1 от 6}} = 1,2 \text{ мм.}$$

11. Вычислим суммарную осадку сваи 1 (или 4) с учетом влияния других свай в кусте

$$\sum S_{\text{свая1}} = \sum S_{\text{свая4}} = S(N_{II}^{\text{свая1}}) + S_{ad}^{\text{свая1 от 4}} + S_{ad}^{\text{свая1 от 2}} +$$

$$\begin{aligned}
 & +S_{ad}^{\text{свая1 от 5}} + S_{ad}^{\text{свая1 от 3}} + S_{ad}^{\text{свая1 от 6}} = \\
 & = 3,6 + 2,24 + 2,2 + 1,7 + 1,3 + 1,2 = 12,24 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

12. Аналогичным образом вычислим суммарную осадку сваи 2 (или 5) с учетом влияния других свай в кусте

$$\begin{aligned}
 \sum S_{\text{свая2}} &= \sum S_{\text{свая5}} = S(N_{II}^{\text{свая2}}) + S_{ad}^{\text{свая2от 1}} + S_{ad}^{\text{свая2от 3}} + \\
 & + S_{ad}^{\text{свая2от 4}} + S_{ad}^{\text{свая2 от 5}} + S_{ad}^{\text{свая2 от 6}} = \\
 & = 3,5 + 2,3 + 2 + 1,7 + 2,2 + 1,6 = 13,3 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

13. Аналогичным образом вычислим суммарную осадку сваи 3 (или 6) с учетом влияния других свай в кусте

$$\begin{aligned}
 \sum S_{\text{свая3}} &= \sum S_{\text{свая6}} = S(N_{II}^{\text{свая3}}) + S_{ad}^{\text{свая3от 6}} + S_{ad}^{\text{свая3от 2}} + \\
 & + S_{ad}^{\text{свая3от 5}} + S_{ad}^{\text{свая3 от 1}} + S_{ad}^{\text{свая3 от 4}} = \\
 & = 3,4 + 2 + 2,2 + 1,7 + 1,4 + 1,3 = 12 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

14. Вычислим среднюю осадку свайного куста

$$\begin{aligned}
 S_{\text{ср}} &= \frac{\sum S_{\text{свая1}} + \sum S_{\text{свая4}} + \sum S_{\text{свая2}} + \sum S_{\text{свая5}} + \\
 & + \sum S_{\text{свая3}} + \sum S_{\text{свая6}}}{6} = \frac{12,24 \cdot 2 + 13,3 \cdot 2 + 12 \cdot 2}{6} = 12,6 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

15. Сравним расчетную осадку с предельно допустимым значением $S_u = 10$ см, принятую по приложению 8 для полного каркаса из железобетона

$$\begin{aligned}
 S_{\text{ср}} &< S_u, \\
 1,26 \text{ см} &< 10 \text{ см.}
 \end{aligned}$$

Условие выполняется.

Список литературы

1. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
2. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*.
3. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
4. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.
5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52 – 01 – 2003.
6. ГОСТ 19804-2012 Сваи железобетонные заводского изготовления. Общие технические условия.
7. Серия 1.011.1-10. Вып. 1. Сваи цельные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой. Рабочие чертежи.
8. Серия 1.011.1-10. Вып. 8. Сваи составные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой. Рабочие чертежи.
9. СП 45.13330.2012. Земляные работы, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.
10. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
11. Чернявский Д. А., Маршалка А. Ю. Задание на выполнение курсового проекта по теме: «Проектирование оснований и фундаментов гражданского здания». Методические указания – Краснодар, 2013 г. – 41 с.

Приложение 1

Величина анкеровки продольной арматуры сваи
в ростверке (согласно СП 63.13330.2012 [5])

Класс ар- матуры	Поперечное сечение сваи	Длина анкеровки l_{an} при классе бетона ростверка			
		В15		В20 и выше	
		растяже- ние	сжатие	растяже- ние	сжатие
А 240	Квадратное	$25d_s$	$15d_s$	$20d_s$	$10d_s$
А 400	Квадратное	$30d_s$	$18d_s$	$25d_s$	$15d_s$

Примечание. d_s – диаметр растянутой продольной арматуры сваи.

Приложение 2

Сваи цельные сплошного квадратного сечения
размером 300х300 мм с ненапрягаемой продольной арматурой
(по данным серии [7])

Марка сваи	Основные размеры, мм		Масса, т
	Длина L	Размер поперечного сечения	
С40.30	4000	300	0,93
С50.30	5000		1,15
С60.30	6000		1,38
С70.30	7000		1,6
С80.30	8000		1,83
С90.30	9000		2,05
С100.30	10000		2,28
С110.30	11000		2,5
С120.30	12000		2,73

Приложение 3

Расчетные сопротивления грунта под нижним концом забивных свай (по данным СП 24.13330.2012 [1])

Глубина погружения нижнего конца свай, м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных свай R , кПа						
	Песков средней плотности						
	гравели- стых	крупных	-	средней крупности	мелких	пылеватых	-
	Глинистых грунтов по показателю текучести I_L , равном						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	7500	6600 (4000)	3000	3100 (2000)	2000 (1200)	1100	600
4	8300	6800 (5100)	3800	3200 (2500)	2100 (1600)	1250	700
5	8800	7000 (6200)	4000	3400 (2800)	2200 (2000)	1300	800
7	9700	7300 (6900)	4300	3700 (3300)	2400 (2200)	1400	850
10	10500	7700 (7300)	5000	4000 (3500)	2600 (2400)	1500	900
15	11700	8200 (7500)	5600	4400 (4000)	2900	1650	1000
20	12600	8500	6200	4800 (4500)	3200	1800	1100
25	13400	9000	6800	5200	3500	1950	1200

Примечание. В скобках даны значения R для глинистых грунт

Приложение 4

Расчетные сопротивления грунта по боковой поверхности забивных свай (по данным СП 24.13330.2012 [1])

Средняя глубина расположения слоя грунта, м	Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных свай f , кПа								
	Песков средней плотности								
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых	-	-	-	-	-	-
	Глинистых грунтов по показателю текучести I_L , равном								
	$\leq 0,2$	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	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	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

Приложение 5

Минимальные геометрические параметры свайных кустов
из висячих свай (согласно Справочнику [3])

Номер схемы	Эскиз куста	Размеры, мм				
		a	a_1	A	b	B
1		450	-	900	450	900
2		650	-	1300	650	1300
3		900	-	1800	450	900
4		475	950	1900	800	1600
5		475	950	1900	800	1600
6		900	-	1800	900	1800

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ	4
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	4
2.1. Краткие теоретические сведения.....	4
2.2. Пример исходных данных.....	5
3. НАЗНАЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ПОДОШВЫ РОСТВЕРКА	6
3.1. Краткие теоретические сведения.....	6
3.2. Пример назначения глубины подошвы ростверка.....	10
4. НАЗНАЧЕНИЕ ДЛИНЫ И КОНСТРУКЦИИ СВАИ.....	11
4.1. Краткие теоретические сведения.....	11
4.2. Пример назначения длины и конструкции сваи.....	14
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ... ..	16
5.1. Краткие теоретические сведения.....	16
5.2. Пример определения несущей способности сваи.....	18
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СВАЙ В КУСТЕ.....	20
6.1. Краткие теоретические сведения.....	20
6.2. Пример определения количества свай в кусте.....	23
7. РАСЧЕТ КОНЕЧНОЙ ОСАДКИ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА.....	25
7.1. Краткие теоретические сведения.....	25
7.2. Пример расчета конечной осадки свайного фундамента.....	27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	33
ПРИЛОЖЕНИЯ	34

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Методические рекомендации

Составители: **Петухов** Аркадий Александрович,
Межаков Александр Сергеевич,
Демченко Владимир Анатольевич

Подписано в печать 19.06.2019. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. – 2,3. Уч.-изд. л. – 1,8.

Тираж 70 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

ПЕТУХОВ

Аркадий Александрович

Доцент кафедры «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина, кандидат технических наук. Специалист в области усиления оснований и фундаментов реконструируемых, восстанавливаемых зданий. Автор (соавтор) более 60 научных печатных работ, включая 15 патентов РФ на изобретения и полезные модели.

МЕЖАКОВ

Александр Сергеевич

Ассистент, аспирант кафедры «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина. Научно-практические интересы: совершенствование способов устройства фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки и методов их расчета, компьютерное моделирование работы фундаментов реконструируемых зданий, решение геотехнических задач. Автор 18 научных печатных работ.

Демченко

Владимир Анатольевич

Старший преподаватель кафедры «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина. Научно-практические интересы: совершенствование способов устройства глубоких котлованов и методов их расчета, решение геотехнических задач. Автор 12 научных печатных работ.