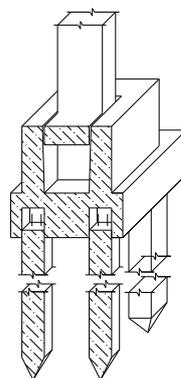


М.В. Кузнецов

Проектирование свайных фундаментов



**Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению
«Строительство»**

2018

Рецензент

Кандидат технических наук *В.С. Бадеев*

В пособии представлены последовательность проектирования и требования к расчетам фундаментов из забивных свай для промышленных и гражданских сооружений на обычных грунтах, не обладающих специфическими свойствами, на территориях, где не наблюдаются опасные инженерно-геологические процессы. В численном примере рассмотрен расчет свайного фундамента под сборную железобетонную колонну.

Предназначено для подготовки обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство». Может быть полезно инженерно-техническим работникам.

1. Общие положения

Свайные фундаменты рационально применять, если:

- верхняя часть основания представлена грунтами с неудовлетворительными строительными свойствами;
- на основание передаются значительные нагрузки;
- свайный фундамент является оптимальным из всех возможных вариантов фундаментов в рассматриваемых местных условиях для проектируемого здания.

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) технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений [21].

При проектировании должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность сооружений на всех стадиях строительства и эксплуатации. При этом следует учитывать местные условия строительства, а также имеющийся опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений в аналогичных инженерно-геологических, гидрогеологических и экологических условиях [21].

Основными исходными данными для проектирования свайных фундаментов являются местные условия: инженерно-геологические, гидрогеологические, геодезические и гидрометеорологические, а также технические возможности местных строительных организаций, расположение проектируемого здания относительно существующих объектов

и т.д. Кроме этого учитываются технологическое назначение здания и его конструктивная схема, в частности, размеры, материалы, планово-высотные привязки конструкций, под которые проектируются фундаменты, значения нагрузок в уровне обреза ростверка или в уровне планировки поверхности.

2. Виды свай

В соответствии с СП 24.13330.2011 [21] различают следующие виды свай по способу заглубления в грунт:

а) предварительно изготовленные забивные и вдавливаемые железобетонные, деревянные и стальные, погружаемые в грунт без его разбуривания или в лидерные скважины с помощью молотов, вибропогружателей, вибровдавливающих, виброударных и вдавливающих устройств, а также железобетонные сваи-оболочки диаметром до 0,8 м, заглубляемые вибропогружателями без выемки или с частичной выемкой грунта и не заполняемые бетонной смесью;

б) сваи-оболочки железобетонные, погружаемые вибропогружателями с выемкой грунта из их полости и заполняемые частично или полностью бетонной смесью;

в) набивные бетонные и железобетонные, устраиваемые в грунте путем укладки бетонной смеси в скважины, образованные в результате принудительного вытеснения - отжатия грунта;

г) буровые железобетонные, устраиваемые в грунте путем заполнения пробуренных скважин бетонной смесью или установки в них железобетонных элементов;

д) винтовые сваи, состоящие из металлической винтовой лопасти и трубчатого металлического ствола со значительно меньшей по сравнению с лопастью площадью поперечного сечения, погружаемые в грунт путем ее завинчивания в сочетании с вдавливанием.

По условиям взаимодействия с грунтом сваи подразделяются на свая-стойки и висячие (сваи трения).

К сваям-стойкам относятся сваи все виды, опирающиеся на скальные грунты, а забивные сваи, кроме того, - на малосжимаемые грунты. Силы сопротивления грунтов, за исключением отрицательных (негативных) сил трения, на боковой поверхности свай-стоек в расчетах их несущей способности по грунту основания на сжимающую нагрузку не учитываются.

К висячим сваям (сваям трения) относятся сваи всех видов, опирающиеся на сжимаемые грунты и передающие нагрузку на грунты основания боковой поверхностью и нижним концом.

Забивные железобетонные сваи размером поперечного сечения до 0,8 м включительно и сваи-оболочки диаметром 1 м и более подразделяются:

а) по способу армирования - на сваи и сваи-оболочки с ненапрягаемой продольной арматурой с поперечным армированием и на предварительно напряженные со стержневой или проволочной продольной арматурой (из высокопрочной проволоки и арматурных канатов) с поперечным армированием и без него;

б) по форме поперечного сечения - на сваи квадратные, прямоугольные, таврового и двутаврового сечений, квадратные с круглой полостью, полые круглого сечения;

в) по форме продольного сечения - на призматические, цилиндрические, с наклонными боковыми гранями (пирамидальные, трапецеидальные);

г) по конструктивным особенностям - на сваи цельные и составные (из отдельных секций);

д) по конструкции нижнего конца - на сваи с заостренным или плоским нижним концом, или объемным уширением (булавовидные) и на полые сваи с закрытым или открытым нижним концом или с камуфлетной пятой.

Набивные сваи по способу устройства подразделяются на:

а) набивные, устраиваемые путем погружения (забивкой, вдавливанием или завинчиванием) инвентарных труб, нижний конец которых закрыт оставляемым в грунте башмаком (наконечником) или бетонной пробкой, с последующим извлечением этих труб по мере заполнения скважин бетонной смесью, в том числе после устройства уширения из втрамбованной сухой бетонной смеси;

б) набивные виброштампованные, устраиваемые в пробитых скважинах путем заполнения скважин жесткой бетонной смесью, уплотняемой виброштампом в виде трубы с заостренным нижним концом и закрепленным на ней вибропогружателем;

в) набивные в выштампованном ложе, устраиваемые путем выштамповки в грунте скважин пирамидальной или конусной формы с последующим заполнением их бетонной смесью.

Буровые сваи по способу устройства подразделяются на:

а) буронабивные сплошного сечения с уширениями и без них, бетонируемые в скважинах, пробуренных в глинистых грунтах выше уровня подземных вод без крепления стенок скважин, а в любых грунтах ниже уровня подземных вод - с креплением стенок скважин глинистым раствором или инвентарными извлекаемыми обсадными трубами;

б) буронабивные с применением технологии непрерывного полого шнека;

в) баретты - буровые сваи, изготавливаемые технологическим оборудованием типа плоский грейфер или грунтовая фреза;

г) буронабивные с камуфлетной пятой, устраиваемые путем бурения скважин с последующим образованием уширения взрывом (в том числе электрохимическим) и заполнением скважин бетонной смесью;

д) буроинъекционные диаметром 0,15 - 0,35 м, устраиваемые в пробуренных скважинах путем нагнетания (инъекции) в них мелкозернистой бетонной смеси, а также устраиваемые полым шнеком;

е) буроинъекционные диаметром 0,15 - 0,35 м, выполняемые с уплотнением окружающего грунта путем обработки скважины по разрядно-импульсной технологии (серией разрядов импульсов тока высокого напряжения - РИТ);

ж) сваи-столбы, устраиваемые путем бурения скважин с уширением или без него, укладки в них омоноличивающего цементно-песчаного раствора и опускания в скважины цилиндрических или призматических элементов сплошного сечения со сторонами или диаметром 0,8 м и более;

з) буроопускные сваи с камуфлетной пятой, отличающиеся от буронабивных свай с камуфлетной пятой (см. подпункт «г») тем, что после образования и заполнения камуфлетного уширения в скважину опускают железобетонную сваю.

Наиболее часто в промышленно-гражданском строительстве применяют забивные, набивные и буронабивные железобетонные сваи.

Набивные и буронабивные сваи в отличие от забивных требуют меньшего расхода стали и бетонируются в скважинах без опалубки. Их целесообразно применять в сухих связных грунтах, при больших сосредоточенных вертикальных и горизонтальных нагрузках, на площадках с неровной кровлей залегания несущего слоя грунта, а также при производстве работ вблизи существующих зданий и сооружений. Наиболее экономичными среди набивных и буронабивных свай являются сваи, при устройстве которых происходит уплотнение грунта. Применение буронабивных свай по сравнению с забивными в водонасыщенных грунтах в большинстве случаев экономически нецелесообразно. Забивные сваи являются более индустриальными и параметры их погружения легче поддаются строгому контролю. Более подробно сведения о видах свай и рациональной области их применения можно найти в нормативно-справочной литературе [20, 21, 22, 23].

Ниже изложена последовательность проектирования и требования к расчетам фундаментов из забивных свай для промышленных и гражданских

сооружений на обычных грунтах, не обладающих специфическими свойствами, на территориях, где не наблюдаются опасные инженерно-геологические процессы. При наличии местных особых условий строительства проектирование свайных фундаментов рекомендуется вести с использованием дополнительных требований нормативно-справочной литературы [20, 21, 24, 27].

3. Параметры забивных свай

Железобетонные забивные, буроопускные и опускные сваи, изготавливаемые из тяжелого бетона и предназначенные для свайных фундаментов зданий и сооружений, необходимо назначать в соответствии с ГОСТ 19804-91 [25]. Указанные сваи подразделяются на типы, формы и основные размеры которых приведены в табл. 1.1.

Сваи обозначают марками в соответствии с требованиями ГОСТ 23009-78 [26]. Марка сваи состоит из буквенно-цифровых групп, разделенных дефисами.

В первой группе указывают обозначение типа сваи, ее длину в дециметрах и размер стороны (диаметр) поперечного сечения в сантиметрах; для сваи типа СД после длины дополнительно указывают размер от верха сваи до ее консоли в дециметрах.

Во второй группе указывают: для предварительно напряженной сваи - класс напрягаемой арматурной стали; для сваи с ненапрягаемой арматурой - порядковый номер варианта армирования в соответствии с рабочими чертежами.

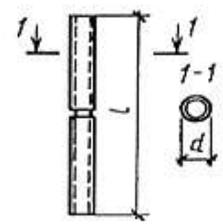
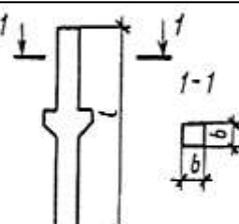
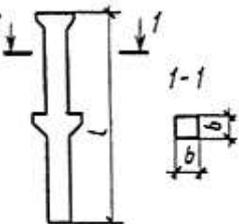
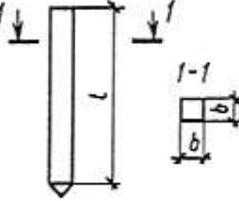
В третьей группе указывают:

- для сваи типа СК или СО - наличие наконечника, обозначаемое строчной буквой "н";
- для составной сваи - тип стыка, обозначаемый строчными буквами: б - болтовой стык, св - сварной стык, с - стаканный стык;

Таблица 1.1

Форма и основные размеры свай

Тип и характеристика сваи	Эскиз сваи	Основные размеры сваи, мм		Обозначение стандарта или серии рабочих чертежей
		<i>b</i> или <i>d</i>	<i>l</i>	
1	2	3	4	5
Тип С. Цельная с ненапрягаемой арматурой		200	3000 - 6000	Серия 1.011.1-10, вып. 1; УД-40-88; 3.500.1-1
		250	4500 - 6000	
		300	3000 - 12000	
		350	4000 - 16000	
		400	4000 - 18000	
Тип С. Цельная с напрягаемой арматурой		200	3000 - 6000	ГОСТ 19804.2 Серия 3.500.1-1
		250	4500 - 6000	
		300	3000 - 15000	
		350	8000 - 20000	
		400	13000 - 20000	
Тип С. Составная с ненапрягаемой арматурой		300	14000 - 24000	Серия 1.011.1-10, вып. 8
		350	14000 - 28000	
		400		
Тип С. Составная с напрягаемой арматурой		300	14000 - 20000	Серия 1.011.1-9
		350	14000 - 24000	
		400	14000 - 28000	
Тип СП. Цельная с ненапрягаемой и напрягаемой арматурой		300	3000 - 12000	ГОСТ 19804.3
		400		
Тип СК. Цельная с ненапрягаемой арматурой		400	4000 - 18000	ГОСТ 19804.5 Серия 3.501.1
		500		
		600		
		800		
Тип СО. Цельная с ненапрягаемой арматурой		1000	6000 - 12000	
		1200		
		1500		
		1600		
		3000		

	2	3	4	5	
Тип СК. Составная с ненапрягаемой арматурой		400	14000 - 26000	ГОСТ 19804.6 Серия 3.501.1	
		500	14000 - 30000		
		600	14000 - 40000		
		800	14000 - 48000		
Тип СО. Составная с ненапрягаемой арматурой		1000	14000 - 48000		
		1200			
		1500			
		1600			
		3000			
Тип 1СД		200	5000 - 6000		ГОСТ 19804.7
		300	5000 - 7500		
Тип 2СД		300	5000 - 7500		
Тип СЦ		250	5000 - 6000	ГОСТ 19804.4	
		300	3000 - 9000		

В массовом строительстве наиболее часто применяют сваи квадратного, сплошного сечения, цельные с поперечным армированием ствола. По условиям погружения такие сваи длиной 7 м и более подразделяются на два вида: обычной и повышенной ударостойкости. Необходимость применения свай повышенной ударостойкости определяет организация, проектирующая свайные фундаменты на основании инженерно-геологических изысканий, а также пробных забивок.

Сваи изготавливаются из тяжелого бетона класса по прочности на сжатие не ниже:

- для свай сечением 200x250, 250x250 и 300x300 мм длиной 3...7 м – В15; сечением 350x350 мм длиной 4...6 м и сечением 400x400 мм длиной 4...12 м – В20;
- сечением 300x300 мм длиной 8 ... 12 м, сечением 350x350 мм длиной 7...12 м – В20 - для свай обычной ударостойкости, В25 - для свай повышенной ударостойкости;
- сечением 400x400 мм длиной 13...16 м – В25 - для свай обычной ударостойкости и В30 для свай повышенной ударостойкости.

Сваи армируются четырьмя продольными стержнями различного диаметра и класса. Подразделение свай по продольному армированию представлено в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Условное обозначение армирования свай

Условное обозначение армирования	Диаметр и класс продольной арматуры	Условное обозначение армирования	Диаметр и класс продольной арматуры
1	10 А I (А 240)	7	14 А II (А 320)
2	10 А II (А 320)	8	14 А III (А 400)
3	10 А III (А 400)	9	16 А III (А 400)
4	12 А I (А 240)	10	18 А III (А 400)
5	12 А II (А 320)	11	20 А III (А 400)
6	12 А III (А 400)	12	22 А III (А 400)
		13	25 А III (А400)



Рис.1.1. Пример маркировки сваи сплошного квадратного сечения

Для сваи обычной ударостойкости буква «У» не проставляется, без приставного каркаса острия цифра «1» не проставляется. Например, марка сваи С 80.30 – 6 обозначает - Свая сплошного квадратного сечения 30х30 см, длиной 8 м, шестого типа армирования 4Ø12 АШ (А 400). В качестве примера в прил.11 представлены сведения о сваях сплошного квадратного сечения обычной ударостойкости без приставного каркаса острия.

4. Назначение длины сваи

Длина забивных свай L исчисляется расстоянием от головы сваи (верхнего конца) до нижнего конца сваи, где призматическая часть переходит в пирамидальную, т.е. заостренная часть сваи в ее длину не входит (рис. 1.2) Для буронабивных свай их длина это расстояние от подошвы ростверка до пяты сваи.

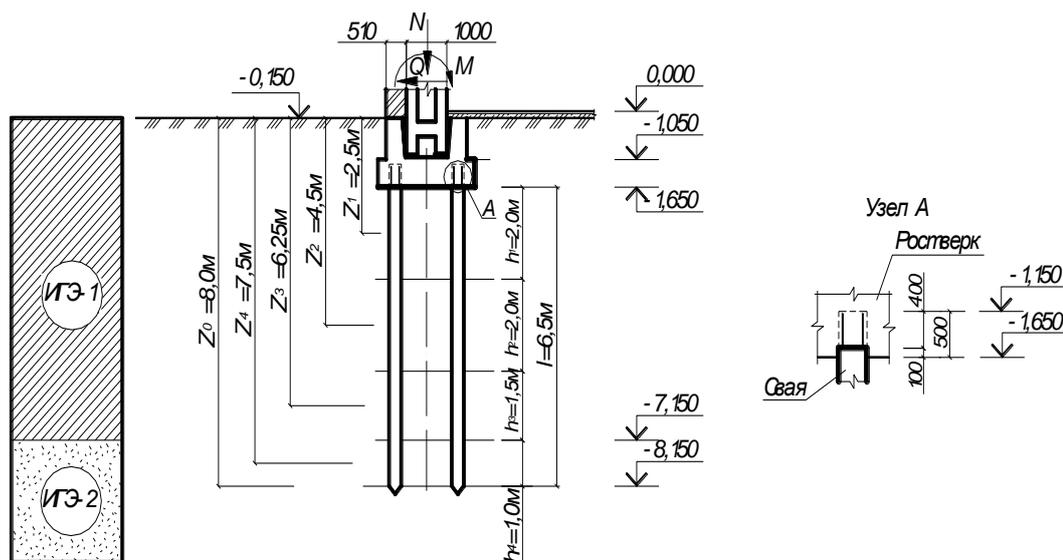


Рис. 1.2. Схема к определению длины и несущей способности свай

Выбор длины свай должен производиться [21] в зависимости от грунтовых условий строительной площадки, уровня расположения подошвы ростверков с учетом возможностей имеющегося оборудования для устройства свайных фундаментов. Нижний конец свай, как правило, следует заглублять в прочные грунты, прорезая более слабые напластования, при этом заглубление забивных свай в грунты, принятые за основание под их концы, должно быть: в крупнообломочные, гравелистые, крупные и средней крупности песчаные; глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,1$ - не менее 0,5м, в другие дисперсные грунты - не менее 1,0 м.

Отметки подошвы ростверка назначают исходя из тех же условий, что и для фундаментов на естественном основании. При этом необходимо учесть, что по конструктивным требованиям минимальная толщина дна стакана фундамента мелкого заложения составляет 200 мм, а высота ростверка назначается на 40 см больше глубины стакана.

В дальнейшем толщина дна стакана ростверка должна быть проверена расчетом на продавливание. Кроме того, при назначении длины забивной сваи необходимо учесть, что ее верхняя часть должна быть заделана в ростверк на глубину 5-10 см при свободном опирании ростверка на сваи и на

расчетный размер при жестком сопряжении ростверка со сваями. Допускается принимать заделку забивных свай в ростверке конструктивно равной 50 см, из них 40 см составляют выпуски арматуры, а 10 см - непосредственная заделка (см. рис.1.2).

Найденную из вышеперечисленных условий длину сваи необходимо уточнить по стандартной длине в соответствии с номенклатурой свай по действующим ГОСТам. Назначенную длину сваи в дальнейших расчетах можно изменить в результате технико-экономического сравнения вариантов свайных фундаментов с различной длиной свай. Например, если при увеличении длины сваи произойдет такой рост ее несущей способности, при котором количество свай в кусте уменьшится, станут меньше размеры ростверка и вариант фундамента с удлиненными сваями будет иметь лучшие технико-экономические показатели.

Размеры поперечного сечения сваи должны обеспечивать необходимую несущую способность сваи по грунту и удовлетворять расчетам по прочности материала ствола сваи на совместное действие вертикальных и горизонтальных сил, а также моментов.

После выбора вида сваи и назначения ее размеров выясняют: относится проектируемая свая к сваям-стойкам или к сваям висячим. Сваи-стойки - это сваи всех видов, опирающиеся на скальные грунты, а забивные сваи, кроме того, на малосжимаемые грунты. К малосжимаемым относятся [21] крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем средней плотности и плотным, а также глины твердой консистенции в водонасыщенном состоянии с модулем деформации $E \geq 50000$ кПа. Силы сопротивления грунтов по боковой поверхности свай-стоек в расчетах их несущей способности по грунту основания на сжимающую нагрузку не учитываются. Висячие сваи - это сваи всех видов, опирающиеся на сжимаемые грунты и передающие нагрузку на грунты боковой поверхностью и нижним концом.

5 Определение несущей способности свай

Несущей способностью сваи F_d называется расчетная несущая способность грунта основания одиночной сваи. Это то максимальное усилие, которое может воспринять свая без разрушения грунта, контактирующего с ее поверхностью. Для определения несущей способности свай применяют несколько методов: статические испытания натуральных свай, статические испытания эталонных свай, статическое зондирование, динамические испытания, расчетный метод по характеристикам грунтов основания и др.

В расчетном методе несущая способность сваи-стойки обусловлена только сопротивлением грунта под ее нижним концом

$$F_d = \gamma_c RA, \quad (1.1)$$

а для висячей сваи является суммой сил расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i). \quad (1.2)$$

В этих формулах:

γ_c - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый для забивных свай равным 1;

R - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа; для забивных свай-стоек $R = 20000$ кПа, для забивных висячих свай - по прил. 12;

A - площадь опирания сваи на грунт, м²;

u - наружный периметр поперечного сечения сваи, м;

f_i - расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи, кПа, принимаемое для забивных свай по прил. 13;

h_i - толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

γ_{cR}, γ_{cf} - коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетное сопротивление грунта; для не-

которых способов погружения забивных свай значения γ_{cR}, γ_{cf} представлены в прил.14.

Глубину погружения нижнего конца сваи z_0 среднюю глубину расположения слоя грунта z_i (рис.1.2) при определении значений R и f_i принимают от природного рельефа при срезке, подсыпке или намыве слоя грунта, толщиной не более 3 м. При промежуточных значениях z и I_L значения R и f_i определяются по интерполяции. Для плотных песков значения f_i увеличиваются на 30 %, а значения R - на 60-100 %, но не более чем до 20000 кПа. Для супесей при числе пластичности $I_p < 4$ и коэффициенте пористости $e < 0,8$ расчетные сопротивления R и f_i следует определять как для пылеватых песков средней плотности.

При определении f_i по прил.13 пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 м. 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 с приводимыми в прил. 13 при любых значениях показателя текучести.

6. Размещение свай под ростверком и проверка нагрузок

Количество свай в кусте и расстояние между сваями в свайном фундаменте устанавливают, предполагая, что в группе свай каждая обладает такой же несущей способностью, что и одиночная. При этом учитывают, что все методы определения несущей способности свай обладают некоторыми погрешностями и при дальнейшем проектировании используют расчетную нагрузку P , допускаемую на сваю

$$P = \frac{\gamma_0 F_d}{\gamma_n \gamma_k}, \quad (1.3)$$

где γ_0 - коэффициент условий работы, учитывающий повышение однородности грунтовых условий при применении свайных фундаментов, принимаемый равным $\gamma_0 = 1,15$ 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;

γ_k - коэффициент надежности, учитывающий точность метода определения несущей способности одиночной сваи; при определении F_d расчетом значение γ_k принимается равным 1,4.

Количество свай в кусте в первом приближении

$$n = \frac{\sum N_I + G_{lr}}{P} 1,2, \quad (1.4)$$

где $\sum N_I$ - максимальная для всех сочетаний сумма расчетных вертикальных нагрузок в обресе ростверка, кН;

G_{lr} - расчетный вес ростверка, на начальном этапе проектирования может быть приближенно принят $0,1 \sum N_I$.

Полученное число свай округляют до целого. Сваи в кусте под ростверками промышленных и гражданских сооружений размещают, как правило, симметрично относительно оси колонны в рядовом или шахматном порядке. Расстояние между осями свай (шаг свай) назначают от $3b_p$ до $6b_p$, где b_p - сторона сечения сваи. Параметры типовых свайных кустов из забивных и буронабивных свай для одно- и многоэтажных промышленных зданий можно найти в справочнике [20]. Размеры подошвы ростверка (длина l_r и ширина b_r) принимаются на 10-20 см больше размеров куста свай по наружному контуру и должны быть кратными 30 см.

Количество свай в кусте считается достоверно определенным, если фактическая вертикальная нагрузка на крайние сваи N_{If} близка к расчетной нагрузке P , допускаемой на сваю. Для фундаментов с вертикальными сваями фактическую нагрузку на сваю при действии момента в одном направлении допускается определять по следующей формуле:

$$N_{If} = \frac{N_{dI}}{n} \pm \frac{|M_{YI}|_x}{\sum x_i} \frac{1}{2}, \quad (1.5)$$

где N_{db}/M_{YI} -соответственно расчетная сжимающая сила, кН, и расчетный изгибающий момент по абсолютному значению, кНм, относительно оси ОУ плана свай в плоскости подошвы ростверка;

x - расстояние от оси ОУ до оси сваи, для которой вычисляется фактическая нагрузка, м;

x_i -расстояние от оси ОУ до оси каждой сваи.

Усилия в подошве ростверка включают в себя нагрузки в обресе ростверка и его вес G_{Ir} , который допускается вычислять по формуле:

$$G_{Ir} = \gamma_f l_r b_r h_r \gamma_{mt}, \quad (1.6)$$

где l_r, b_r, h_r - соответственно длина, ширина подошвы и высота ростверка, м;

γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, равный для постоянных нагрузок 1,1;

γ_{mt} - среднее значение удельного веса материала фундамента и грунта на его уступах, принимаемое в инженерных расчетах равным 20 кН/м³.

В соответствии с примечанием к п. 7.1.11 [21] к фактической нагрузке N_{If} необходимо добавить собственный вес сваи с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f=1,1$.

При подстановке знака «плюс» в формулу (1.5) получается максимальная нагрузка N_{Ifmax} на крайние сваи в направлении действия момента M_{YI} , знака «минус» минимальная нагрузка N_{Ifmin} на крайние сваи в направлении, противоположном действию момента M_{YI} . Значения фактической нагрузки N_{If} вычисляются для всех заданных сочетаний нагрузок.

Наибольшее для всех сочетаний нагрузок значение фактической нагрузки на сваю N_{Ifmax} сравнивается с нагрузкой, допускаемой на сваю R . Согласно [20,21], недогруз свай (недоиспользование несущей способности) не должен превышать 15 %, перегрузка крайних свай при учете ветровых и крановых - 20 %.

Количество свай по несущей способности грунта считается подобранным удачно, если выполняется условие

$$15\% \leq \Delta \leq 20\% , \quad (1.7)$$

$$\Delta = \frac{N_{f \max} - P}{N_{f \max}} . \quad (1.8)$$

В случае невыполнения условия (1.7) изменяют один или несколько из следующих параметров: длину сваи, количество свай, расстояние между сваями, вид сваи. Если, хотя бы в одном из сочетаний нагрузок минимальная нагрузка $N_{f \min}$, вычисленная по формуле (1.5), меньше нуля, то это означает, что на сваю действуют выдергивающие нагрузки. В этом случае необходимо определять несущую способность сваи на выдергивающую нагрузку F_{du} по формуле

$$F_{du} = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} h_i f_i , \quad (1.9)$$

где все обозначения, кроме γ_c , те же, что и в формуле (1.2);

γ_c - коэффициент условий работы; для свай, погружаемых в грунт на глубину менее 4 м, $\gamma_c = 0,6$; при погружении на глубину 4 м и более $\gamma_c = 0,8$.

Проверяют условие

$$\left| N_{f \min} \right| \leq \frac{F_{du}}{\gamma_k} . \quad (1.10)$$

В случае неудовлетворения этого условия изменяют те же параметры, что и при невыполнении условия (1.7). Кроме того, при возникновении выдергивающих нагрузок необходим расчет продольной арматуры сваи на растяжение и заделки сваи в ростверк.

Если все проверки нагрузок на сваи выполняются, то приступают к конструированию ростверка, т.е. в дополнение к ранее найденным размерам b_r, l_r, h_r назначают остальные параметры свайного ростверка. При этом конструктивные требования можно принять в соответствии с пособием [43].

Расстановка свай в ленточном свайном фундаменте производится одним из следующих способов. При первом способе для участка стены

длиной L , имеющего постоянную распределенную нагрузку на фундамент и одинаковые геометрические размеры, определяют суммарную расчетную нагрузку на весь участок $\sum N_I$. По формуле (1.4) определяют количество свай, а разделив длину рассматриваемого участка на количество свай, находят расстояние между осями свай $a = L/n$. Если вычисленный шаг свай a меньше утроенного размера сечения сваи ($a \leq 3b_p$), сваи располагают в два и более ряда в шахматном или рядовом порядке.

При втором способе определяют расчетную нагрузку в подошве ростверка на пог. м его длины N_I , кН/м. Шаг свай по длине ростверка

$$a = \frac{m_r P}{N_I}, \quad (1.11)$$

где m_r - принятое число рядов свай.

В поперечном направлении расстояние b между соседними рядами свай обычно принимается минимально возможным для данного вида свай.

Ширина ленточного ростверка, м:

$$b_r = h_I(m_r - 1) + b_p + 0,2, \quad (1.12)$$

где h_I - расстояние между осями крайних рядов свай, м.

Высоту ленточного ростверка h_r назначают согласно расчету на продавливание. Обычно по конструктивным соображениям $h_r \geq h_0 + 0,25$, но не менее 30 см. Здесь h_0 - величина заделки сваи в ростверк.

Для высоких зданий, передающих на основание значительные нагрузки, и при залегании в основании грунтов с низкими строительными свойствами под всем зданием устраивают плитный монолитный железобетонный ростверк по свайному полю. Количество свай определяют по формуле:

$$n = \frac{\sum N_I}{P},$$

где $\sum N_I$ - сумма расчетных нагрузок (постоянных и временных) от здания и веса ростверка.

Полученное количество свай расставляется под ростверком в рядовом или шахматном порядке.

7. Расчет железобетонных ростверков

Ленточные свайные ростверки в продольном направлении рассматриваются как неразрезные многопролетные балки, опертые на сваи. Давление на ростверк принимается распределенным по треугольнику или равномерно распределенным. Формы эпюр и значения давлений на ростверк зависят от вида нагрузок от вышележащих конструкций (эксплуатационные или возникающие в процессе строительства) и от типа конструкций стен (кирпичные, крупноблочные или из панелей). После того как определены нагрузки на ростверк, изгибающий момент и перерезывающие силы в сечении ростверка находят по общим правилам строительной механики. По усилиям, полученным в результате статического расчета ленточных ростверков под стены, проверяют прочность и подбирают продольную рабочую арматуру. Если ленточный ростверк опирается на два ряда свай, кроме его расчета в продольном направлении требуется и расчет в поперечном, при котором ростверк рассматривается как свободноопертая балка. При проектировании свайных фундаментов под здания с несущими стенами для расчета ленточных ростверков рекомендуется использовать справочное пособие по проектированию железобетонных конструкций [44], в котором представлены формулы для определений нагрузок на ростверки, изгибающих моментов на опоре и в пролете и перерезывающих сил в приопорном сечении, а также дан численный пример.

При проектировании железобетонных ростверков под колонны выполняют следующие расчеты на: продавливание колонной; продавливание угловой сваей; поперечную силу в наклонных сечениях; изгиб; местное сжатие под торцом сборной колонны; прочность стаканной части; раскрытие трещин. Эти расчеты рекомендуется производить с использованием пособия [27].

Расчеты плитных свайных ростверков производятся, как правило, с использованием конечно-элементных комплексов, например ЛИРА.

Расчеты по прочности фундаментов мелкого заложения и свайных ростверков имеют одно существенное различие, а именно, в расчетных схемах к подошве фундаментов как внешняя распределенная нагрузка прикладывается отпор грунта, а к подошве свайного ростверка сосредоточенные силы от свай. В силу этого, например, армирование подошвы ростверка, как правило, производится стержнями большего диаметра, чем армирование фундамента на естественном основании. Поэтому не рекомендуется использовать без соответствующих проверок типовые решения фундаментов мелкого заложения из типовых проектов зданий и сооружений в качестве ростверков при необходимости замены фундаментов мелкого заложения на свайные.

8. Расчет деформаций основания свайных фундаментов

Расчет осадок свайных фундаментов (расчет по второй группе предельных состояний) допускается выполнять с использованием расчетных схем, основанных на модели грунта как линейно деформируемой среды. При надлежащем обосновании допускается производить расчеты деформаций свайных фундаментов в нелинейной постановке с использованием апробированных моделей грунта и численных методов расчета.

Осадка большой группы висячих свай (свайного поля $n > 25$) может быть определена с использованием модели условного фундамента на естественном основании по формуле [21]

$$s = s_{ef} + \Delta s_p + \Delta s_c, \quad (1.13)$$

где s_{ef} - осадка условного фундамента;

Δs_p - дополнительная осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента;

Δs_c - дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай.

Границы условного фундамента определяются в соответствии с рис. 1.3.

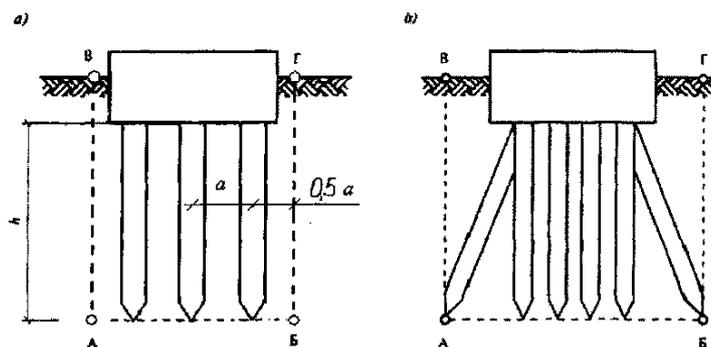


Рис. 1.3. Определение границ условного фундамента при расчете осадки свайных фундаментов

Расчет осадки условного фундамента производят методом послойного суммирования деформаций линейно-деформируемого основания с условным ограничением сжимаемой толщи по формуле (2.27). Вертикальное нормальное напряжение σ_{zp} подсчитывается только от действия нагрузки, приложенной к свайному фундаменту, т.е. вес грунта в пределах условного фундамента не учитывается.

Комбинированный свайно-плитный (КСП) фундамент, сочетающий сопротивление свай и плиты, применяется для уменьшения общей и неравномерной осадки сооружений.

Расчет комбинированного свайно-плитного фундамента должен включать [21]:

- определение усилий в элементах конструктивной системы (в рядовых и крайних сваях, а также в плите ростверка);
- определение перемещений конструктивной системы в целом и ее отдельных элементов;
- определение долей нагрузки, воспринимаемых сваями и объединяющей их плитой.

Осадка одиночной сваи, прорезающей слой грунта с модулем сдвига G_1 , МПа, коэффициентом Пуассона ν_1 и опирающейся на грунт с модулем сдвига G_2 и коэффициентом Пуассона ν_2 при условии $l/d > G_1/G_2d > 1$ (где l -

длина сваи, м, d - наружный диаметр поперечного сечения ствола сваи, м)
допускается производить:

а) для висячей сваи без уширения пяты по формуле:

$$s = \beta \frac{N}{G_1 l} \quad (1.14)$$

где N - вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, МН;

β - коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + \frac{1 - (\beta' / \alpha')}{\chi} \quad (1.15)$$

здесь $\beta' = 0,17 \ln(k_v G_1 l / G_2 d)$ - коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ($EA = \infty$);

$\alpha' = 0,17 \ln(k_{v1} l / d)$ - тот же коэффициент для случая однородного основания с характеристиками G_1 и v_1 ;

$\chi = EA / G_1 l^2$ - относительная жесткость сваи;

EA - жесткость ствола сваи на сжатие, МН;

λ_1 - параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола и определяемый по формуле

$$\lambda_1 = \frac{2,12 \chi^{3/4}}{1 + 2,12 \chi^{3/4}} \quad (1.16)$$

k_v, k_{v1} - коэффициенты, определяемые по формуле

$$k_v = 2,82 - 3,78v + 2,18v^2 \quad (1.17)$$

соответственно при $v = (v_1 + v_2)/2$ и при $v = v_1$

б) для одиночной сваи с уширением пяты или сваи-стойки

$$s = \frac{0,22N}{G_2 d_b} + \frac{Nl}{EA}, \quad (1.18)$$

где d_b - диаметр уширения сваи.

Коэффициент Пуассона допускается принимать равным для грунтов: крупнообломочных 0,27, песков и супесей 0,30, суглинков 0,45, глин 0,42.

Характеристики G_1 и ν_1 принимаются осредненными для всех слоев грунта в пределах глубины погружения свай, а G_2 и ν_2 - в пределах $0,5l$, т.е. на глубинах от l до $1,5l$ от верха свай, при условии, что под нижними концами свай отсутствуют глинистые грунты текучей консистенции, органоминеральные и органические грунты.

Модуль сдвига грунта $G = E_0/2(1 + \nu)$ допускается принимать равным $0,4E_0$, а коэффициент k_ν равным $2,0$ (где E_0 - модуль общей деформации).

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

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (1.19)$$

где A - площадь поперечного сечения свай.

При расчете осадок группы свай (свайного куста) необходимо учитывать их взаимное влияние. Дополнительная осадка свай, находящейся на расстоянии a (расстояние измеряется между осями свай) от свай, к которой приложена нагрузка N , равна

$$s_{ad} = \delta \frac{N}{G_1 l}, \quad (1.20)$$

где

$$\delta = \begin{cases} 0,17 \ln \frac{k_\nu G_1 l}{2G_2 a}, & \text{если } \frac{k_\nu G_1 l}{2G_2 a} > 1; \\ 0, & \text{если } \frac{k_\nu G_1 l}{2G_2 a} \leq 1. \end{cases} \quad (1.21)$$

Расчет осадки i -й свай в группе из n свай при известном распределении нагрузок между сваями производится по формуле

$$s_i = s(N_i) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_j}{G_1 l}, \quad (1.22)$$

где $s(N)$ - осадка одиночной свай, определяемая по формуле (1.14);

δ_{ij} - коэффициенты, рассчитываемые по формуле (1.21) в зависимости от расстояния между i -й и j -й сваями;

N_j - нагрузка на j -ю сваю.

Расчет свай по деформациям на совместное действие вертикальной и горизонтальной сил и момента следует выполнять в соответствии с прил. «В» СП 24.13330.2011 [21].

9. Определение типа армирования свай

Тип армирования, а следовательно, и марка сваи определяются ее расчетом по прочности материала. При низком ростверке свая рассматривается [21] как стержень, жестко защемленный в грунте в сечении, расположенном от подошвы на расстоянии l_1 , определяемом по формуле

$$l_1 = 2 / \alpha_\varepsilon, \quad (1.23)$$

где α_ε – коэффициент деформации, 1/м,

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{K_{вп}}{EI}}, \quad (1.24)$$

В этой формуле:

v_p – условная ширина сваи, м, принимаемая равной:

для свай оболочек, а также свай-столбов, набивных и буровых свай с диаметром стволов от 0,8м и более $v_p=(d+1)$ м, а для остальных видов и размеров сечений свай $v_p=(1,5d+0,5)$ м;

d – наружный диаметр круглого или сторона квадратного или сторона прямоугольного сечения сваи в плоскости, перпендикулярной действию нагрузки, м;

E –модуль упругости бетона сваи, принимаемый равным для классов бетона В15; В20 и В25, соответственно, 24.0; 27.5 и 30.0 кПа · 10⁶;

I – момент инерции поперечного сечения сваи, м⁴, для свай квадратного сечения $I = d^4/12$;

K – коэффициент пропорциональности, кН/м⁴, принимаемый в зависимости от вида грунта, окружающего сваю (прил.15).

Если в пределах глубины l_k , отсчитываемой от подошвы низкого ростверка

$$l_k = 3,5d + 1,5m, \quad (1.25)$$

расположено два слоя грунта, то приведенное значение K определяют по формуле

$$K = \frac{k_1 h_1 (2l_k - h_1) + k_2 (l_k - h_1)^2}{k_k^2}, \quad (1.26)$$

где h_1 – толщина первого (верхнего) слоя грунта, м;

K_1 и K_2 – коэффициенты пропорциональности, принимаемые по прил. 15, для грунтов 1-го и 2-го слоев.

Проверка сечений свай по сопротивлению материала по предельным состояниям первой и второй групп (по прочности, по образованию и раскрытию трещин) на совместное действие расчетных усилий – вертикальной силы, изгибающего момента и поперечной силы производится с учетом двух стадий напряженно-деформированного состояния системы «свая-грунт». В первой стадии грунт, окружающий сваю, рассматривается как упругая линейно-деформируемая среда, характеризуемая коэффициентом постели. Во второй стадии в верхней части грунта, окружающую сваю, образуется зона предельного равновесия (пластическая зона).

При проведении расчетов допускается применение компьютерных программ, описывающих механическое взаимодействие балок и упругого основания (балка на упругом основании). При этом грунт, окружающий сваю, допустимо рассматривать как упругую линейно-деформируемую среду, характеризуемую коэффициентом постели C_z , возрастающим с глубиной.

Для забивных висячих свай, жестко заделанных в низкий ростверк, порядок расчета допускается упростить и тип армирования определять по значению изгибающего момента в месте сопряжения сваи с ростверком в предположении упругой стадии. Расчетный момент заделки M , учитываемый при одностадийном расчете свай, имеющих жесткую заделку в низкий ростверк, который обеспечивает невозможность поворота головы сваи, в

инженерных расчетах рекомендуется определять по преобразованной формуле прил. В СП 24.13330.2011 [41]

$$M = \frac{H \cdot B_0}{\alpha_\varepsilon \cdot C_0} . \quad (1.27)$$

Здесь и далее H и N – горизонтальная и вертикальная силы, действующие на сваю в уровне подошвы ростверка.

B_0 и C_0 – безразмерные коэффициенты, принимаемые по прил. 16, в зависимости от приведенной глубины $\bar{l} = \alpha_\varepsilon l$ (l – действительная глубина погружения сваи в грунт от подошвы ростверка).

Сжимающая сила N в сечениях сваи определяется по формуле (1.5) с учетом собственного веса сваи. Горизонтальная сила H равна горизонтальной нагрузке на свайный фундамент, деленной на количество свай n под ростверком, $H = Q/n$.

Тип армирования допускается определять с использованием найденных значений M и N по графикам на 30 страницах, представленным в серии 1.011.1-10 [45]. Графики составлены на основе расчетов ствола сваи на внецентренное сжатие по прочности и раскрытию трещин в соответствии с требованиями норм по проектированию железобетонных конструкций. Пользоваться графиками можно при заданных значениях: размеров сечения сваи, класса бетона и допустимой ширины раскрытия трещин $a_{\text{ср}1}=0,2$ мм и $a_{\text{ср}2}=0,1$ мм. В качестве примера в приложениях 38-41 представлены графики для определения типа армирования свай сплошного квадратного сечения 30×30 см обычной ударостойкости. Такие сваи по серии 1.011.1-10 [45] при длине 3-7 м изготавливаются из бетона класса В15, а при длине 8-12 м из бетона класса В20. В прил.21 представлены графики для определения типа армирования для свай 30×30 см повышенной ударостойкости из бетона В25. Допустимая ширина раскрытия трещин в приведенных графиках принята $a_{\text{ср}}=0,2$ мм.

Порядок использования графиков следующий. На начальном этапе принимаются наименьшие значения класса бетона и типа армирования сваи.

На графиках определяют положение точки с координатами М и N для принятого класса бетона. Если точка с координатами М и N лежит ниже нижней кривой, то принимают минимальное армирование, если между кривыми – то ближайший по верхней кривой. Если точка с координатами М и N лежит выше всех кривых, а также если значения М и N выходят за пределы, приведенные на графиках, то возможно применение свай повышенной ударостойкости с более высоким типом армирования или свай большого сечения по графикам, представленным в серии 1.011.1-10 [45]. По согласованию с организацией, изготавливающей сваи, допускается увеличивать поперечное сечение арматуры и принимать другой класс арматуры и бетона, по сравнению с серией [45], если это требуется по расчету.

10 Пример проектирования фундаментов из забивных свай под колонну промышленного здания

10.1. Для проектирования свайных фундаментов приняты следующие исходные данные.

Место строительства г. Воронеж. Обобщенные физико-механические характеристики грунтов, необходимые для рассматриваемого примера, представлены в табл.1.3.

Необходимо запроектировать вариант свайных фундаментов для одноэтажного двухпролетного производственного здания, имеющего полный железобетонный каркас. Для такого здания предельная осадка $S_u=10\text{см}$; предельный крен не нормируется. Фундамент проектируется под типовую сборную двухветвевую колонну крайнего ряда с размерами $l_c \times b_c = 1000 \times 500\text{мм}$, шаг колонн 6 м, отметка пяты колонны – 1,050.

Таблица 1.3

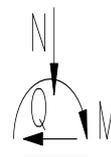
№ слоя ИГЭ	Наименование грунта	Мощность слоя, м	$\rho_{ц}$, т/м ³	I_L	e	v	G, кПа	E, кПа
ИГЭ-1	Суглинок полутвердый, непросадочный	7,0	1,74	0,23	0,68	0,35	4074	11000
ИГЭ-2	Песок пылеватый, маловлажный, ср. плотности	>8,0	1,75	-	0,60	0,30	6923	18000

Усилия от колонны в обресе фундамента от действия постоянных, а также длительных и кратковременных нагрузок на отметке – 0,150 представлены в табл.1.4.

Таблица 1.4

Нагрузки в обресе фундамента

Группа предельного состояния, в которой используются нагрузки	Номер сочетания	Значения усилий (знак + соответствует следующим направлениям)		
		M, кНм	N, кН	Q, кН
I (первая)	3	78	545	31
	4	-609	907	-76
II (вторая)	1	43	472	19
	2	-503	802	-59



На фундамент передается также нагрузка от кирпичной стены толщиной $b_0 = 0,51$ м. Значение нагрузки от веса стены для расчета по

деформациям $G_{II} = 614 \text{ кН}$, а для расчета по несущей способности $G_I = 614 \times 1,1 = 675 \text{ кН}$.

10.2. В рассматриваемых местных условиях для проектируемого здания можно использовать практически все виды свай. В качестве варианта запроектируем фундаменты из забивных железобетонных цельных свай квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой по серии 1.011.1-10. Размеры поперечного сечения сваи принимаем $30 \times 30 \text{ см}$.

Высоту ростверка из конструктивных соображений назначаем $1,5 \text{ м}$. Тогда при отметке планировки $- 0,150$ отметка подошвы будет $- 1,650$, а толщина дна стакана $0,5 \text{ м}$, что больше минимальной, равной $0,25 \text{ м}$. Так как на ростверк действуют горизонтальные силы и моменты, предусматриваем жесткое сопряжение ростверка со сваями путем заделки свай в ростверк на 50 см . Из них 40 см составляют выпуски арматуры, а 10 см непосредственная заделка (см. рис.1.2, узел А). Тогда условная отметка головы сваи будет $- 1,150$.

Отметку острия сваи назначаем в зависимости от грунтовых условий строительной площадки. В качестве несущего пласта выбираем песок пылеватый, кровля которого находится на глубине $7,0 \text{ м}$ (отметка $- 7,150$). Сваи заглубляем в этот слой на $1,0 \text{ м}$, тогда отметка нижнего конца сваи будет $- 8,150$. Длину сваи определяем как разность между отметками головы и нижнего конца: $L = 8,150 - 1,150 = 7,0 \text{ м}$. Если вычисленная длина сваи не совпадет с размерами, указанными в прил.11, то увеличивают заглубление в несущий слой так, чтобы длина сваи L получилась стандартной. На начальном этапе принимаем сваю С70.30-4 с наименьшим возможным армированием, рекомендуемым по серии [29].

Так как свая опирается на сжимаемые грунты, то она относится к висячим.

10.3. Несущую способность забивной висячей сваи F_d определяем по формуле (1.2). В этой формуле:

$\gamma_c = 1$; $\gamma_{CR} = \gamma_{cf} = 1$ при погружении сплошной сваи дизель молотом (прил.14); $A = 0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ м}^2$; $u = 4 \times 0,3 = 1,2 \text{ м}$; $R = 1433 \text{ кПа}$ при заглублении сваи в песок пылеватый на $z_0 = 8 \text{ м}$ (прил.12).

Для определения f_i грунт на боковой поверхности сваи разделяем на однородные слои толщиной не более 2 м (рис.1.2). Находим средние глубины расположения слоев грунта (расстояния от середины слоев до уровня природного рельефа) z_i . По прил.13 в зависимости от показателя текучести суглинка ($I_L = 0,23$) и наименования песка (песок пылеватый средней плотности) определяем по интерполяции значения расчетных сопротивлений грунта на боковой поверхности:

$$h_1 = 2,0 \text{ м}; z_1 = 2,5 \text{ м}; \text{ суглинок } I_L = 0,23; f_1 = 41 \text{ кПа};$$

$$h_2 = 2,0 \text{ м}; z_2 = 4,5 \text{ м}; \text{ суглинок } I_L = 0,23; f_2 = 49 \text{ кПа};$$

$$h_3 = 1,5 \text{ м}; z_3 = 6,25 \text{ м}; \text{ суглинок } I_L = 0,23; f_3 = 55 \text{ кПа};$$

$$h_4 = 1,0 \text{ м}; z_4 = 7,5 \text{ м}; \text{ песок пылеватый}; f_4 = 32 \text{ кПа}.$$

Подставляя найденные значения в формулу (1.2), получим:

$$F_d = 1/[1 \cdot 1433 \cdot 0,09 + 1 \cdot 1,2 (2 \cdot 41 + 2 \cdot 49 + 1,5 \cdot 55 + 1 \cdot 32)] = 482 \text{ кН}.$$

10.4. Определяем нагрузку, допускаемую на сваю, по формуле (1.3)

$$P = \frac{482}{1,4} = 344 \text{ кН}.$$

Вертикальная сила в обрезе ростверка складывается из расчетного веса стены 675 кН и максимальной для 3 и 4 сочетаний (см.табл.2.4) нагрузки от колонны $\max(N_3, N_4)$.

$$\Sigma N_l = 675 + 907 = 1582 \text{ кН}.$$

Количество свай в кусте в первом приближении вычисляем по формуле (1.4)

$$n = \frac{1582 + 158,2}{344} \cdot 1,2 = 6,1.$$

Принимаем 6 свай. Располагаем их в два ряда, расстояние между осями свай назначаем минимальным – $3d = 3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ м}$ (рис.1.4)

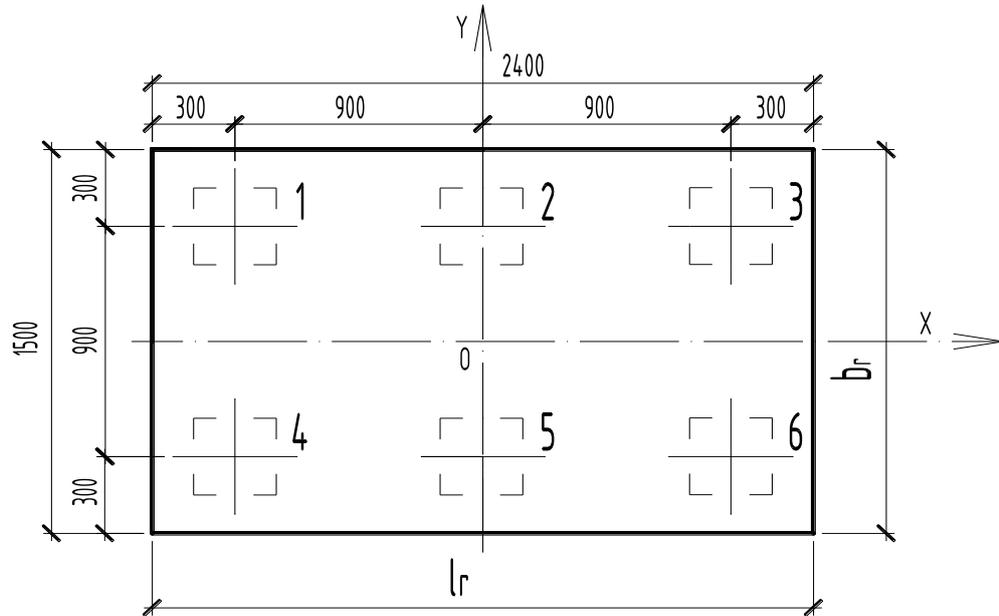


Рис.1.4. Схема куста свай

Определим усилия в подошве ростверка в обоих сочетаниях для расчета по первой группе предельных состояний. Вертикальная нагрузка N_{dl} складывается из веса стены, ростверка и вертикальной силы от колонны, а момент M_{YI} - из момента от веса стены, момента от колонны и момента от горизонтальной силы Q_I , приложенной в обресе ростверка.

Уточненный вес ростверка по формуле (1.6)

$$G_{lr} = 1,1 \cdot 2,4 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 20 = 119 \text{ кН.}$$

Нагрузки для 3-го сочетания согласно формуле (1.5)

$$N_{dl3} = 545 + 675 + 119 = 1339 \text{ кН;}$$

$$|M_{YI3}| = |78 + 31 \cdot 1,5 - 675(0,51 + 1,0)0,5| = 634 \text{ кНм;}$$

$$N_{lf3} = \frac{1339}{6} \pm \frac{634}{4} \frac{0,9}{0,9^2} = 223 \pm 176 \text{ кН;}$$

$$N_{lf3max} = 399 \text{ кН; } N_{lf3min} = 47 \text{ кН.}$$

Нагрузки для 4-го сочетания

$$N_{d14} = 907 + 675 + 119 = 1701 \text{ кН;}$$

$$|M_{YI4}| = |-609 - 76 \cdot 1,5 + 675(0,51 + 1,0)0,5| = 214 \text{ кНм};$$

$$N_{If4} = \frac{1701}{6} \pm \frac{214}{4} \frac{0,9}{0,9^2} = 284 \pm 60 \text{ кН};$$

$$N_{If4max} = 344 \text{ кН}; \quad N_{If4min} = 224 \text{ кН}.$$

В соответствии с СП 24.13330.2011 [41] к фактической нагрузке N_{If} необходимо добавить собственный вес сваи с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$. В данном примере подобрана свая С70.30. Масса такой сваи составляет 1,6 т (см. прил. 11), а вес 16 кН. Окончательно получаем:

$$N'_{If3max} = 399 \text{ кН} + 1,1 \cdot 16 \text{ кН} = 399 + 18 = 417 \text{ кН};$$

$$N'_{If3min} = 47 + 18 = 65 \text{ кН};$$

$$N'_{If4max} = 344 + 18 = 362 \text{ кН};$$

$$N'_{If4min} = 224 + 18 = 242 \text{ кН}.$$

Наибольшая из максимальных фактических нагрузок на сваю в обоих сочетаниях составляет 417 кН. Перегруз сваи по формуле (1.8)

$$\Delta = \frac{417 - 344}{417} 100\% = 17,5\%,$$

что меньше допустимого при учете кратковременных нагрузок. Условие (1.7) выполняется

$$\Delta = 17,5\% < 20\%.$$

В обоих сочетаниях минимальные фактические нагрузки на сваю 65 и 242 кН больше нуля. Следовательно, выдергивающие нагрузки отсутствуют. Таким образом, выбранное количество свай С70.30 удовлетворяет расчетам по несущей способности грунта основания.

10.5. При расчете средней осадки куста свай принимаем что сваи равномерно загружены вертикальными силами $N = \max (N_{If4} = 284 + 18 = 302 \text{ кН}; N_{If3} = 223 + 18 = 243 \text{ кН}) = 302 \text{ кН}$.

В запас надежности используем расчетные значения нагрузок. Осадку определяем для сваи №2, испытывающую наибольшее влияние соседних свай.

Свая с рабочей длиной $l=6.5$ м (см. рис. 1.2) прорезает суглинок ИГЭ-1 мощностью $h_1=5.5$ м, с коэффициентом Пуассона $\nu_1=0.35$, модулем сдвига $G_1=E_1/2(1+\nu_1)=11000/2(1+0.35)=4074$ кПа, а также прорезает песок пылеватый ИГЭ-2 толщиной $h_2=1$ м, с коэффициентом Пуассона $\nu_2=0.3$, модулем сдвига $G_2=E_2/2(1+\nu_2)=18000/2(1+0.3)=6923$ кПа.

Осредненные характеристики в пределах глубины погружения сваи:

$$\nu=(0,35*5,5+0,3*1,0)/(5,5+1,0)=0,34;$$

$$G=(4074*5.5+6923*1.0)/(5.5+1.0)=4512 \text{ кПа.}$$

Опорным слоем для свай служит песок пылеватый с характеристиками $\nu_2=0.3$, $G_2=6923$ кПа.

Вначале определим осадку одиночной сваи, последовательно вычисляя необходимые параметры по формулам (1.14-1.17).

Коэффициент k_ν при $\nu = (\nu_1 + \nu_2)/2 = (0,34+0,3)/2=0,32$

$$k_\nu = 2,82 - 3,78*0,32 + 2,18*0,32^2 = 1.83.$$

Коэффициент $k_{\nu_1} = 2,82 - 3,78*0,34 + 2,18*0,34^2 = 1.78.$

$$\beta' = 0,17 \ln(1.83*4512*6,5/6923*0,3) = 0,55;$$

$$\alpha' = 0,17 \ln(1.78*6,5/0,3) = 0,62;$$

$$\chi = 24*10^6*0,3^2/4512*6,5^2 = 11,33,$$

где модуль упругости E принят для тяжелого бетона класса В15 равным $24*10^6$ кПа по табл. 6.11 СП 63.13330.2012 [27].

$$\beta = \frac{0,55}{0,93} + \frac{1 - (0,55/0,62)}{11,33} = 0,60$$

$$\lambda_1 = \frac{2,12 * 11,33^{3/4}}{1 + 2,12 * 11,33^{3/4}} = 0,93$$

Осадка одиночной сваи №2:

$$s = 0,6 \frac{302}{4512 * 6,5} = 0,006 \text{ м} = 0,6 \text{ см}$$

Для учета влияния на осадку сваи №2 соседних свай, находящихся от нее на расстояниях:

сваи №1 и №3 $a=0,9$ м

свая №5 $a=0,9м$

сваи №4 и №6 $a = \sqrt{0,9^2 + 0,9^2} = 1,27м,$

вычисляем необходимые параметры по формулам (1.20-1.22).

Для свай №1, №3 и №5:

$$\frac{k_v G_1 l}{2G_2 a} = \frac{1,83 * 4512 * 6,5}{2 * 6923 * 0,9} = 4,3 > 1$$

$$\text{Тогда } \delta_{1,3,5} = 0,17 \ln 4,3 = 0,3$$

Для свай №4 и №6:

$$\frac{k_v G_1 l}{2G_2 a} = \frac{1,83 * 4512 * 6,5}{2 * 6923 * 1,27} = 3,05 > 1$$

$$\text{Тогда } \delta_{4,6} = 0,17 \ln 3,05 = 0,19$$

Дополнительная осадка сваи №2 от свай №1, №3 и №5:

$$s_{1,3,5} = 3 * \delta_{1,3,5} \frac{N}{G_1 l} = 3 * 0,3 * 302 / (4512 * 6,5) = 0,009м = 0,9м,$$

Дополнительная осадка сваи №2 от свай №4 и №6:

$$s_{4,6} = 2 * \delta_{4,6} \frac{N}{G_1 l} = 2 * 0,19 * 302 / (4512 * 6,5) = 0,004м = 0,4м,$$

Осадка сваи №2 с учетом влияния всех других свай в кусте:

$$S_2 = 0,6 + 0,9 + 0,4 = 1,9см.$$

Условие расчета по деформациям выполняется.

$$S_2 = 1,9см < S_u = 10см.$$

10.6 Определяем тип армирования, последовательно вычисляя необходимые параметры.

Глубина l_k по формуле (1.16)

$$l_k = 3,5 * 0,3 + 1,5 = 2,55м.$$

В ее пределах находится только грунт ИГЭ-1 – суглинок полутвердый с показателем текучести $I_L = 0,23$. По прил.15 коэффициент пропорциональности $K = 500 + \frac{8000 - 5000}{0,5 - 0} (0,23 - 0) = 6380кН / м^4$

Условная ширина сваи

$$v_p = 1,5 \cdot 0,3 + 0,5 = 0,95 \text{ м.}$$

Сваи обычной ударостойкости сечением 30×30 см и длиной 7 м изготавливают из бетона класса В15 с модулем упругости $E=24000000$ кПа (см. пункт 1.1).

Момент инерции поперечного сечения сваи

$$I = \frac{0,3^4}{12} = 0,000675 \text{ м}^4$$

Коэффициент деформации

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{6380 \cdot 0,95}{24000000 \cdot 0,000675}} = 0,821 \text{ 1/м}$$

Для сочетания №3, горизонтальная сила, действующая на каждую сваю в уровне подошвы ростверка

$$H_3 = \frac{Q_{I3}}{n} = \frac{31}{6} = 5,17 \text{ кН}$$

Для сочетания №4

$$H_4 = \frac{Q_{I4}}{n} = \frac{76}{6} = 12,67 \text{ кН}$$

При действительной глубине погружения сваи в грунт от подошвы ростверка $l = 7 - 0,5 = 6,5$ м, приведенная глубина $\bar{l} = \alpha_\varepsilon l = 0,821 \cdot 6,5 = 5,33$. По прил. 16 значения коэффициентов $B_0 = 1,621$; $C_0 = 1,751$.

Для третьего сочетания момент в заделке по формуле (1.18)

$$M_3 = \frac{5,17 \cdot 1,621}{0,821 \cdot 1,751} = 6 \text{ кН/м.}$$

Для четвертого сочетания

$$M_4 = \frac{12,67 \cdot 1,621}{0,821 \cdot 1,751} = 14,29 \text{ кН/м.}$$

Вертикальные силы для третьего сочетания

- на крайние сваи $N_{fI3 \max} = 417$ кН, $N_{fI3 \min} = 65$ кН,
- на средние сваи $N_{fI3} = 241$ кН.

Для четвертого сочетания

$$N_{fI4 \max} = 362 \text{ кН}; N_{fI4 \min} = 242 \text{ кН}; N_{fI4} = 302 \text{ кН.}$$

Более неблагоприятным из двух сочетаний в данном случае является четвертое. Определяют положение точек с координатами $O_1 (242; 14,29)$, $O_2 (302; 14,29)$, $O_3 (362; 14,29)$ на графиках приложения 38. Убеждаемся, что все они лежат ниже нижней кривой. Следовательно в рассматриваемом примере с учетом параметров, устанавливаемых серией 1.011.1-10 (см. прил.11), принимаем для сваи длиной 7м наиболее низкий тип армирования – четвертый. Таким образом запроектированный свайный фундамент состоит из куста 6 свай сплошного квадратного сечения 30×30 см, длиной 7м, четвертого типа армирования, $4\emptyset 12A_I (A240)$ из бетона класса В15 обычной ударостойкости. Рабочие чертежи сваи марки С 70.30-4 представлены в серии 1.011.1-10 выпуск 1 «Сваи цельные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой» [29].

Приложения

Приложение 1

Подразделение крупнообломочных грунтов и песков по гранулометрическому составу

Разновидность грунтов	Размер частиц d , мм	Содержание частиц, % по массе
Крупнообломочные:		
— валунный (при преобладании неокатанных частиц — глыбовый)	>200	>50
— галечниковый (при неокатанных гранях — щебенистый)	>10	>50
— гравийный (при неокатанных гранях — дресвяный)	>2	>50
Пески:		
— гравелистый	>2	>25
— крупный	$>0,50$	>50
— средней крупности	$>0,25$	>50
— мелкий	$>0,10$	≥ 75
— пылеватый	$>0,10$	<75

Примечание — при наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40 % или глинистого заполнителя более 30 % от общей массы воздушно-сухого грунта в наименовании крупнообломочного грунта добавляется наименование вида заполнителя и указывается характеристика его состояния. Вид заполнителя устанавливается после удаления из крупнообломочного грунта частиц крупнее 2 мм.

Приложение 2

Подразделение глинистых грунтов по числу пластичности

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I_p
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

Подразделение глинистых грунтов по числу пластичности и гранулометрическому составу

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности и $I_p, \%$	Содержание песчаных частиц (2-0,5 мм), % по массе
Супесь:		
— песчанистая	$1 \leq I_p \leq 7$	≥ 50
— пылеватая	$1 \leq I_p \leq 7$	< 50
Суглинок:		
— легкий песчанистый	$7 < I_p \leq 12$	≥ 40
— легкий пылеватый	$7 < I_p \leq 12$	< 40
— тяжелый песчанистый	$12 < I_p \leq 17$	≥ 40
— тяжелый пылеватый	$12 < I_p \leq 17$	< 40
Глина:		
— легкая песчанистая	$17 < I_p \leq 27$	≥ 40
— легкая пылеватая	$17 < I_p \leq 27$	< 40
—тяжелая	$I_p > 27$	Не регламентируется

Подразделение глинистых грунтов по показателю текучести

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести I_L
Супесь:	
— твердая	$I_L < 0$
— пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
—текучая	$I_L > 1$
Суглинки и глины:	
— твердые	$I_L < 0$
— полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
— тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,50$
— мягкопластичные	$0,50 < I_L \leq 0,75$
— текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,00$
— текучие	$I_L > 1,00$

Подразделение крупнообломочных грунтов и песков по коэффициенту водонасыщения S_r

Разновидность грунтов	Коэффициент водонасыщения S_r
Малой степени водонасыщения (маловлажные)	$0 < S_r \leq 0,50$
Средней степени водонасыщения (влажные)	$0,50 < S_r \leq 0,80$
Насыщенные водой (водонасыщенные)	$0,80 < S_r \leq 1,00$

Подразделение песчаных грунтов по коэффициенту пористости

Разновидность песков	Коэффициент пористости e		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	$e < 0,55$	$e < 0,60$	$e < 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

Нормативные значения модуля деформации
глинистых нелессовых грунтов

Происхождение и возраст грунтов	Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести	Модуль деформации грунтов E, МПа, при коэффициенте пористости e, равном						
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,8	0,95	1,05
Четвертичные Аллювиальные Делювиальные Озерные Озерно-аллювиальные	Супеси $0 \leq I_L \leq 0,75$	32	24	16	10	7	-	-
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	34	27	22	17	14	11	-
	Суглинки $0,25 < I_L \leq 0,5$	32	25	19	14	11	8	-
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	17	12	8	6	5
	Глины $0 \leq I_L \leq 0,25$	-	28	24	21	18	15	12
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	-	-	21	18	15	12	9
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	-	15	12	9	7
Четвертичные Флювиогляциальные	Супеси $0 \leq I_L \leq 0,75$	33	24	17	11	7	-	-
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	40	32	27	21	-	-	-
	Суглинки $0,25 < I_L$	35	28	22	17	14	-	-
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	-	-	17	13	10	7	-

Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа,
угла внутреннего трения φ_n , град. и модуля деформации E, МПа,
песчаных грунтов четвертичных отложений

Песчаные грунты	Обозначения характеристик грунтов	Характеристика грунтов при коэффициенте пористости e, равном			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c_n	2	1	-	-
	φ_n	43	40	38	-
	E	50	40	30	-
Средней крупности	c_n	3	2	1	-
	φ_n	40	38	35	-
	E	50	40	30	-
Мелкие	c_n	6	4	2	-
	φ_n	38	36	32	28
	E	48	38	28	18
Пылеватые	c_n	8	6	4	2
	φ_n	36	34	30	26
	E	39	28	18	11

Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа,
 угла внутреннего трения φ_n , град.,
 глинистых нелессовых грунтов четвертичных отложений

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести	Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном							
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c_n	21	17	15	13	-	-	-
		φ_n	30	29	27	24	-	-	-
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c_n	19	15	13	11	9	-	-
		φ_n	28	26	24	21	18	-	-
Суглинки	$0 < I_L \leq 0,25$	c_n	47	37	31	25	22	19	-
		φ_n	26	25	24	23	22	20	-
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_n	39	34	28	23	18	15	-
		φ_n	24	23	22	21	19	17	-
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c_n	-	-	25	20	16	14	12
		φ_n	-	-	19	18	16	14	12
Глины	$0 < I_L \leq 0,25$	c_n	-	81	68	54	47	41	36
		φ_n	-	21	20	19	18	16	14
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c_n	-	-	57	50	43	37	32
		φ_n	-	-	18	17	16	14	11
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c_n	-	-	45	41	36	33	29
		φ_n	-	-	15	14	12	10	7

Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства

Сооружения	Предельные деформации основания		
	Относительная разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Крен i_u	Максимальная s_u^{\max} или средняя \bar{s}_u осадка, см
1 Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом: железобетонным то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции стальным то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий	0,002	-	10
	0,003	-	15
	0,004	-	15
	0,005	-	18
2 Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	-	20
3 Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из: крупных панелей крупных блоков или кирпичной кладки без армирования то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0,0016	-	12
	0,0020	-	12
	0,0024	-	18
4 Сооружения элеваторов из железобетонных конструкций: рабочее здание и силосный корпус монолитной конструкции на одной фундаментной плите то же, сборной конструкции отдельно стоящий силосный корпус монолитной конструкции то же, сборной конструкции	-	0,003	40
	-	0,003	30
	"	0,004	40
	-	0,004	30

Параметры свай сплошного квадратного сечения обычной ударостойкости

Марка свай	Длина свай, м	Сечение свай, см	Тип армирования	Масса свай, т
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
С 30.20	3	20x20	1-3	0,33
С 40.20	4	20x20	1-2	0,43
С 50.20	5	20x20	1-6	0,53
С 60.20	6	20x20	1-6	0,63
С 30.25	3	25x25	1-3	0,50
С 40.25	4	25x25	1-3	0,65
С 50.25	5	25x25	1-6	0,80
С 60.25	6	25x25	1-6	0,95
С 30.30	3	30x30	1-3	0,70
С 40.30	4	30x30	1-3	0,93
С 50.30	5	30x30	1-6	1,15
С 60.30	6	30x30	2-8	1,38
С 70.30	7	30x30	4-9	1,60
С 80.30	8	30x30	4-11	1,83
С 90.30	9	30x30	5-11	2,05
С 100.30	10	30x30	6-13	2,28
С 110.30	11	30x30	8-13	2,50
С 120.30	12	30x30	8-13	2,73
С 40.35	4	35x35	1-3	1,30
С 50.35	5	35x35	1-3	1,50
С 60.35	6	35x35	1-3;6	1,90
С 70.35	7	35x35	4-6; 8-10	2,20
С 80.35	8	35x35	5,6,8-11	2,50
С 90.35	9	35x35	5,6,8-12	2,80
С 100.35	10	35x35	6,8-13	3,10
С 110.35	11	35x35	8-13	3,43
С 120.35	12	35x35	8-13	3,73
С 130.35	13	35x35	8-13	4,03
С 140.35	14	35x35	9-13	4,33
С 150.35	15	35x35	10-13	4,65
С 160.35	16	35x35	10-13	4,95
С 40.40	4	40x40	1,2,5,6	1,65
С 50.40	5	40x40	1,2,5,6	2,05
С 60.40	6	40x40	1,2,5-8	2,45
С 70.40	7	40x40	5,6,8-12	2,85
С 80.40	8	40x40	5,6,8-13	3,25
С 90.40	9	40x40	5,6,8-13	3,65

1	2	3	4	5
C 100.40	10	40x40	6,8-13	4,05
C 110.40	11	40x40	8-13	4,45
C 120.40	12	40x40	8-13	4,85
C 130.40	13	40x40	9-13	5,25
C 140.40	14	40x40	9-13	5,65
C 150.40	15	40x40	10-13	6,05
C 160.40	16	40x40	11-13	6,45

Примечание. Для удобства тип армирования в таблице представлен в сжатой форме. Например, сваи длиной 6 м сечением 35x35 см. имеют маркировку C 60.35-1; C 60.35-2; C 60.35-3; C 60.35-6

Приложение 12

Расчетные сопротивления под нижним концом забивных свай

Глубина погружения нижнего конца свай, z_0 , м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, R , кПа							
	песчаных грунтов 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	

Над чертой даны значения R для песчаных грунтов, под чертой - для глинистых.

Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных свай

Средняя глубина расположения слоя грунта, z_i , м	Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных свай и свай-оболочек f_i , кПа									
	песчаных грунтов средней плотности									
	крупных и средней крупности	мелких	пылеватых	-	-	-	-	-	-	-
	глинистых грунтов при показателе 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	
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7	
≥ 35	100	70	50	36	22	13	9	8	7	

Коэффициенты условий работы для расчета несущей способности забивных свай

Способы погружения забивных свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, и виды грунтов	Коэффициенты условий работы грунта при расчете несущей способности свай	
	под нижним концом γ_{cR}	на боковой поверхности γ_{cf}
1. Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механическими (подвесными), паровоздушными и дизельными молотами	1,0	1,0
2. Погружение забивкой и вдавливанием в предварительно пробуренные лидерные скважины с заглублением концов свай не менее 1 м ниже забоя скважины при ее диаметре:		
а) равном стороне квадратной сваи;	1,0	0,5
б) на 0,05 м менее стороны квадратной сваи	1,0	0,6
3. Погружение с подмывом в песчаные грунты при условии добивки свай на последнем этапе погружения без применения подмыва на 1 м и более	1,0	0,9
4. Вибропогружение и вибровдавливание свай в грунты:		
а) в пески средней плотности крупные, средней крупности;	1,2	1,0
б) мелкие;	1,1	1,0
в) пески пылеватые;	1,0	1,0
г) глинистые грунты с показателем текучести $I_L < 0$	1,0	1,0

Значения коэффициентов пропорциональности

Грунты, окружающие сваю, и их характеристики	Коэффициент пропорциональности K , кН/м ⁴ , для свай	
	забивных	набивных, буровых, свай-оболочек и свай-столбов
Глины и суглинки текучепластичные ($0,75 < I_L \leq 1$)	650-2500	500-2000
Глины и суглинки мягкопластичные ($0,5 < I_L \leq 0,75$); супеси пластичные ($0 \leq I_L \leq 1$); пески пылеватые ($0,6 \leq e \leq 0,8$)	2500-5000	2000-4000
Глины и суглинки тугопластичные и полутвердые ($0 \leq I_L \leq 0,5$); супеси твердые ($I_L < 0$); пески мелкие ($0,6 \leq e \leq 0,75$); пески средней крупности ($0,55 \leq e \leq 0,7$)	5000-8000	4000-6000
Глины и суглинки твердые ($I_L < 0$); пески крупные ($0,55 \leq e \leq 0,7$)	8000-13000	6000-10000
Пески гравелистые ($0,55 \leq e \leq 0,7$); гравий и галька с песчаным заполнителем	—	10000-20000

Примечания:

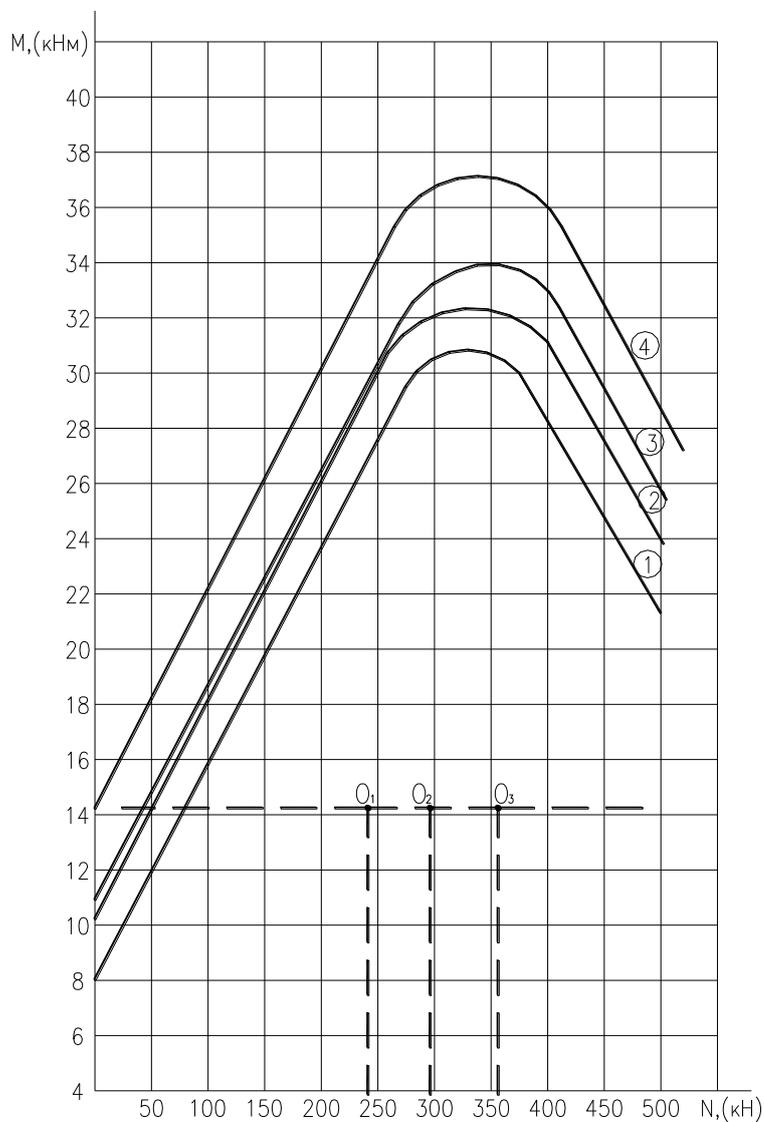
1. Меньшие значения коэффициента K в таблице соответствуют более высоким значениям показателя текучести I_L глинистых и коэффициентов пористости e песчаных грунтов, указанным в скобках, а большие значения коэффициента K — соответственно более низким значениям I_L и e . Для грунтов с промежуточными значениями характеристик I_L и e значения коэффициента K определяются интерполяцией.

2. Коэффициент K для плотных песков должен приниматься на 30 % выше, чем наибольшие значения указанных в таблице коэффициентов K для заданного вида грунта.

Значения коэффициентов для определения моментов в свае

\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

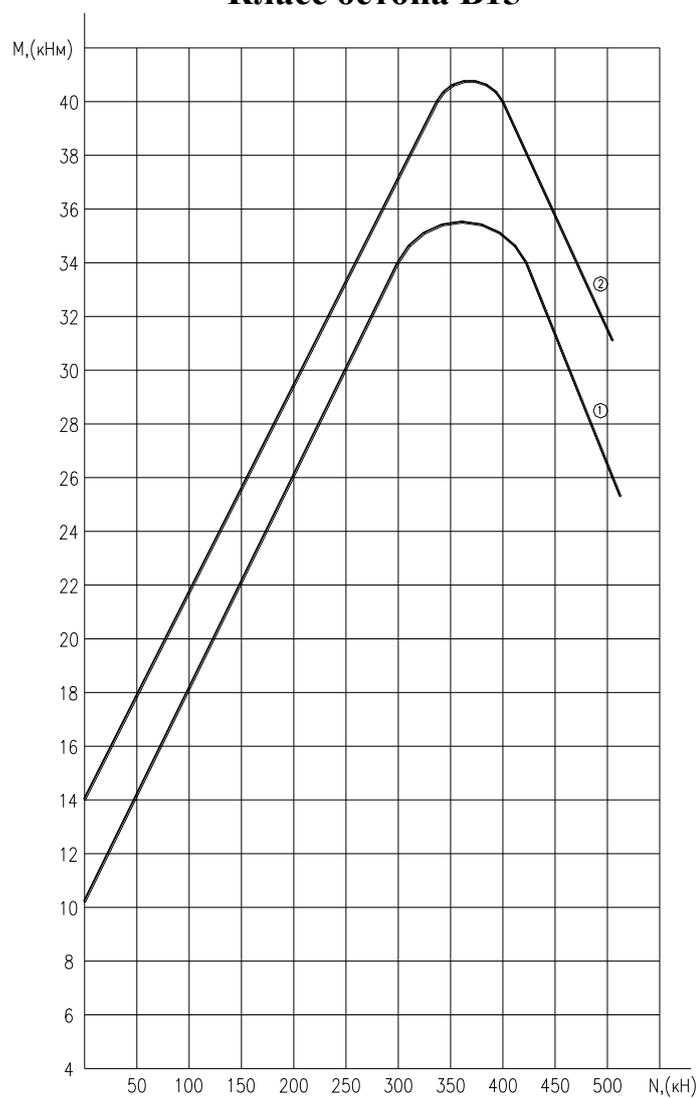
Графики для определения типа армирования забивных свай
сечением 30×30 см по серии 1.011.1-10
Класс бетона В15



- 1 – тип армирования первый (4Ø10A240)
- 2 – тип армирования второй (4Ø10A 240)
- 3 – тип армирования четвертый (4Ø12A240)
- 4 – тип армирования пятый (4Ø12A320)

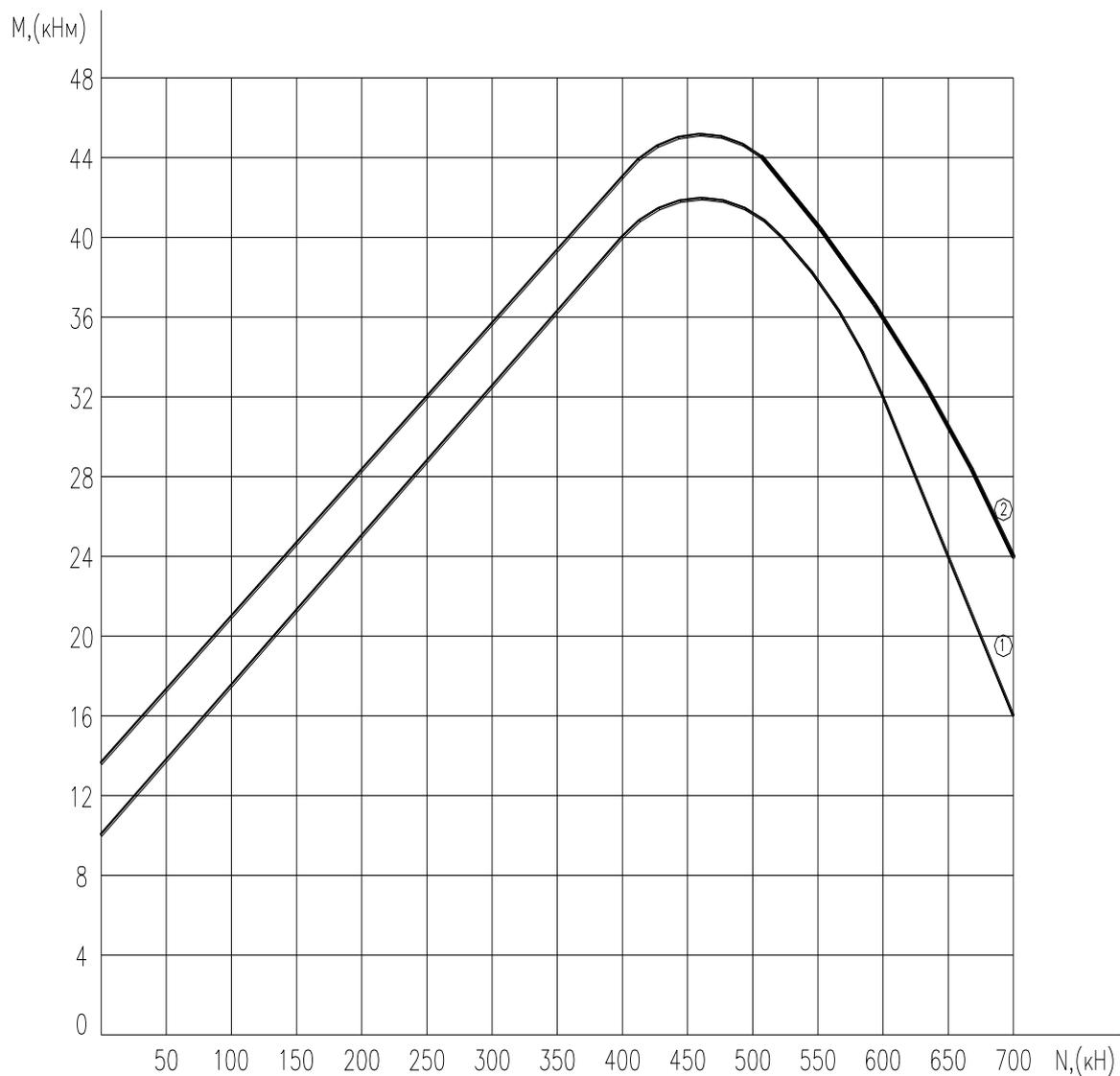
Графики для определения типа армирования забивных свай
сечением 30×30 см по серии 1.011.1-10

Класс бетона В15



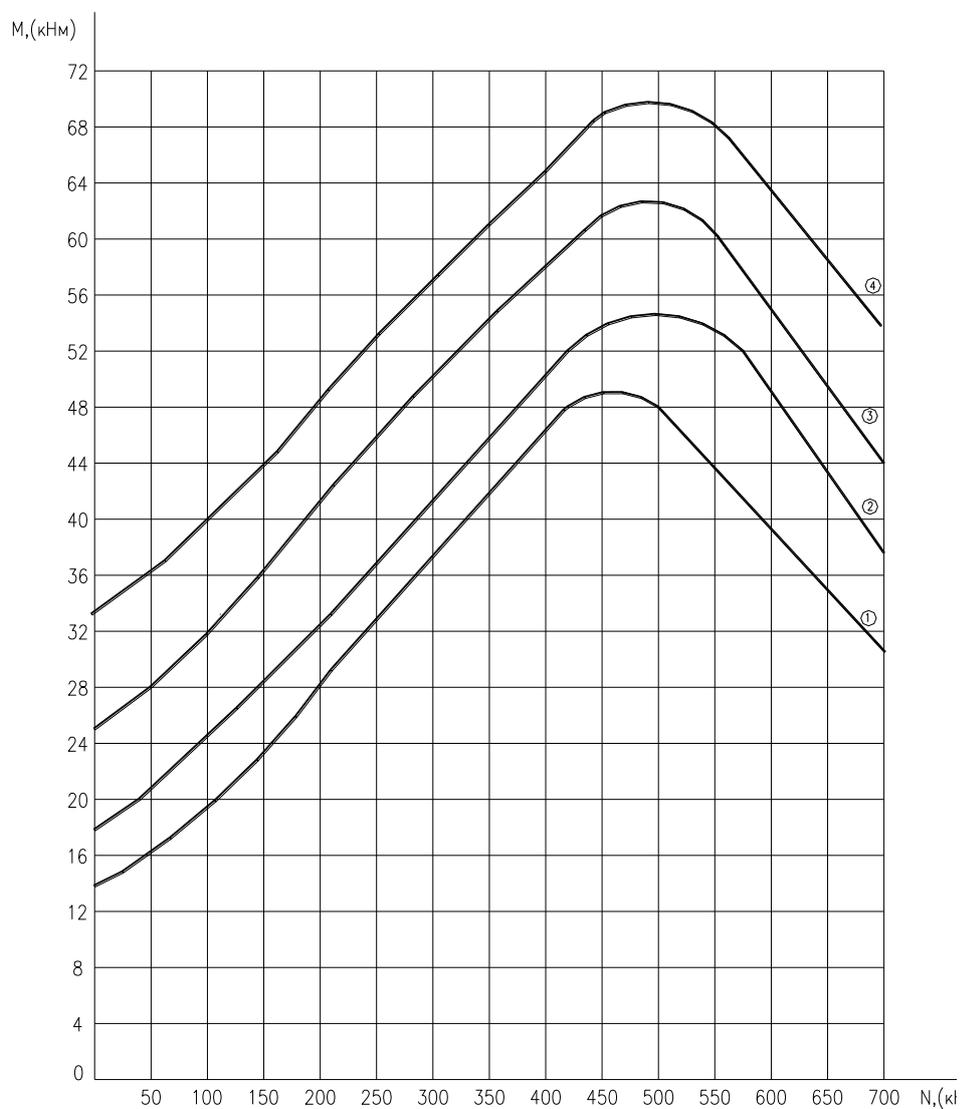
- 1 – тип армирования третий (4Ø10A400)
- 2 – тип армирования шестой (4Ø12A 400)

Графики для определения типа армирования забивных свай
сечением 30×30 см по серии 1.011.1-10
Класс бетона В20



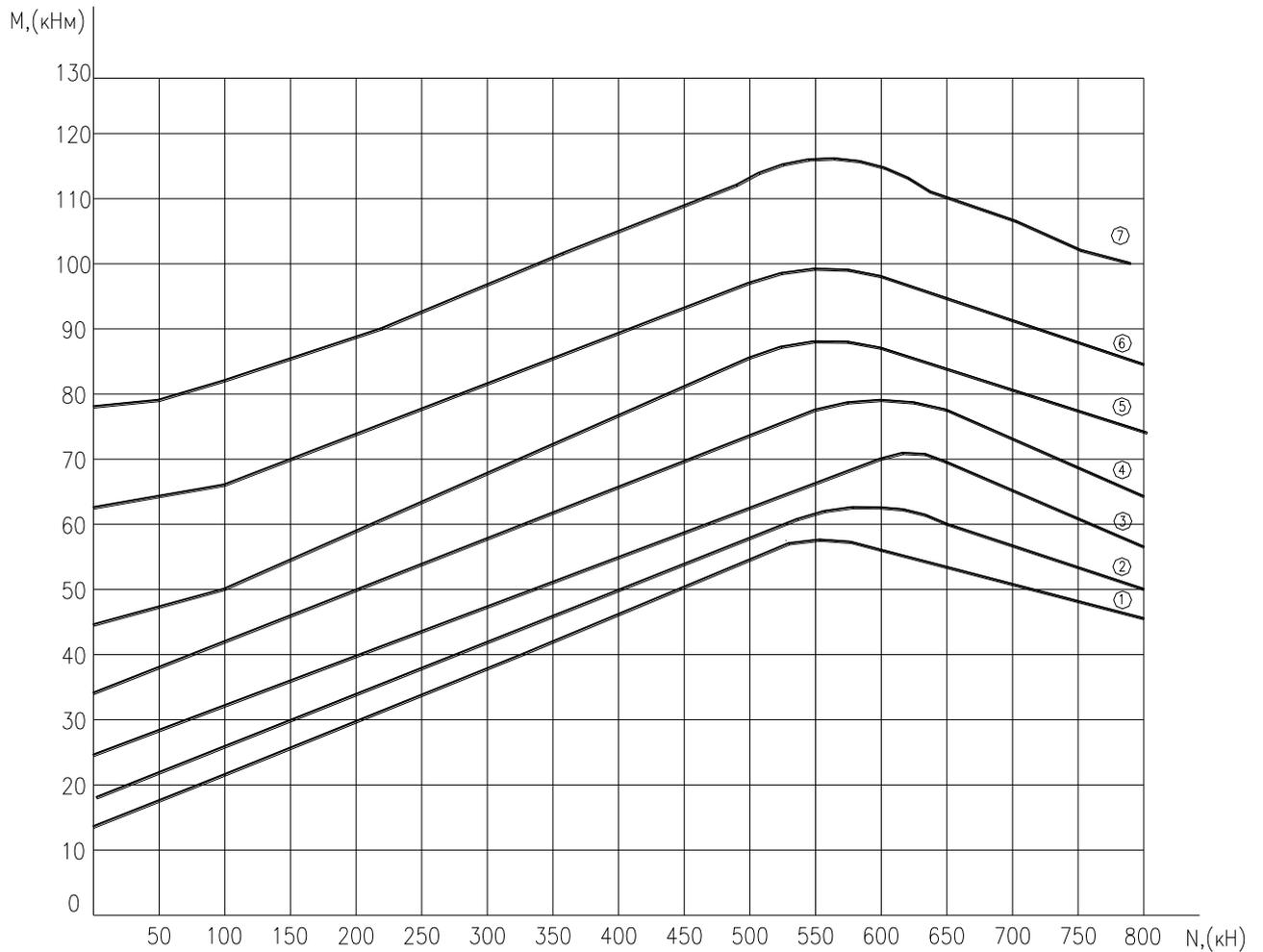
- 1 – тип армирования четвертый (4Ø12A240)
- 2 – тип армирования пятый (4Ø12A320)

Графики для определения типа армирования забивных свай
сечением 30×30 см по серии 1.011.1-10
Класс бетона В20



- 1 – тип армирования шестой (4Ø12A400)
- 2 – тип армирования восьмой (4Ø14A400)
- 3 – тип армирования девятой (4Ø16A400)
- 4 – тип армирования десятой (4Ø18A400)

Графики для определения типа армирования забивных свай
сечением 30×30 см по серии 1.011.1-10
Класс бетона В25



- 1 – тип армирования шестой (4Ø12A400)
- 2 – тип армирования восьмой (4Ø14A400)
- 3 – тип армирования девятой (4Ø16A400)
- 4 – тип армирования десятой (4Ø18A400)
- 5 – тип армирования одиннадцатый (4Ø20A400)
- 6 – тип армирования двенадцатый (4Ø22A400)
- 7 – тип армирования тринадцатый (4Ø25A400)

Список использованных источников

1. Механика грунтов, основания и фундаменты. Под. ред. С.Б. Ухова. – М.: Высш. шк., 2002.
2. Основания и фундаменты. Ч.2. Основы геотехники. Под. Ред. Б.И. Далматова. – М.: Изд-во АСВ; СПбГАСУ, 2002.
3. Далматов Б.И., Марарескул Н.Н., Науменко В.Г. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений. М: Высш. шк., 1986.
4. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений Учеб. Пособие. Под ред. Б.И. Далматова; 2-е изд. – М.; Изд-во АСВ; СПб: СПбГАСУ, 2001.
5. Алексеев В.М., Калугин П.И. Фундаменты зданий и подземных сооружений. Воронеж. гос. арх. строит. ун-т, Воронеж, 2005.
6. Градостроительный кодекс Российской Федерации (ГрК РФ 2015) с изменениями на 31 декабря 2004 года. № 190-ФЗ.
7. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений от 26 декабря 2014 года. № 384-ФЗ.
8. ГОСТ 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.
9. СТО 36554501-014-2008 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
10. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
11. СП 22.13330.2011 Актуализированная редакция «СНиП 2.02.01-83. «Основания зданий и сооружений».
12. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
13. СП 131.13330.2012 Актуализированная редакция «СНиП 23-01-99* «Строительная климатология».
14. СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция «СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
15. СТО 36554501-015-2008 Нагрузки и воздействия.
16. СП 63.13330.2012 Актуализированная редакция «СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
17. Логутин В.В. Расчет оснований и фундаментов в курсовом и дипломном проектировании: учебное пособие/ В.В. Логутин- Ростов н/Д, 2012.
18. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) – М.: Стройиздат, 1986.

19. Пособие по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.02.01-83). – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
20. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика / Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985.
21. СП 24.13330.2011 Актуализированная редакция «СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».
22. Рекомендации по рациональной области применения в строительстве свай различных видов / НИИ оснований и подземных сооружений. – М.: Стройиздат, 1982.
23. Руководство по выбору проектных решений фундаментов. – М.: Стройиздат, 1984.
24. Гильман Я.Д. Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах: пособие для проектировщиков и студентов. – Ростов-на-Дону: СевкавНИПИагропром, 1991.
25. ГОСТ 19804-91 Сваи железобетонные. Технические условия (взамен ГОСТ 19804.0-78).
26. ГОСТ 23009-78 Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Условные обозначения (марки).
27. Пособие по проектированию железобетонных ростверков свайных фундаментов под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01-84) / ЦНИИпромзданий Госстроя СССР и НИИ ЖБ Госстроя СССР. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.
28. Гольшев А.Б. и др. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие. – Киев: Будівельник, 1990.
29. Серия 1.011.1-10 Сваи забивные железобетонные. Выпуск 1. Сваи цельные сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой. ЦИТП Госстроя СССР, 1990

Оглавление

1. Общие положения	3
2. Виды свай	4
3. Параметры забивных свай	8
4. Назначение длины сваи	12
5. Определение несущей способности сваи	14
6. Размещение свай под ростверком и проверка нагрузок	16
7. Расчет железобетонных ростверков	21
8. Расчет деформаций основания свайных фундаментов	22
9. Определение типа армирования свай	26
10. Пример проектирования фундаментов из забивных свай под колонну промышленного здания	29
Приложения	39
Список использованных источников	55