

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/09KO615.pdf>

DOI: 10.15862/09KO615 (<http://dx.doi.org/10.15862/09KO615>)

УДК 624

Добрынин Антон Олегович
ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь¹
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: dobrynin.anton@yandex.ru

Повышение эффективности свайных фундаментов, устанавливаемых в пучинистых грунтах

¹ 614990, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29^а

Аннотация. Предлагаемые в данной статье рекомендации по расчету распространяются на погружаемые вдавливанием железобетонные двуконусные сваи для фундаментов зданий и сооружений, конструкция которых разработана кафедрой «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Двуконусные сваи характеризуются повышенной сопротивляемостью действию сил морозного пучения по сравнению с традиционно применяемыми призматическими сваями за счет обратной направленности верхнего конуса.

Приводится описание методики расчета фундамента в виде куста из двуконусных свай в сезоннопромерзающем водонасыщенном глинистом грунте с точки зрения его устойчивости против действия сил морозного пучения. Проведен сравнительный анализ полученных расчетных данных с экспериментальными.

Разработана и численно реализована методика определения величины выпучивания двуконусных свай в составе фундаментных кустов силами морозного пучения при моделировании грунта как линейно-деформируемого пространства. Предложен метод расчета, в основу которого положено условие равенства работ, совершаемых силами морозного пучения, и силами, препятствующими выпучиванию ненагруженных свайных фундаментов из двуконусных свай. Метод позволяет с достаточной для практических целей точностью проектировать фундаменты в водонасыщенных глинистых грунтах.

Ключевые слова: двуконусная свая; пучинистый грунт; глубина промерзания; морозное пучение; выпор фундамента; напряженно-деформированное состояние грунта; деформации пучения грунта.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Добрынин А.О. Повышение эффективности свайных фундаментов, устраиваемых в пучинистых грунтах // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/09KO615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/09KO615

Введение

Основополагающей стадией, определяющей успешное строительство любого объекта в целом, является выполнение работ нулевого цикла, особенно сложную и ответственную часть которых представляет собой фундаментостроение. В условиях широкого распространения сезоннопромерзающих пучинистых грунтов Сибирско-Уральского региона устройство фундаментов, особенно на естественном основании, является сложной задачей.

Конструкцией, сочетающей в себе преимущества конической сваи, и обладающей повышенной сопротивляемостью действию сил морозного пучения, является двуконусная свая, которая была разработана на кафедре «Основания, фундаменты и мосты» ПГТУ (ПНИПУ) [1] авторами данной статьи.

В практике строительства одиночные сваи используются крайне редко, как правило - в составе фундаментов в виде кустов и рядов свай. В то же время, действующие нормативные документы не учитывают в расчетах по сопротивлению силам морозного пучения эффекта взаимного влияния свай, имеющего место при близком расположении в кусте (ряду) последних.

Таким образом, совершенствование методов расчета свайных фундаментов на действие сил морозного пучения следует рассматривать как один из возможных путей повышения их надёжности.

Взаимодействие кустов из двуконусных свай с окружающим пучинистым грунтом. Описание методики расчета.

Исследование взаимодействия кустов двуконусных свай с пучинистым грунтом было выполнено в полевых условиях на экспериментальной площадке в Пермском крае [2]. Испытания двуконусных свай на выпучивание проводились в течение двух зимних периодов (2012-2013 гг.). Для проведения натурных экспериментов были использованы железобетонные двуконусные сваи длиной 3 м с углом сбега верхнего конуса $\alpha=4,54^\circ$ и углом сбега нижнего конуса $\beta=3,29^\circ$ (рис. 1).

Основные результаты натурального исследования свидетельствуют о том, что при расположении свай в кусте на расстоянии $3d$ (d -диаметр сваи в голове) деформации пучения грунта существенно меньше тех, которые развиваются вокруг одиночной двуконусной сваи. При этом силы морозного пучения, действующие на сваю в составе куста, на 16-20% меньше сил морозного пучения, действующих на обособленную двуконусную сваю. Это обусловлено дополнительным уплотнением околосвайного пространства при погружении соседних свай куста.

Очевидно, что существующая методика расчета не отражает реальной работы свайных фундаментов, так как она не учитывает совместного характера работы свай и их взаимного влияния.

Учитывая это, авторами предложена новая методика расчета сил морозного пучения и величины выпучивания фундамента в виде куста из двуконусных свай.

Для описания поведения грунта при морозном пучении применяем теорию линейно-деформируемого пространства. При этом во внимание принимаем лишь конечный результат – увеличение объема грунта при промерзании.

Анализ процесса взаимодействия сваи с пучинистым грунтом сводится при этом к осесимметричной задаче определения усилий, возникающих на поверхности контакта

абсолютно жесткого конусообразного включения с расширяющимся линейно-деформируемым слоем грунта толщиной (глубиной промерзания) d_f .

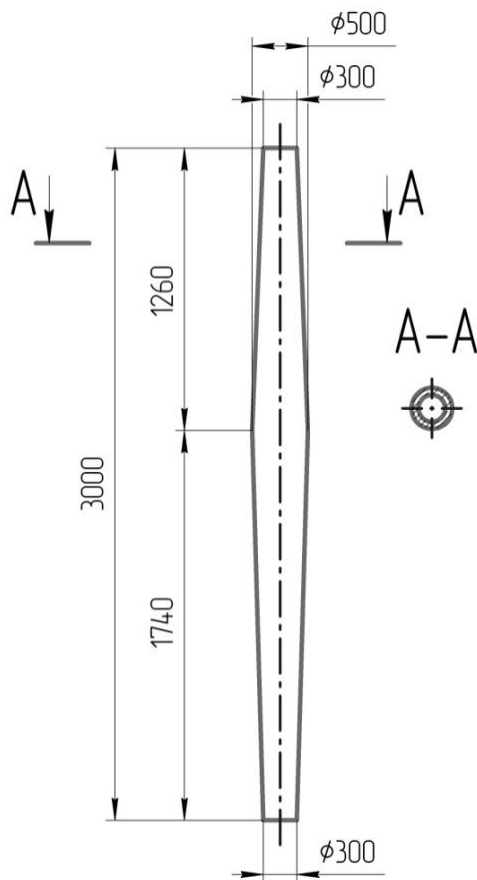


Рис. 1. Геометрические характеристики двуконусной сваи натурной величины

Проблема определения действующих по боковой поверхности сваи сил морозного пучения сводится к решению осесимметричной краевой задачи для слоя линейно-деформируемого грунта мощностью d_f (рис. 2).

Решение краевой задачи для промерзающего грунта с жестким включением – одиночной сваей освещено в работе [3], в данной статье рассматриваются особенности расчета, обусловленные взаимодействием полей напряжений свай куста и их взаимным влиянием.

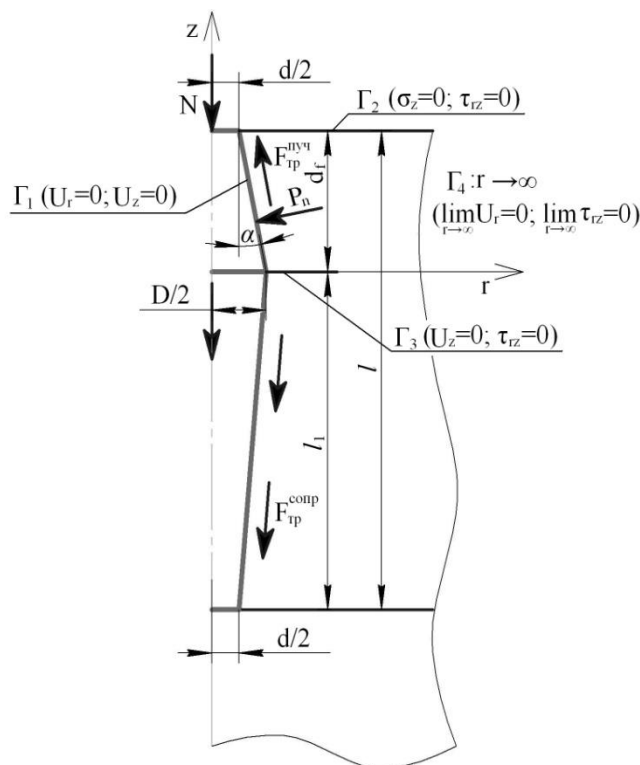


Рис. 2. Расчетная схема. Область аппроксимации решения и границы

При расчете морозного пучения группы свай необходимо учитывать их взаимное влияние.

Особенности поведения свайного куста при морозном пучении обусловлены взаимодействием полей напряжений, возникающих вокруг одиночных свай при их подъеме от морозного пучения грунта. Полная сила, действующая на сваю куста, может быть представлена в виде суммы двух слагаемых:

$$F_z^{полн} = F_z^0 + F_z^{дон}, \quad (1)$$

где

F_z^0 – сила морозного пучения, действующая на обособленную одиночную сваю (не входящую в состав куста);

$F_z^{дон}$ – сила, определяемая суммой полей напряжений, возникающих в грунте при подъеме свай куста, которые при этом рассматриваются как обособленные.

Таким образом, обсуждаемая задача естественным образом распадается на две:

1. расчет F_z^0 ,
2. расчет $F_z^{дон}$.

Возможность такого разделения задачи обосновывается результатами эксперимента, которые представлены в [2]: усилия морозного пучения грунта, действующие на одиночную двуконусную сваю, и усилия на сваю, входящую в состав куста, различаются не более чем на 16-20%.

Задача расчета F_z^0 рассматривалась в [3]. Основные результаты работы, представленной в данной статье, сводятся к следующему.

Исходя из предположения, что касательные силы морозного пучения по боковой поверхности сваи распределены приблизительно по закону треугольника, выражение для силы морозного пучения принимает вид:

$$F_z^0 = 8RGd_f \{b_1\alpha_1[k_0(\alpha_1R) \cdot R\alpha_1 + k_1(\alpha_1R) \cdot 2(1-\nu)] + d_1k_1(\alpha_1R)\} \cdot \frac{\pi^2}{8}, \quad (2)$$

$$\text{при } \alpha_1 = \frac{\pi}{d_f}, \quad (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (4)$$

где

R – осредненный по глубине промерзания грунта радиус верхнего конуса двуконусной сваи;

d_f – глубина промерзания грунта;

$k_0(\alpha_1R), k_1(\alpha_1R)$ – функции Макдональда нулевого и первого порядка;

E – модуль общей деформации грунта;

ν – коэффициент общей относительной поперечной деформации.

При этом коэффициенты b_1, d_1 находятся из условий полного прилипания грунта к поверхности сваи на глубине промерзания, что приводит к системе уравнений [3]:

$$\begin{cases} b_1[4(1-\nu)k_1(\alpha_1R) + \alpha_1Rk_0(\alpha_1R)] + d_1k_1(\alpha_1R) = 0, \\ b_1[\alpha_1Rk_1(\alpha_1R)] + d_1k_1(\alpha_1R) = \frac{2h_f}{\pi}, \end{cases} \quad (5)$$

где

h_f – величина подъема свободной поверхности грунта при морозном пучении.

Приложенная по глубине промерзания нормальная к верхнему конусу сваи погонная (по периметру) сила определяется по [3] как:

$$F_n = -2Gh_f. \quad (6)$$

Вместе с увеличением силы морозного пучения возрастают и касательные усилия, передающиеся от сваи ниже глубины промерзания на грунт.

Очевидно, равнодействующая касательных сил морозного пучения действует вдоль оси сваи. Сместим равнодействующую вниз вдоль оси сваи ниже глубины промерзания и заменим распределенной вдоль оси (ниже глубины промерзания) погонной нагрузкой $2Q_z$:

$$F_z = 2Q_z(l - d_f). \quad (7)$$

Полагая, что

$$(l - d_f) \gg a, \quad (8)$$

(т.е. длина участка сваи ниже глубины промерзания значительно больше расстояния между сваями), перейдем к рассмотрению плоской задачи. Это равносильно постановке следующей задачи.

В неограниченной среде вдоль оси Z действует удельная (в расчете на единицу длины вдоль оси Z) сила $2Q_z$. Поле напряжений в неограниченном пространстве в цилиндрических координатах r, θ, z должно быть осесимметричным и не зависящим от θ и z . Рассматривая равновесие цилиндра радиуса r , находим:

$$2\pi r \tau_{rz} = -2Q_z, \quad (9)$$

откуда

$$\tau_{rz} = -\frac{Q_z}{\pi r}. \quad (10)$$

Остальные компоненты напряжений равны нулю:

$$\tau_r = \tau_\theta = \tau_z = 0. \quad (11)$$

Деформации, связанные с этим полем напряжений, совместны и определяют идентичное искажение поперечного сечения $z = \text{const}$.

Деформированное состояние пространства определяется единственной компонентой деформации:

$$\frac{\partial U_z}{\partial r} = \frac{\partial U_r}{\partial z} = \gamma_{rz} = \frac{\tau_{rz}}{G}. \quad (12)$$

Поскольку поле деформаций не зависит от z , то:

$$\frac{\partial U_r}{\partial z} = 0, \quad (13)$$

тогда

$$\frac{\partial U_z}{\partial r} = \frac{\tau_{rz}}{G} = -\frac{Q_z}{\pi G r}. \quad (14)$$

Интегрируя дифференциальное уравнение (14), получаем:

$$U_z = -\frac{Q_z}{\pi G} \ln|r| + c = \frac{Q_z}{\pi G} \ln\left|\frac{1}{r}\right| + c. \quad (15)$$

Рассмотрим две сваи, находящиеся одна от другой на расстоянии a . В силу симметрии, для каждой из свай касательные напряжения, распределенные по поверхности сваи ниже глубины промерзания и сопротивляющиеся морозному пучению, определяются из следующих соображений.

Если на сваю действует сила $2Q_z^{(2)}$, то средние напряжения, действующие в кольце, ограниченном цилиндрическими поверхностями $r = a - R$ и $r = a + R$, определяются из соотношения:

$$\tau_{rz}^{cp} \cdot R = \int_{a-R}^{a+R} \frac{Q_z}{\pi \cdot r} dr = \frac{Q_z}{\pi} \ln\left(\frac{a+R}{a-R}\right). \quad (16)$$

Отсюда, разлагая логарифмическую функцию в степенной ряд и ограничиваясь первым слагаемым, найдем:

$$\tau_{rz}^{cp} = \frac{Q_z}{\pi R} \ln \left(\frac{1 + \frac{R}{a}}{1 - \frac{R}{a}} \right) \approx 2 \frac{Q_z}{\pi a}. \quad (17)$$

Тогда условие равновесия первой сваи можно записать в виде:

$$\tau_{rz} \pi R + 2Q_z^{(2)} \frac{R}{a} = Q_z^{(1)}. \quad (18)$$

При подъеме сваи от неё на грунт передаются равномерно распределенные по поверхности сваи ниже глубины промерзания касательные усилия $\tau_{rz} = f_{cp}$, равные расчетному сопротивлению сдвигу талого грунта основания. Тогда из (18), предполагая $Q_z^{(1)} = Q_z^{(2)}$, получаем:

$$Q_z^{(1)} = Q_z^{(2)} = \frac{f_{cp} \pi R_c a}{a - 2R_c}, \quad (19)$$

где

R_c – осредненный по длине $(l - d_f)$, т.е. ниже глубины промерзания, радиус двуконусной сваи.

Напомним, что действующее на сваю погонное сопротивление грунта основания сдвигу составляет $2Q_z$. Таким образом, подъем сваи начинается тогда, когда сила морозного пучения удовлетворяет неравенству:

$$F_z^0 \geq [Q_g + 2|Q_z| \cdot (l - d_f) + F_n \cdot 2\pi R_d \cdot tg\alpha], \quad (20)$$

где

Q_g – вес сваи;

R_d – осредненный по глубине промерзания радиус двуконусной сваи;

d_f – глубина промерзания грунта;

l – длина сваи;

α – угол сбег верхнего конуса двуконусной сваи.

Предположим, что в процессе подъема сваи действующая на нее выталкивающая сила морозного пучения уменьшается по линейному закону [4]:

$$F_z^1 = F_z^0 \left(1 - \frac{h_c}{h_f}\right), \quad (21)$$

где

h_c – подъем сваи;

h_f – подъем свободной поверхности грунта.

Подъем сваи прекратится тогда, когда выталкивающая сила морозного пучения F_z^1 станет меньше удерживающей силы, т.е. в случае:

$$F_z^1 \leq [Q_g + 2|Q_z| \cdot (l - d_f - h_c) + F_n \cdot 2\pi R_d \cdot tg\alpha]. \quad (22)$$

Пренебрегая величиной подъема сваи (входящей в состав свайного куста) h_c по сравнению с длиной сваи l и глубиной промерзания d_f , введем обозначение:

$$F_z^{nped} = [Q_g + 2|Q_z| \cdot (l - d_f) + F_n \cdot 2\pi R_d \cdot tg\alpha]. \quad (23)$$

Рассматривая совместно (21), (22), (23), определим величину подъема каждой из двух взаимодействующих свай:

$$h_c = h_f \left(1 - \frac{F_z^{nped}}{F_z^0}\right). \quad (24)$$

Ввиду того, что согласно предлагаемой методике расчета величины подъема свай свайного куста, состоящего из двух свай, при морозном пучении грунт моделируется линейным деформируемым пространством, то легко можно сделать обобщение для расчета куста из n свай.

Действительно, в силу линейности задачи, итоговое взаимодействие i -свай с остальными $(n-1)$ сваями сводится к суммированию парных взаимодействий i -свай с остальными сваями куста.

В приведенных выше соотношениях требуется лишь изменить формулы вычисления Q_{zi} для i -свай. Условие предельного равновесия i -ой сваи запишем в виде:

$$f_{cp} \pi R + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n 2Q_z^{(j)} \frac{R}{a_j} = Q_z^i. \quad (25)$$

Отсюда, предполагая $Q_z^j = Q_z^i$, получаем:

$$Q_z^{(i)} = f_{cp} \pi R \cdot \left(1 - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{2R}{a_j}\right)^{-1} = f_{cp} \pi \left(\frac{1}{R} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{2}{a_j}\right)^{-1}. \quad (26)$$

На основании предложенной выше методике расчета определим средний подъем двуконусной сваи, работающей в составе куста от действия сил морозного пучения, и сопоставим полученную величину с данными эксперимента [2].

Пример использования методики расчета. Сравнение теоретических данных с экспериментальными.

Определим величину подъема полый двуконусной сваи длиной 3 м с геометрическими характеристиками, показанными на **рис. 1**, находящейся в составе куста из 4 свай от действия сил морозного пучения. В качестве исходных используем экспериментальные данные, полученные за период наблюдений в течение зимних сезонов 2011/2012 и 2012/2013 гг. [2].

Исходные данные для расчета:

- максимальная глубина промерзания грунта $d_f = 1,36$ м;
- средний модуль общей деформации прошитого сваями слоя грунта $E = 6,5$ МПа;
- коэффициенты относительной поперечной деформации: мерзлого грунта $\nu = 0,25$, талого грунта $\nu = 0,42$;
- величина подъема свободной поверхности грунта при морозном пучении $h_f = 0,09$ м;

- приведенная величина пучения $h_f^{np1} = \frac{h_f}{2} = 0,045$ м;
- приведенная величина пучения, исходя из предположения изменения ε_0 по закону квадратной параболы, $h_f^{np2} = \frac{h_f}{3} = 0,03$ м;
- средний радиус сваи в пределах глубины промерзания $R_{cp}^m = 0,22$ м;
- средний радиус сваи в пределах толщи талого грунта $R_{cp}^m = 0,19$ м;
- длина сваи $l = 3$ м;
- средний периметр сваи: в пределах промерзшей толщи $U_{cp}^m = 1,38$ м; в пределах слоя талого грунта $U_{cp}^m = 1,19$ м;
- угол сбега верхнего конуса сваи $\alpha = 4,54^\circ$, $tg\alpha = 0,0794$;
- среднее расчетное сопротивление грунта основания на боковой поверхности $f = 14$ кПа = 14 кН/м² (или $1,4$ тс/м², см. **табл. 2** СНиП 2.02.03-85 [5]);
- вес сваи $P = 9,41$ кН ($0,96$ т· $9,8$ м/с²);
- нагрузка на сваю $N=0$.

Средний подъем сваи от действия сил морозного пучения с учетом влияния соседних свай, вычисляется по формуле:

$$h_c = h_f^{np2} \left(1 - \frac{F_z^{np\partial}}{F_z^0}\right) = 0,03 \left(1 - \frac{238,9}{254,7}\right) \approx 0,00186 \text{ м.}$$

Величина, удерживающей сваю силы, определяется следующим образом:

$$F_z^{np\partial} = [Q_g + 2|Q_z| \cdot (l - d_f) + F_n \cdot 2\pi \cdot R_d \cdot tg\alpha] =$$

$$= [9,41 + 2 \cdot 54,3 \cdot (3 - 1,36) + 468 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,22 \cdot 0,0794] = 238,9 \text{ кН};$$

$$Q_{zi} = \pi f_{cp} \left(\frac{l}{R} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{2}{a_j}\right)^{-1} = 3,14 \cdot 13 \left(\frac{2}{0,19} - \frac{2}{0,9} + \frac{2}{0,9} + \frac{2}{1,273}\right)^{-1} = -54,3 \text{ кН};$$

$$F_n = -2G \cdot h_f = -2 \cdot 2600 \cdot 0,09 = -468 \text{ кН/м};$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{6,5}{2(1+0,25)} = 2,6 \text{ МПа} = 2600 \text{ кН/м}^2.$$

Сила морозного пучения, действующая на сваю и определенная при условии, что глубина смерзания пучинистого грунта с поверхностью сваи равна глубине промерзания d_f , определяется по формуле:

$$F_z^{0max} = 8 \cdot R \cdot G \cdot d_f \cdot \left\{ b \cdot \beta [k_0 \cdot R \cdot \beta + k_1 \cdot 2(1-\nu)] + d \cdot \beta \cdot k_1 \right\} \frac{\pi^2}{8} =$$

$$= 8 \cdot 0,22 \cdot 2600 \cdot 1,36 \left\{ -0,01337 \cdot 2,3088 [0,91224 \cdot 0,22 \cdot 2,3088 + 1,6277 \cdot 2(1-0,25)] + \right\} \frac{3,14^2}{8} =$$

$$= 577,3 \text{ кН};$$

$$F = \frac{2h_f^{np1}}{\pi} = \frac{2 \cdot 0,045}{3,14} = 0,029 \text{ м};$$

$$\beta = \frac{\pi}{d_f} = \frac{3,14}{1,36} = 2,3088 \text{ м}^{-1};$$

$$B^r = 4(1-\nu) \cdot k_1 + k_0 \cdot \beta \cdot R = 4(1-0,25) \cdot 1,6277 + 0,91224 \cdot 2,3088 \cdot 0,22 = 5,3465;$$

$$B^z = \beta \cdot R \cdot k_1 = 2,3088 \cdot 0,22 \cdot 1,6277 = 0,8268.$$

Значения функции Макдональда определяем интерполяцией в соответствии с **табл. 1**.

Таблица 1

Значения функции Макдональда

<i>x</i>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5
$K_0(x)$	2,427	1,752	1,372	1,114	0,924	0,777	0,66	0,565	0,486	0,421	0,213	0,113	0,062
$K_1(x)$	9,853	4,775	3,055	2,184	1,656	1,302	1,05	0,861	0,716	0,601	0,277	0,139	0,073

$$\beta \cdot R = 2,3088 \cdot 0,22 = 0,508;$$

$$k_0 = k_0(\beta \cdot R) = 0,91224;$$

$$k_1 = k_1(\beta \cdot R) = 1,6277;$$

$$D^r = k_1 = 1,6277;$$

$$D^z = k_0 = 0,91224;$$

$$\Delta = B^r \cdot D^z - B^z \cdot D^r = 5,3465 \cdot 0,91224 - 0,8268 \cdot 1,6277 = 3,5315;$$

$$\Delta_B = -F \cdot D^r = -0,029 \cdot 1,6277 = -0,0472 \text{ м};$$

$$\Delta_d = F \cdot B^r = 0,029 \cdot 5,3465 = 0,155 \text{ м};$$

$$b = \frac{\Delta_B}{\Delta} = \frac{-0,0472}{3,5315} = -0,01337 \text{ м};$$

$$d = \frac{\Delta_d}{\Delta} = \frac{0,155}{3,5315} = 0,04389 \text{ м}.$$

Однако, согласно экспериментальным исследованиям, средняя действительная глубина смерзания грунта с поверхностью двуконусной сваи составляет $d_f^1 \approx 0,6$ м, что подтверждается также исследованиями [3, 6]. Тогда в пределах данных частных условий справедливо:

$$F_z^0 = \frac{F_z^{0max}}{d_f} \cdot d_f^1 = \frac{577,3}{1,36} \cdot 0,6 = 254,7 \text{ кН}.$$

Средний суммарный подъем сваи в составе куста от действия сил морозного пучения за период 2012-2013 гг. составил 0,0017 м [3], таким образом, результаты расчета расходятся с экспериментальными данными на 9%. При этом расхождение идёт в запас расчета.

Учитывая малость определяемых величин по сравнению с допустимыми вертикальными перемещениями фундаментов для большинства инженерных сооружений, сходимость расчетных данных с экспериментальными можно считать вполне достаточной.

Заключение

Разработан инженерный метод расчета фундамента в виде куста двуконусных свай по деформациям пучения, отражающий реальный характер их работы в условиях сезоннопромерзающих пучинистых грунтов. Метод учитывает влияние пространственной геометрии свай, грунтово-геологических и природно-климатических условий района строительства и физико-механических характеристик грунта.

Сопоставление экспериментальных данных с расчётными показывает их удовлетворительную сходимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 42234 Российская федерация, МПК ⁷E02D 5/30. Свая / Юшков Б.С., Добрынин А.О., Репецкий Д.С. – № 2004121946/22; заявл. 20.07.04; опуб. 27.11.04. – Бюл. №33. – 4 с.
2. Юшков Б.С. Определение величины выпора куста из двуконусных свай силами морозного пучения в полевых условиях / Б.С. Юшков, А.О. Добрынин // Приволжский научный вестник. – 2012. – №12. – С. 23-37.
3. Репецкий Д.С. Работа двуконусных свай в пучинистом грунте: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Репецкий Дмитрий Станиславович. – Пермь, ПГТУ. – 2011. – С. 99-127.
4. Цытович Н.А. К теории равновесного состояния воды в мерзлых грунтах: известия АН СССР / Н.А. Цытович // География и геофизика. – 1965. – IX. – №5-6. – С. 493-502.
5. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений – М., 1995. – С. 16-17.
6. Кульчицкий Г.Б. Расчёт устойчивости ромбовидных свай в пучинистых грунтах / Г.Б. Кульчицкий, К.А. Хамидуллин // Проблемы устройства оснований и фундаментов Тобольского нефтехимического комплекса: Тез. докл. научно-практической конференции. – Тюмень, 1976. – С. 83-87.
7. Маров Э.А. Определение касательных и нормальных сил морозного пучения в полевых условиях // Материалы по проектированию сложных фундаментов и оснований и по производству изысканий: сб. науч. тр. / Фундаментпроект – М., 1974. – Вып. 14. – С. 40–49.
8. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах: учеб. пособие. – М.: АСВ, 2000. – 152 с.
9. Оржеховский Ю.Р., Оржеховская Р.Я. Прогноз деформаций фундаментов в промерзающих пучинистых грунтах // Тр. Перм. политехн. ин-та, 1983. – С. 69–74.
10. Орлов В.О., Дубнов Ю.Д., Меренков Я.Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. – Л.: Стройиздат, 1977.
11. Офрихтер В.Г. Взаимодействие кустов из конических пустотелых свай с окружающим грунтом: дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1994.
12. Перетрухин Н.Н. Морозное пучение грунтов и способы защиты сооружений от его воздействий. – М.: Транспорт, 1967. – Вып. 62. – С. 25–54, 74–99.
13. Пономарев А.Б. Основы исследований и расчета фундаментов из полых конических свай / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1999.
14. Пусков В.И. Силовые воздействия морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений и методы их расчета: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1993.
15. Рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов на пучинистых грунтах; ЦНИИЭПсельстрой. – М., 1989.
16. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. – М.: Стройиздат, 1986.

17. Репецкий Д.С. Работа двуконусных свай в пучинистом грунте: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011.
18. Сафонов А.П. Исследование выпучивания свай при промерзании грунта // Проблемы устройства оснований и фундаментов Тобольского нефтехимического комплекса: материалы науч.-практ. конф. – Тюмень, 1976. – С. 43–45.
19. СНИП 23.01–99. Строительная климатология. – М.: Госстрой, 2000. – 65 с.
20. Туренко И.И. Теоретическое исследование взаимодействия промерзающего пучинистого грунта с боковой поверхностью столбчатого фундамента: дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1973. – С. 102–117.
21. Хамидуллин К.А. Исследование работы ромбовидных свай в сильносжимаемых пучинистых грунтах: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1978.
22. Шишкин В.Я. Взаимодействие пирамидальных свай с сезоннопромерзающими пучинистыми грунтами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1986. – 20 с.
23. Щёколов В.К. К расчету нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунта // Прочность, устойчивость и тепловое взаимодействие с грунтом фундаментов на естественном основании: сб. науч. тр. НИИОСП. – М., 1981. – Вып. 76. – С. 96–98.
24. Kezdi A. Bearing Capacity of piles and Pile Groups // 4-th Int. Conf. on soil Mech. and Found. Eng. 1957. – Vol. 2.
25. Kondler R.L. Friction pile groups in cohesive soil. Proc. of the American Society of Civil Engineers // Journal of G. Soil Mechanics and Foundation Division. – 1962. – Vol. 88, NSME. – Part 1, p. 117–149.
26. Michalowski R.L., Ming Z. Frost heave modeling using porosity rate function // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 2006. – P. 703–722.
27. Michalowski R.L., Ming Z. Modeling of freezing in frost-susceptible soils // Computer assisted mechanics and engineering science. – 2006. – P. 613–625.
28. Selvadurai A.P.S., Hu J., Konu I. Computational modeling of frost heave induced soil-pipeline interaction: Modeling of frost heaving // Cold regions science and technology. – 1999. – P. 215–228.
29. Sowers G.F., Martin C.B., Wilson L.L. The bearing capacity of friction pile groups in homogeneous clay from model studies // Proc. of the 5-th IC SMFE. – Paris, 1961. – Vol. 2. – P. 155–159.
30. Whitaker T. Experiment with model piles in groups // Geotechnique. – 1957. – Vol. XII, no. 4. – P. 147–167.

Рецензент: Овчинников Илья Игоревич, эксперт «Поволжского отделения Российской академии транспорта», советник РАТ, кандидат технических наук, доцент.

Dobrynin Anton Olegovich
Perm national research polytechnic university
Russia, Perm
E-mail: adfsad@pstu.ru

Improving the efficiency of pile foundations, organized in heaving soils

Abstract. The recommendations about calculation offered in this article extend on the ferroconcrete two-conical piles immersed by cave-in for the bases of buildings and constructions which design is developed by "Highways and Bridges" chair of the Perm national research polytechnical university.

Two-conical piles are characterized by the increased resilience to action of forces of a frost heaving in comparison with traditionally applied prismatic piles at the expense of the return orientation of the top cone.

The description of a method of calculation of the base in the form of a bush from two-conical piles is provided in frosty water-saturated clay soil from the point of view of its stability against action of forces of a frosty heaving. The comparative analysis of the obtained settlement data with experimental is carried out.

The technique of determination of size of a frosty heaving of two-conical piles as a part of base bushes is developed and in number realized by forces of a frosty heaving when modeling soil as linearly - deformable space. The calculation method which basis the condition of equality of the works made by forces of a frosty heaving, and forces interfering a frosty heaving of not loaded pile bases from two-conical piles is is offered. The method allows to project with an accuracy sufficient for practical purposes the bases in water-saturated clay soil.

Keywords: biconical pile; heaving soil; freezing depth; frost heaving; foundation buckling; soil strain-stress state; soil heaving deformation.

REFERENCES

1. Stalemate. 42234 Russian Federation, MPK 7E02D 5/30. Pile / Yushkov B.S., Dobrynin A.O., Repetsky D.S. – No. 2004121946/22; 20.07.04; 27.11.04. – Bulletin No. 33. – 4 p.
2. Yushkov B.S. Determination of size of a vertical displacement of a bush from two-conical piles by forces of a frosty heaving in field conditions / B.S. Yushkov, A.O. Dobrynin // the Volga scientific bulletin. – 2012. – No. 12. – Page 23-37.
3. Repetsky D.S. The work of two-conical piles in frosty heaving soil: yew. ... Cand. Tech. Sci.: 05.23.02 / Repetsky Dmitry Stanislavovich. – Perm, PGU. – 2011. – Page 99-127.
4. Tsytoich N.A. To the theory of an equilibrium condition of water in frozen soil: news of Academy of Sciences of the USSR / N.A. Tsytoich // Geography and geophysics. – 1965. – IX. – No. 5-6. – Page 493-502.
5. Construction Norms and Regulations 2.02.01-83*. Foundations of buildings and constructions – M., 1995. – Page 16-17.
6. Kulchitsky G.B. Calculation of stability of diamond-shaped piles in the heaving soil / G.B. Kulchitsky, K.A. Hamidullin // Problems of the device of the bases and the bases of the Tobolsk petrochemical complex: Tez. scientific and practical conference. – Tyumen, 1976. – Page 83-87.
7. Marov E.A. Definition of tangents and normal forces of a frosty heaving in field conditions // Materials on design of the difficult bases and the bases and on production of researches: / Fundamentproyekt – M., 1974. – Vyp. 14. – Page 40-49.
8. Nevzorov A.L. The bases on the frosty soil: studies. grant. – M.: DIA, 2000. – 152 pages.
9. Orzhekhovskiy Yu.R., Orzhekhovskaya R.Ya. The forecast of deformations of the bases in the soil which is freezing through the heaving soil // Tr. Perm.research. in-that, 1983. – Page 69-74.
10. Orlov V.O., Dubnov Yu.D., Merenkov of Ya.D. Heaving of the freezing-through soil and his influence on the bases of constructions. – L.: Stroyizdat, 1977.
11. Ofrikhter V.G. Interaction of bushes from conic hollow piles with surrounding soil: yew ... Cand. Tech. Sci. / Perm. the state. техн. un-t. – Perm, 1994.
12. Peretrukhin N.N. Frosty heaving of soil and ways of protection of constructions against its influences. – M.: Transport, 1967. – Vyp. 62. – Page 25-54, 74-99.
13. Ponomarev A.B. Bases of researches and calculation of the bases from hollow conic piles / Perm. the state. техн. un-t. – Perm, 1999.
14. Puskov V.I. Power impacts of a frosty heaving of soil on the bases of constructions and methods of their calculation: yew ... Dr. Sci. Tech. – M., 1993.
15. Recommendations about design and the device of the pile bases on the heaving soil; Tsniiptselstroy. – M., 1989.
16. Recommendations about the account and prevention of deformations and forces of a frosty heaving of soil. – M.: Stroyizdat, 1986.
17. Repetsky D.S. Work of two-conical piles in heaving soil: yew.... Cand. Tech. Sci. – Perm: Publishing house Perm. the state. res. un-that, 2011.

18. Safonov A.P. Research of a heaving of piles at frost penetration in soil // Problems of the device of the bases and the bases of the Tobolsk petrochemical complex: materials. – Tyumen, 1976. – Page 43-45.
19. CONSTRUCTION NORMS AND REGULATIONS 23.01–99. Construction climatology. – M.: State Committee for Construction, 2000. – 65 pages.
20. Turenko I.I. Theoretical research of interaction of the freezing-through heaving soil with a side surface of the column base: yew ... Cand. Tech. Sci. – L., 1973. – Page 102-117.
21. Hamidullin K.A. Research of work of diamond-shaped piles in strongly compressible the heaving soil: yew ... Cand. Tech. Sci. – M., 1978.
22. Shishkin V.Ya. Interaction of pyramidal piles with frosty water-saturated clay soil: yew. ... Cand. Tech. Sci. – M., 1986. – 20 pages.
23. Shchyokolov V.K. To calculation of standard depths of seasonal frost penetration and thawing of soil / Durability, stability and thermal interaction with soil of the bases on the natural basis: сб. науч. тр. NIIOSP. – M, 1981. – Vyp. 76. – Page 96-98.
24. Kezdi A. Bearing Capacity of piles and Pile Groups // 4-th Int. Conf. on soil Mech. and Found. Eng. 1957. – Vol. 2.
25. Kondler R.L. Friction pile groups in cohesive soil. Proc. of the American Society of Civil Engineers // Journal of G. Soil Mechanics and Foundation Division. – 1962. – Vol. 88, NSME. – Part 1, p. 117–149.
26. Michalowski R.L., Ming Z. Frost heave modeling using porosity rate function // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 2006. – P. 703 – 722.
27. Michalowski R.L., Ming Z. Modeling of freezing in frost-susceptible soils // Computer assisted mechanics and engineering science. – 2006. – P. 613–625.
28. Selvadurai A.P.S., Hu J., Konu I. Computational modeling of frost heave induced soil-pipeline interaction: Modeling of frost heaving // Cold regions science and technology. – 1999. – P. 215 – 228.
29. Sowers G.F., Martin C.B., Wilson L.L. The bearing capacity of friction pile groups in homogeneous clay from model studies // Proc. of the 5-th IC SMFE. – Paris, 1961. – Vol. 2. – P. 155 – 159.
30. Whitaker T. Experiment with model piles in groups // Geotechnique. – 1957. – Vol. XII, no. 4. – P. 147 – 167.