ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ПО СЕЛЬСКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

(ЦНИИЭПсельстрой)

**РЕКОМЕНДАЦИИ**

**ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И УСТРОЙСТВУ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТАХ**

МОСКВА - 1989

РАЗРАБОТАНЫ:

Центральным научно-исследовательским, экспериментальным и проектным институтом по сельскому строительству (ЦНИИЭПсельстроем)

Зам. директора В.А. Заренин

Московским Государственным научно-исследовательским и проектным институтом по сельскому строительству (Мосгипрониисельстроем) Мособлагропрома

Директор А.С. Мирошниченко

Одобрены секцией «Строительные конструкции и технология их производства» Ученого совета ЦНИИЭПсельстроя, секцией Научно-технического совета Мосгипрониисельстроя.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пирамидальные и короткие буронабивные сваи являются эффективными конструкциями нулевого цикла малоэтажных агропромышленного комплекса. Использование фундаментов из коротких свай в морозоопасных, пучинистых грунтах ограничено действующими нормативными документами. Выполнение требования норм, согласно которому не допускаются даже незначительные перемещения свай, вызванные пучением грунта, приводит к увеличению их длины, что резко ухудшает технико-экономические показатели свайных фундаментов.

Вместе с тем, требование недопустимости выпучивания свай не является оправданным, так как любое здание и сооружение в состоянии переносить некоторые неравномерные деформации оснований. Применение фундаментов из коротких свай базируется на принципиально новом подходе к их проектированию, в основу которого положен расчет по деформациям пучения. Подобный подход использован и при проектировании мелкозаглубленных фундаментов. Положительный опыт строительства и эксплуатации зданий с мелкозаглубленными фундаментами о его правомерности.

При конструировании фундаментов из коротких свай используется тот же принцип, что и при конструировании мелкозаглубленных столбчатых фундаментов: фундаментные балки, цокольные панели объединяются в единую систему, образуя достаточно жесткую горизонтальную раму.

Такая система перераспределяет неравномерные перемещения отдельных свай, выравнивает их, что в конечном итоге уменьшает относительные деформации фундаментов и надземных конструкций зданий.

При проектировании свайных фундаментов так же, как и мелкозаглубленных, выдвигается требование, чтобы абсолютные и относительные деформации пучения не превосходили предельно допустимых. Последние зависят от конструктивных особенностей зданий и регламентируются ВСН 29-85.

Для свайных фундаментов, в несущей способности которых большой удельный вес составляет несущая способность боковой поверхности, необходимо выполнять условие отсутствия остаточных деформаций пучения.

Необходимо, чтобы при оттаивании грунта сваи возвращались в первоначальное положение, т.е. их осадки должны быть не меньше, чем подъемы, вызванные силами пучения.

Таким образом, при проектировании коротких свай их геометрические размеры должны обеспечивать необходимую несущую способность, а действующая нагрузка должна обеспечивать регламентированный подъем и возвращение сваи после оттаивания грунта в первоначальное положение.

В последние годы ЦНИИЭПсельстроем проведены обширные исследования взаимодействия свайных фундаментов с пучинистыми грунтами. Испытания фундаментов выполнены на площадках, сложенных грунтами с разной степенью пучинистости. На основе результатов исследований обоснована техническая возможность применения коротких свай в пучинистых грунтах, разработаны методы их расчета по деформациям пучения.

Положения настоящих «Рекомендаций» апробированы при проектировании и строительстве свайных фундаментов для жилых домов усадебного типа. В настоящее время на пучинистых грунтах с использованием таких фундаментов построено более 600 домов в Омской, Пермской, Саратовской, Ярославской и др. областях. За многими их этих зданий ведутся инструментальные наблюдения, свидетельствующие о надежной работе фундаментов из коротких свай. Вместе с тем, применение таких фундаментов взамен ленточных из сборных блоков, закладываемых ниже глубины промерзания грунта, позволило уменьшить расход бетона на 30...60%, объем земляных работ - на 80...90%, трудозатраты - в 1,5...2 раза.

«Рекомендации» разработаны кандидатами технических наук В.С. Сажиным и В.Я. Шишкиным. В работе над ними принимали участие инженеры Л.М. Зарбуев, К.Ш. Погосян, Т.А. Приказчикова (ЦНИИЭПсельстрой), кандидат технических наук А.Г. Бейрит, инженер А.П. Айдаков (Мосгипрониисельстрой) и кандидат технических наук В.Н. Зекин (Пермский ГСХИ).

«Рекомендации» распространяются на проектирование фундаментов из коротких (длиной до 4 м) пирамидальных и буронабивных свай малоэтажных (до двух этажей включительно) сельских зданий, строящихся на слабо- и среднепучинистых грунтах при нормативной глубине промерзания не более 1,7 м.

При этом должны соблюдаться требования, предусмотренные СНиП 2.02.01-83 с изменениями к нему № 211, другими соответствующими общесоюзными документами.

1. Общие положения

1.1. Расчет свайных фундаментов следует производить по несущей способности и по деформации пучения. Деформации фундаментов, вызванные морозным пучением грунтов, не должны превосходить предельных деформаций, которые зависят от конструктивных особенностей зданий.

1.2. При проектировании свайных фундаментов на пучинистых грунтах необходимо предусматривать мероприятия (инженерно-мелиоративные, строительно-конструктивные и др.), направленные на уменьшение деформаций зданий и сооружений.

Выбор типа и конструкции фундамента, способа подготовки основания и других мероприятий по уменьшению неравномерных деформаций здания от морозного пучения должен решаться на основе технико-экономического анализа с учетом конкретных условий строительства.

2. Конструктивные мероприятия при использовании свайных фундаментов в пучинистых грунтах

2.1. Для зданий с малонагруженными фундаментами следует применять такие конструктивные решения, которые направлены на снижение сил морозного пучения и деформаций конструкций зданий, а также на приспособление зданий к неравномерным перемещениям оснований.

2.2. Конструктивные мероприятия назначаются в зависимости от типа свайного фундамента, конструктивных особенностей здания и степени пучинистости грунта основания, определяемой в соответствии с «Ведомственными строительными нормами по проектированию мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных сельских зданий на пучинистых грунтах» (ВСН 29-85).

2.3. В зданиях с несущими стенами короткие буронабивные сваи на среднепучинистых грунтах должны быть жестко связаны между собой фундаментными балками (ростверками), объединенными в единую рамную систему. При безростверковом решении фундаментов крупнопанельных зданий жестко соединяются между собой цокольные панели.

На практически непучинистых и слабопучинистых грунтах элементы ростверков соединять между собой не требуется.

2.4. При использовании в зданиях с несущими стенами пирамидальных свай требование жестко соединять между собой элементы ростверков следует выполнять при строительстве на среднепучинистых (с интенсивностью пучения более 0,05) грунтах. Интенсивность пучения грунта определяется в соответствии с ВСН 29-85.

2.5. В необходимых случаях для увеличения жесткости стен зданий, строящихся на среднепучинистых грунтах, следует предусматривать устройство армированных или железобетонных поясов над проемами верхнего этажа и в уровне перекрытий.

2.6. При устройстве свайных фундаментов необходимо предусматривать зазор между ростверками и планировочной поверхностью грунта, который должен быть не менее расчетной деформации пучения ненагруженного грунта. Последняя определяется в соответствии с ВСН 29-85.

2.7. Протяженные здания следует разрезать по всей высоте на отдельные отсеки, длина которых принимается: для слабопучинистых грунтов до 30 м, среднепучинистых - до 25 м.

2.8. Секции зданий, имеющие разную высоту, следует устраивать на раздельных фундаментах.

3. Расчет оснований свайных фундаментов на действие вертикальных нагрузок

3.1. Расчетная вертикальная нагрузка Р, кН, допускаемая на сваю определяется по формуле

 (3.1)

где *N* - расчетная нагрузка, передаваемая на сваю;

*Fd* - расчетная несущая способность сваи по грунту;

- коэффициент надежности, принимаемый равным 1,25, если несущая способность сваи определена по результатам полевых испытаний статической нагрузкой или расчетом по деформациям.

3.2. Расчетная несущая способность короткой буронабивной сваи по грунту определяется по формуле

 (3.2)

где К0 - коэффициент пропорциональности, равный отношению нагрузки на пяту сваи к общей нагрузке при предельной осадке сваи S0, принимаемой равной 8 см: коэффициент К0 зависит от отношения длины сваи *l* к ее диаметру *d* и консистенции грунтов. Для грунтов твердой и полутвердой консистенции при *l*/*d* 3,75 К0=0,45; при 3,75 <  *l*/*d* 5 К0=0,40; при 5 <  *l*/*d* 7,5 К0=0,37. Для грунтов тугопластичной консистенции при указанных отношениях *l*/*d* коэффициент К0 равен соответственно 0,5; 0,45 и 0,40. Для грунтов мягкопластичной консистенции - 0,55; 0,5 и 0,45;

- коэффициент, учитывающий нарастание осадки сваи во времени, принимаемый равным:

0,5 - для пылевато-глинистых грунтов твердой консистенции;

0,4 - для пылевато-глинистых грунтов полутвердой и тугопластичной консистенции;

0,3 - для пылевато-глинистых грунтов мягкопластичной консистенции;

Sпр.ср. - предельно допустимая средняя осадка фундаментов, принимаемая для малоэтажных сельских зданий равной 10 см;

 - предельная несущая способность боковой поверхности буронабивной сваи, определяемая по формуле

 (3.3)

где Рср. - среднее давление на контакте боковой поверхности сваи с грунтом, равное

 (3.4)

где - коэффициент бокового давления бетонной смеси принимается равным 0,9;

 - удельный вес бетонной смеси, кН/м3;

*l*0 - длина участка сваи, на котором давление бетонной смеси на стенки скважины линейно возрастает с глубиной, *l*0= 2 м;

- относительная усадка бетона при твердении в контакте с грунтом: при показатели текучести грунта 0,20 JL < 0,75 = 310-4, при 0 JL <0,20 = 410-4, при JL<0 =510-4;

Е, - соответственно расчетный модуль деформации и коэффициент Пуассона грунта.

Входящие в формулу (3.3) удельное сопротивление с1 и угол внутреннего трения  грунта с учетом его упрочнения при бетонировании сваи равны: ; с1 = сI n, где , сI - расчетный угол внутреннего трения и расчетное сцепление грунта естественного сложения; n - коэффициент, принимаемый равным 1,8; 1,4; 1,3 и 1,2 соответственно для грунтов твердой, полутвердой, тугопластичной и мягкопластичной консистенции.

Примечание. При неоднородном в пределах длины сваи грунте в расчет вводятся средневзвешенные значения используемых характеристик.

3.3. Расчетная несущая способность пирамидальных свай и забивных блоков определяется по ВСН 26-84 «Проектирование и устройство пирамидальных свай и забивных блоков для малоэтажных сельских зданий».

4. Расчет свайных фундаментов по деформациям пучения грунта

4.1. Расчет свайных фундаментов по деформациям пучения производится исходя из следующих условий:

h S*и*; (4.1)

Sотh; (4.2)

 (4.3)

где h - подъем наименее нагруженной сваи, вызванный пучением грунта;

Sот - осадка сваи после оттаивания грунта;

 - относительная деформация фундамента;

S*и*,  - соответственно предельные абсолютные и относительные деформации пучения фундамента которые допускается принимать по таблице.

Таблица

Предельные деформации фундаментов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Конструктивные особенности зданий | Предельные деформации пучения S*и*, см | Предельные относительные деформации пучения м | |
|  |  | относительный прогиб или выгиб | относительная разность деформаций пучения |
| Бескаркасные здания с несущими стенами из: |  |  |  |
| панелей | 2,5 | 0,00035 |  |
| блоков и кирпичной кладки без армирования | 2,5 | 0,00050 |  |
| блоков и кирпичной кладки с армированием | 3,5 | 0,00060 |  |
| здания с деревянными конструкциями | 5 | - | 0,006 |
| Здания стоечно-балочной конструкции | 4 | - | 0,005 |

Примечание. На основании расчета системы фундаментная балка-стена на прочность допускается уточнять значения и S*и*.

4.2. Подъем буронабивной сваи определяется по формуле

 (4.4)

где h*а* - деформация пучения (подъем) ненагруженного грунта в уровне верхнего сечения сваи, находящегося на глубине *а* от поверхности грунта;

h*а* - деформация пучения поверхности грунта;

d*f* - расчетная глубина промерзания грунта, м;

 - коэффициент, зависящий от диаметра сваи d; при d=0,2 м =0,4 м-1/2, при d=0,35 м =0,50 м-1/2, при d=0,5 м =0,30 м-1/2, при d=0,8 м =0,2 м-1/2; при промежуточных значениях d коэффициент  определяется по интерполяции;

*l* - длина сваи, м;

N - нагрузка на сваю, кН;

N0 - обобщенная сила, кН, равная

,

где G - собственный вес сваи, кН

*f* - сопротивление грунта на боковой поверхности сваи, кН/м2, принимается равным рсtg+c1 упрочненного грунта (см. п. 3.2);

- нормативные удельные касательные силы пучения, кН/м2; для слабопучинистых грунтов =70 кН/м2, среднепучинистых - 90 кН/м2.

4.3. Подъем пирамидальных свай определяется по формуле

 (4.5)

где - коэффициент, характеризующий отношение подъема ненагруженной сваи к подъему ненагруженного грунта в уровне верхнего сечения сваи, принимается численно равным 

,

где - параметр, характеризующий удельные нормальные силы пучения, кН/м2; принимается равным: 200, 400, соответственно для слабо-, среднепучинистых грунтов;

- угол наклона боковых граней сваи к вертикали, град.

*Nа* - сила сопротивления талого грунта выдергиванию сваи;

;

су - расчетное сцепление уплотненного грунта, МПа, принимается в соответствии с ВСН 26-84.

Остальные обозначения те же, что в п. 4.2.

4.4. Для выполнения требования (4.2) необходимо соблюдать условие

N > Pб.от., (4.6)

где Рб.от. - несущая способность боковой поверхности сваи после оттаивания грунта при осадке S, равной подъему сваи. Для буронабивной сваи условие (4.6) выполняется, если

 (4.7)

где - коэффициент условий работы, учитывающий увеличение сопротивления грунта на боковой поверхности сваи ниже зоны промерзания за счет частичного его обезвоживания,



К0, S0, Рб.пр,  - те же значения, что в п. 3.2.

Для пирамидальных свай условие (4.6) удовлетворяется, если

, (4.8)

где *ha*, *df*, *Fd* - те же значения, что в п. 3.1, 4.2.

4.5. Относительная разность деформаций пучения свай зданий стоечно-балочной конструкции, зданий с деревянными конструкциями определяется по формуле

, (4.9)

где  - максимальная разность подъемов двух соседних свай, м;

*х* - расстояние между осями свай, м.

При определении  попарно рассматриваются соседние сваи. При этом подъем ненагруженной поверхности грунта принимается изменяющимся по длине (ширине ∅) здания в соответствии с зависимостью

, (4.10)

где hfmax, hfmin - подъемы ненагруженной поверхности грунта, м, соответствующие экстремальным значениям расчетной предзимней влажности грунта на площадке строительства, определяемые в соответствии с ВСН 29-85;

*xi* - расстояние между осями рассматриваемой сваи и крайней левой в фундаменте стены здания или его отсека;

L - расстояние между осями крайних свай в фундаменте стены здания (отсека здания), м.

4.6. Относительная деформация свай зданий с несущими стенами из кирпича, блоков, панелей (относительный прогиб, выгиб) определяется по формуле

, (4.11)

где hл, hср - подъемы соответственно крайней левой и средней свай, м; определяются в соответствии с п.п. 4.2, 4.3.

Примечание. В том случае, когда непосредственно под серединой стены здания (отсека здания) свая отсутствует, за hср следует принимать подъем стены в сечении, отстоящем на расстоянии L/2 от крайней левой сваи.

4.8. Дополнительные нагрузки на сваи определяются из совместного решения уравнений

 (4.14)

; (4.15)

; (4.16)

где hл, hi - подъемы крайней левой и i-й сваи с учетом дополнительной нагрузки, м; определяются по одной из формул (4.12...4.I3) в зависимости от типа сваи;

θ - угол склона оси условной балки к горизонтали на крайней левой опоре (сваи), рад;

EJ - приведенная жесткость на изгиб условной балки (надфундаментных конструкций); определяется согласно ВСН 29-85;

pi - нагрузка на сваю, находящуюся на расстоянии *x*i от крайней левой сваи. Остальные обозначения прежние.

Примечания: 1. Уравнения типа (4.14) составляют для всех свай, исключая крайнюю левую.

2. При симметричной относительно оси стены системе уравнения (4.15) тождественно равны уравнениям (4.14). В этом случае недостающие уравнения составляют на основе равенства перемещений стены и свай, расположенных справа от оси симметрии.

3. При составлении уравнений (4.14...4.16) все дополнительные силы принимаются положительными, действующими сверху вниз на сваи и снизу вверх на условную балку.

Направление дополнительных сил и их значения определяют в результате решения системы уравнений. Зная значения и знак дополнительных сил, по формулам (4.12, 4.13) можно определить подъемы свай, а по формуле (4.11) - относительную деформацию системы в целом,

5. Устройство свайных фундаментов в пучинистых грунтах

5.1. При возведении свайных фундаментов следует руководствоваться требованиями СНиП Ш-9-74, СНиП Ш-4-80, другими общесоюзными документами.

5.2. В пучинистых грунтах следует более ответственно выполнять отвод паводковых, ливневых и грунтовых вод при производстве планировочных работ.

5.3. Основные требования к приемке пирамидальных свай:

не допускаются отколы и раковины в торцах свай;

смещение острия свай от центра должно быть не более 10 мм;

отклонение размеров поперечного сечения допускается ±10 мм, но без уменьшения плошали поперечного сечения, торцы свай должны быть перпендикулярны продольной оси сваи.

5.4. Для повышения точности погружения свай рекомендуется забивку свай производить в лидерные скважины.

5.5. Предельно допустимые отклонения при производстве свайных работ:

в плане не более ±5 см;

по высоте: перебивка до 3 см;

недобивка не более 1 см.

5.6. Погружение пирамидальных свай ниже поверхности земли осуществляется с помощью приспособления, показанного в приложении 8 ВСН 26-84.

5.7. Пирамидальные сваи в выштампованном ложе рекомендуется изготовлять с помощью устройств, приведенных в приложении.

5.8. При возведении свай в выштампованном ложе и буронабивных свай целесообразно бетонировать не позже суток после устройства котлованов и скважин.

5.9. Погружение свай в зимних условиях следует производить с предварительным оттаиванием мерзлого грунта на всю глубину промерзания и площадью не менее трех сторон верхнего сечения сваи. Забивка свай в мерзлый грунт не допускается.

6. Примеры расчета свайных фундаментов по деформациям пучения грунта.

Пример 1. Требуется рассчитать фундаменты из буронабивных свай для одноэтажного крупнопанельного дома. Наибольшая длина стены составляет 12,6 м, наименьшая жесткость на изгиб - 2⋅10 кН⋅м2. Расчетная нагрузка на фундамент составляет 50 кН/м. Верх свай расположен на 0,1 м ниже поверхности.

Анализ грунтовых условий, выполненный в соответствии с ВСН 29-85, показал: грунты площадки строительства - среднепучинистые тугопластичные суглинки плотностью ρ = 1,95 т/м3. Модуль деформации грунта Е = 2,9 МПа, коэффициент Пуассона μ = 0,30, показатель текучести JL = 0,31, угол внутреннего трения ϕI=21°, удельное сцепление CI= 32 кПа, расчетная глубина промерзания d = 1,55 м. Максимальный расчетный подъем грунта на глубине 0,1 м от поверхности на площадке строительства hf max =8,5 см, hfmin =2,0 см. Подъем определен по формуле h*a* = hf(1- а/df) (см.п.4.2) при hfmax = 9,15 см и hfmin =2,13 см. Последние вычислены в соответствии с ВСН 29-85.

Определим несущую способность буронабивной сваи диаметром 0,5м, длиной 3,0 м. Входящие в формулу (3.2) параметры и коэффициенты равны: коэффициент бокового давления бетонной смеси - 0,9; удельный вес бетонной смеси - 22 кН/м3; длина участка сваи, на котором давление бетонной смеси на стенки скважины линейно возрастает с глубиной, - 2 м; относительная усадка бетона при твердении в контакте с грунтом - 0,003; среднее давление на контакте боковой поверхности сваи с грунтом равно

Pср = νδ.c.ρδ.c.(1-*l*0/2*l*)*l*0 - εуE/(1 - μ) = 0,9⋅22⋅(1 - 2/2⋅3)⋅2 - 0,0003⋅2,900/(1 + 0,3) = 25,73 КПа.

Коэффициент, учитывающий упрочнение грунта при бетонировании - 1,3; удельное сцепление грунта с учетом упрочнения при бетонировании сваи - 41,6 кПа; угол внутреннего трения с учетом упрочнения грунта при бетонировании - 27 град; предельная несущая способность боковой поверхности буронабивной сваи

Рδ.пр. = πd*l*(Pco. tg ϕ1 + c1) = 3,14⋅0,5⋅3⋅(25,73 tg 27° - 41,6) = 257,8 кН.

Предельно допустимая средняя осадка фундаментов малоэтажных зданий - 10 см; коэффициент, учитывающий нарастание осадки по времени, - 0,4; коэффициент пропорциональности, равный отношению нагрузки на пяту сваи к общей нагрузке при предельной осадке, - 0,4; расчетная несущая способность короткой буронабивной сваи



С учетом коэффициента надежности расчетная вертикальная нагрузка не должна превышать 227,6 кН.

Таким образом, условие (3.1) удовлетворяется.

Исходя из полученной несущей способности, принимаем четыре равнонагруженные сваи вдоль стены. При этом расстояние между сваями Х = 3,15 м, а крайние левая и правые сваи размещены на 1,575 м от соответствующих углов дома нагрузка на сваю составляет 157,5 кН.

Определяем подъем буронабивной сваи.

Расчет выполняем при максимальном пучении грунта h*a* max = 8,5 см по формуле (4.4). Предварительно определяем параметры: коэффициент β = 0,3 м-1/2; сопротивление грунта по боковой поверхности сваи

f = pc tg ϕ1 + c1 =

= 25,73 tg 27° + 41,6 = 54,71 кПа;

нормативные удельные касательные силы пучения в среднепучинистых грунтах равны 90 кПа; собственный вес сваи

G = πd2*l*ρδ.c./4 =

= 3,14⋅0,52⋅3⋅22/4 = 13 кН;

Обобщенная сила



Подъем буронабивной сваи равен



Так как попускаемый подъем свай крупнопанельных зданий равен 2,5 см (см. табл. ), то условие (4.1) удовлетворяется.

Определим осадки свай после оттаивания грунта. Предварительно определим коэффициент

γ1 = 1,2 - 0,2⋅ (df - а)/*l* =

= 1,2 - 0,2 (1,55 - 0,1)/3 = 1,1.

Проверку условия (4.2) выполним по формуле (4.7).



Таким образом, условие (4.2) не удовлетворяется, т.е. свая не возвратится в исходное положение.

Очевидно, что уменьшение длины сваи позволит снизить несущую способность боковой поверхности сваи так, что условие (4.2) выполнится. Однако при этом условие (4.1) не удовлетворяется. Целесообразно уменьшить диаметр сваи.

При d = 0,35 м и *l* = 3 м расчетная вертикальная нагрузка, допускаемая на сваю, составляет 159,3 кН, что больше заданной 157,5 кН. Обобщенная сила N0= 171,4 кН, выпучивание h = 6 мм и условие (4.7) удовлетворяется:



Определим относительную деформацию фундамента из буронабивных свай.

Вдоль стены расположены 4 сваи на расстоянии 3,15 м друг от друга.

Принимаем подъем грунта у крайних свай равным 85 мм, а у средних - 20 мм. Тогда для средних свай обобщенная сила N0=155,41 кН (слабопучинистый грунт), расчетное выпучивание средних свай равно



Относительная деформация фундамента без учета жесткости конструкции по формуле (4.9) равна



что больше предельной, принимаемой для панельных зданий 0,00035.

Выполним расчет с учетом жесткости конструкций. Найдем дополнительные усилия на сваи, возникающие под влиянием надфундаментных конструкций.

Поскольку система симметрична относительно середины стены здания, неизвестны дополнительные усилия P1 и Р2, а также подъемы свай h1, и h2 и угол поворота оси фундамента θ. Для определения этих неизвестных составим уравнения совместности деформаций (4.14), уравнение равновесия всех сил и их моментов (4.15) - (4.16) и уравнения (4.12).







p1 + p2 + p2 + p1 = 0.

p13*x* +p22*x* +p2*x* = 0.





Эта система уравнений сводится к следующему:

p2 = -p1



Это нелинейное уравнение решаем путем подбора p1. Подставим в него значения соответствующих параметров:



Сила p1 = 138 кН удовлетворяет этому уравнению с точностью 0,1%.

Подъем свай составляет





Сравним h2, полученное по формуле (4.14). При этом угол поворота



0,0042 - 6,85⋅10-4⋅3,15 +138⋅3,153/6⋅2⋅106 = 0,0024 м.



Таким образом, перемещения свай найдены точно. Относительная деформация фундамента с учетом жесткости конструкций равна (п.4.11)



что предельно допускаемой εu = 0,00035. Определим подъем середины стены:



Тогда относительная деформация фундамента равна



Следует отметить, что ввиду р2 > N следует предусмотреть жесткое крепление буронабивных свай в середине стены с панелями. Причем крепление следует рассчитать на растягивающее усилие, равное р2 - N = 9,5 кН.

Пример 2. Требуется запроектировать фундамент из пирамидальных свай длиной 3 м и размером вверху 0,6 м, внизу - 0,1 м. Параметры стены дома, нагрузка и характеристики грунтов такие же, как в предыдущем примере.

Верх свай также заглублен на 0,1 м ниже поверхности грунта, как и в примере 1.

Несущая способность свай, полученная в результате статических испытаний, составила 360 кН.

Вдоль стены принимаем 3 сваи. Расстояние между сваями Х = 6,3 м. Причем на крайние сваи приходится нагрузка 157,5 кН, а на среднюю - 315 кН.

Определим подъемы пирамидальных свай.

В случае максимального пучения грунта hf max= 91,5 мм интенсивность пучения превышает 0,035, и грунт классифицируется как среднепучинистый. Поэтому параметр τи = 90 кПа и σи = 400 кПа. Геометрические характеристики сваи имеют следующие значения:

b = 0,6 м; *l* = 3 м, tg α = 0,0833; α =4°46. Вес сваи G = 10,8 кН. Ее заглубление *a* = 0,1 м. Вычислим параметры, входящие в формулу (4.5). Коэффициент η = 0,14 + 2 (df - *a*)/*l*2 =

= 0,14 + 2(1,55 - 0,1)/32 = 0,462.

Сила сопротивления талого грунта выдергиванию сваи

Na = 4(*l* - df + *a*)[b - tgα(*l* +df - *a*)]cу =

= 4(3 - 1,55 + 0,1)[0,6 - 0,083(3 + 1,55 - 0,1)]51,2 = 72,7 кH.

Здесь удельное сцепление уплотненного грунта су получено в соответствии с BCН 26-84. Для глинистых грунтов с показателем текучести 0,2 < JL ≤ 0,5 су = 1,6 сI = 1,632 = 51,2 кПа.

Обобщенная сила N1, действующая на крайние сваи, равна

N1 = [τи + σи(df - *a*)tgα][b - (df - *a*)tgα] + G + Na =

= [90 + 400(1,55 - 0,1)0,083][0,6 - (1,55 - 0,1)0,083](1,55 - 0,1) +

+ 10,8 + 72,7 = 187 кН.

Подъем пирамидальной сваи определим по формуле (4.5). Подъем крайних свай равен



что меньше предельного значения hu = 25 мм.

Так как наибольшие относительные деформации наблюдаются при минимальном пучении грунта около наиболее нагруженной сваи и максимальном - около менее нагруженной, рассмотрим случай с h*a* = 20 мм и Ncр = 315 кН. При этом интенсивность пучения составляет 0,014 и, соответственно, грунт относится к слабопучинистому. Параметры τи = 70 кПа, σи = 200 кПа. Обобщенная сила N1ср = 144,4 кН, а подъем средней сваи hср = 2,9 мм.

Таким образом, условие (4.1) удовлетворяется. Проверку условия (4.2) выполним по формуле (4.8). Для средней сваи



условие (4.2) справедливо.

Для крайних свай (4.2) также удовлетворяется.



Определим относительную деформацию фундамента из пирамидальных свай.

Без учета влияния жесткости конструкции относительная деформация по формуле (4.11) равна



Она превышает предельное значение, равное для панельных званий 0,00035.

Выполним расчет с учетом жесткости конструкций. Согласно выражениям (4.14)... (4.16) составим уравнения равновесия и совместности деформаций, в которых неизвестны дополнительные усилия Рк, возникающие на крайней и средней сваях под влиянием надфундаментных конструкций

2Pk + Pc = 0

Pk2x + РcХ = 0 (6.2)

hk + θx + pkx3/6EJ = hc

hk + θ2x +(pk8x3 +pcx3)/6EJ = hk

Причем подъемы hk и hср крайних и средней свай по формулам (4.13) равны





Решая совместно системы уравнений (6.2) и (6.3), получим

Рс = - 2Рк ;

θ = - pkx2/2EJ, а неизвестное усилие Pk определяется при решении уравнения



Подставив в уравнение (6.4) значения входящих в него параметров,

получим



Решая это уравнение путем подбора определим pk = 151,5 кН (погрешность 1,6⋅10-5).

Сила pc = -2pk = - 303 кН.

Угол поворота оси фундамента

θ = -pkX2/2EJ = -151,5⋅6,32/2⋅2⋅106 = 1,5⋅10-3.

Согласно выражениям (6.3) подъемы свай равны





В соответствии с уравнением совместности деформаций (6.2) подъем средней сваи составляет

hc' = hk + θ*x* +p*kx*3/6EJ =

= 0,0148 - 1,5⋅10-3⋅6,3 + 151,5⋅6,33/6⋅2⋅106 = 0,00851 м.

По сравнению с hcp полученным по формулам (6.3), погрешность составляет 0,23%.

Согласно выражению (4.11) относительная деформация равна



что превышает предельное значение δu.

Увеличим жесткость стены. Усилив связи, соединяющие панели между собой, получим EJ = 7⋅106 кН⋅м2. Решая уравнение (6.4), определим pk = 174,6 кН, тогда рс = 349,2 кН, что превышает нагрузку на сваю Nc = 315 кН. Поэтому ее следует жестко крепить к цокольной панели. Подъем крайней сваи составляет 14,2 мм, а средней - 12,1 мм. Относительная деформация фундамента составляет 0,000165, что меньше предельного значения, равного 0,00035.

Таким образом, условие (4.3) выполняется.

При проектировании сопряжения средней сваи с цокольной панелью целесообразно рассчитать узел крепления, а также пирамидальную сваю на усилие растяжения рс - Nc = 34,2 кН.

Приложение

Устройство для выштамповывания котлованов

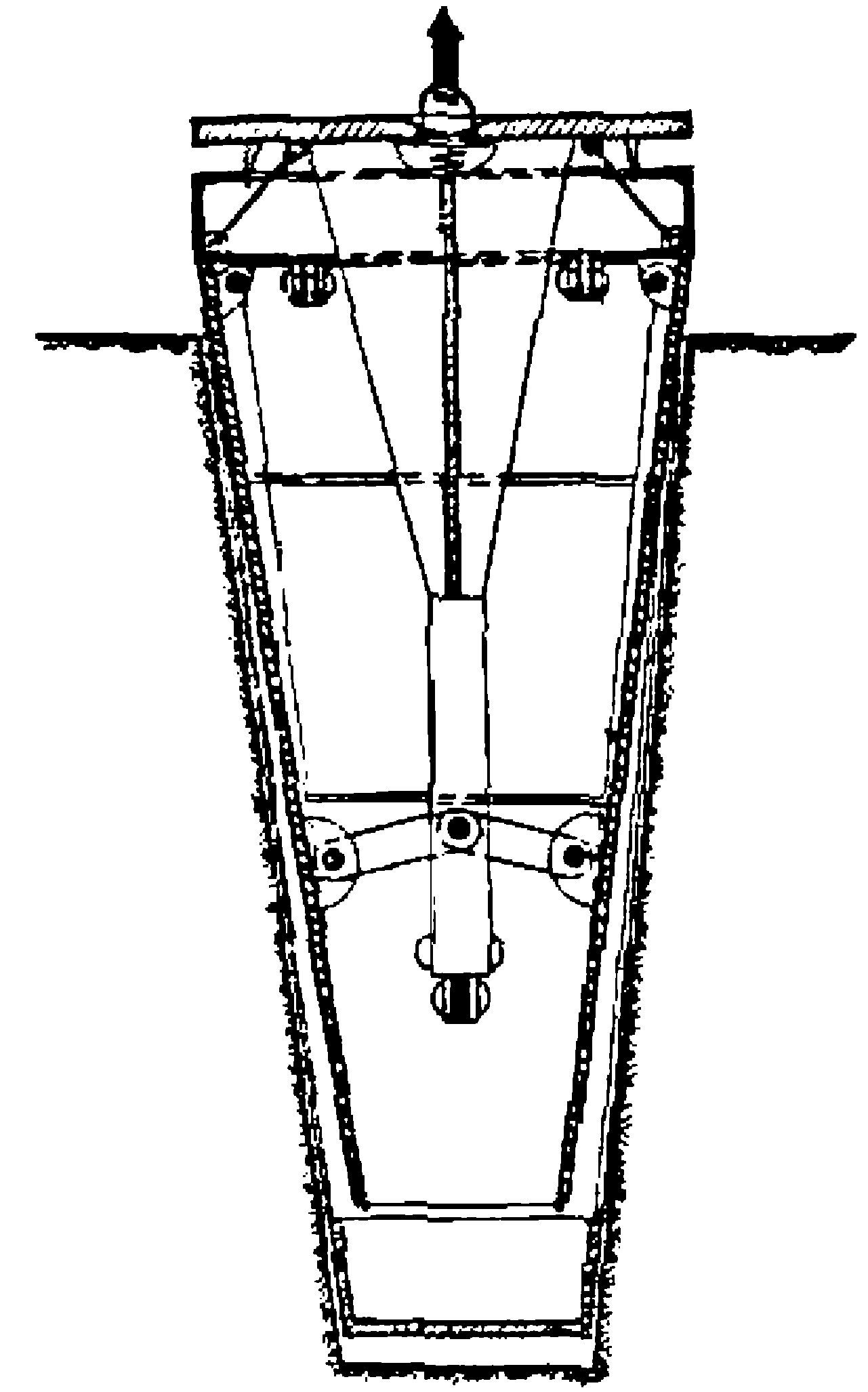
ЦНИИЭПсельстроем разработано устройство для выштамповывания котлованов пирамидальной формы. Устройство позволяет:

уменьшить энергозатраты;

улучшать качество уплотнения;

довести до минимума расходы арматуры;

сократить стоимость возведения свайных фундаментов. Устройство просто в изготовлении и надежно при эксплуатации.



Извлечение устройства из грунта

Последовательность возведения фундаментов с помощью предлагаемого устройства:

планировка строительной площадки;

разбивка осей и свайного поля;

погружение в грунт устройства с помощью сваебойного агрегата до проектной отметки;

извлечение устройства из грунта с помощью сваебойного агрегата, при этом боковые стенки устройства складываются, уменьшая сопротивление грунта выдергиванию.

На рис. приведена схема устройства при его извлечении из грунта.

Строительство с использованием фундаментов в выштампованных полостях позволяет исключить земляные и опалубочные работы, снизить расход бетона на 30...70%, сметную стоимость и трудозатраты - в 1,5...3 раза.

ЦНИИЭПсельстрой оказывает техническую помощь при внедрении пирамидальных свай в выштампованном ложе, проводит консультации, высылает проектную документацию, поставляет заказчику оборудование.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Общие положения

2. Конструктивные мероприятия при использовании свайных фундаментов в пучинистых грунтах

3. Расчет оснований свайных фундаментов на действие вертикальных нагрузок

4. Расчет свайных фундаментов по деформациям пучения грунта

5. Устройство свайных фундаментов в пучинистых грунтах

6. Примеры расчета свайных фундаментов по деформациям пучения грунта.

Приложение. Устройство для выштамповывания котлованов