

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.07.6>Преснов О.М.¹, Холодов С.П.², Серватинский В.В.³¹²³Кандидат технических наук, доцент,
Сибирский федеральный университет**БУРОНАБИВНЫЕ СВАИ С УШИРЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШОЙ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ***Аннотация*

В климатических условиях Сибири свайные фундаменты работают под воздействием сил морозного пучения. Поэтому длину свай принято принимать с учетом анкеровки. Однако при строительстве легких зданий несущая способность таких фундаментов используется не более, чем на 30 - 40 % и большая часть средств расходуются нерационально.

В этой работе рассматриваются конструкции свай, обеспечивающие минимальные затраты при строительстве в этих условиях - буронабивные сваи с уширением.

Из расчетов видно, что вариант буронабивной сваи с уширением в сравнении со обычной уменьшает объем бетона на изготовление сваи (а, следовательно, и стоимость) на 44% (почти в 2 раза).

Ключевые слова: свайные фундаменты, большая глубина промерзания, малые нагрузки, буронабивные сваи с уширением.

Presnov O.M.¹, Cholodov S.P.², Servatinski V.V.³¹²³PhD in Engineering, Associate professor,
Siberian Federal University**AUGER-CAST GROUT PILES WITH A BROADENING UNDER THE CONDITIONS OF A GREATER DEPTH OF FREEZING***Abstract*

In the climatic conditions of Siberia, pile foundations work under the influence of frost punching forces. Therefore, the length of the piles is accepted taking into account anchoring. However, when building light buildings, the bearing capacity of such foundations is used no more than for 30-40% and most of the funds are spent irrationally.

In this paper, pile structures are considered that provide minimum costs for construction under these conditions - auger-cast grout piles with a broadening.

It can be seen from the calculations that the version of the auger-cast grout piles with a broadening in comparison with the conventional one reduces the volume of concrete for pile manufacturing (and, consequently, the cost) by 44% (almost 2 times).

Keywords: pile foundations, great depth of freezing, low loads, auger-cast grout piles with a broadening.

Email авторов / Author email: presn955@mail.ru, holodovsp@mail.ru, vservatinsky@list.ru

Состояние вопроса

В климатических условиях Сибири свайные фундаменты работают под воздействием сил морозного пучения [1,2,3,4]. Поэтому длину свай принято принимать с учетом анкеровки (с острием много ниже глубины промерзания d_f) [5]. Однако при строительстве легких зданий (1-3 этажа) несущая способность таких фундаментов используется не более, чем на 30 - 40 % и большая часть средств расходуются впустую.

В этой работе рассматриваются конструкции свай, обеспечивающие минимальные затраты при строительстве в этих условиях - буронабивные сваи с уширением [6]. При наличии сил пучения, нижняя часть сваи выполняет роль анкера и обеспечивает устойчивость на выдергивание.

Расчет таких свай для определения оптимальных параметров анкера выполняется в следующем порядке:

1. Определяется требуемая несущая способность F_d и диаметр d сваи.
2. Определяется величина действующих касательных сил пучения.
3. Определяется величина заделки сваи в непромерзающий грунт и диаметр уширения

Определим минимальную длину свай из условия устойчивости против сил пучения.

Расчет ведем для наиболее распространенных грунтов. В нашем случае грунт представлен суглинками тугопластичными. Физические характеристики грунта следующие: $W_p = 0,11$; $W_l = 0,20$; $W = 0,14$; $J_p = 0,09$; $J_l = 0,3$; $\rho_d = 1,55 \text{ т/м}^3$; $\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$; $e = 0,75$; $S_r = 0,51$. По [11] $R_f = 0,50 \cdot 10^{-3}$, грунт среднепучинистый $\varepsilon_{fh} = 0,05$. Подземные воды до глубины 6,0 м не встречены. Глубина промерзания $d_f = 2,0 \text{ м}$.

Конструкция легкого здания. Здание одноэтажное кирпичное с высотой этажа $h = 3,0 \text{ м}$. Толщина стены $\delta = 250 \text{ мм}$. Полы по грунту. Нагрузка на погонный метр стены $P = \delta \cdot h \cdot \rho \cdot l = 0,25 \cdot 3,0 \cdot 1,35 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ т/м} = 10 \text{ кН/м}$. При шаге свай 1 м нагрузка на сваю составит $N = 10 \text{ кН}$.

1.) - Расчет выполняем для висячей буронабивной сваи [10] диаметром $d = 100 \text{ мм}$, длиной 3 м. Несущая способность этой сваи, определенная по (7.8) [11] составит:

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cr} R \cdot A + u \cdot \Sigma \gamma_{cf} f_i \cdot h_i) = 0,8 \cdot (1 \cdot 500 \cdot 0,008 + 0,314 \cdot 0,7 \cdot (23 \cdot 2 + 32,5 \cdot 1)) = 17,0 \text{ кН}$$

где γ_c – коэффициент условий работы свай в грунте, равный;

γ_{cf} – коэффициент условия работы грунта на боковой поверхности свай;

A – площадь опирания на грунт свай, m^2 ;

u – наружный периметр поперечного сечения ствола, м;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай, кПа;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола свай, кПа;

h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью свай, м.

Принимая $\gamma_k = 1,55$ и формулу (7.2) [11] $N \leq F_d / \gamma_k$; $10 \leq 17,0 / 1,55 = 10,96$ кН,

F_d на 10 % больше требуемой.

С учетом силы трения оседающего грунта (негативная), определим ее по выражению (Приложение Ж[11]):

$$F_{neg} = u \cdot \sum f_{n,i} \cdot h_i = 0,314 \cdot 23 \cdot 2 = 14,44 \text{ кН}$$

Тогда, несущая способность свай найдется из выражения:

$$N + F_{neg} \leq F_d / \gamma_k$$

Для удовлетворения этого условия потребуется свая длиной 7 м.

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{cf} f_i \cdot h_i) = 0,8 \cdot (1 \cdot 750 \cdot 0,008 + 0,314 \cdot 0,7 \cdot (35 \cdot 2 + 40 \cdot 2 + 41 \cdot 1)) = 38,38$$

$$N + F_{neg} \leq F_d / \gamma_k = 10 + 14,44 = 24,44 = 38,38 / 1,55 = 24,76 \text{ кН}$$

2.) - Выполняем расчет устойчивости свай против касательных сил пучения. Уравнение устойчивости определится:

$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} \leq n \cdot N + F_{du} = n \cdot N + \gamma_c \cdot u \cdot \sum \gamma_{cf} f_i \cdot h_i \quad (1)$$

где τ_{fh} – расчетное значение удельной касательной силы пучения, кПа, принимается равным: для среднепучинистых грунтов - 55 кПа;

A_{fh} – расчетная площадь боковой поверхности фундамента, m^2 , находящейся в пределах промерзающего грунта;

N – расчетная постоянная нагрузка, кН, от здания;

n – коэффициент перегрузки, принимаемый 0,9.

В нашем случае $A_{fh} = d_f \cdot u = 2 \cdot 0,314 = 0,628 \text{ м}^2$; $\tau_{fh} = 55$ кПа. Левая часть уравнения равна:

$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} = 55 \cdot 0,628 = 34,5 \text{ кН}$$

Длина анкерной части свай 5 м. Тогда правая часть уравнения равна:

$$n \cdot N + F_{du} = n \cdot N + \gamma_c \cdot u \cdot \sum \gamma_{cf} f_i \cdot h_i = 0,9 \cdot 10 + 0,6 \cdot 0,314 \cdot 0,7 \cdot (35 \cdot 2 + 40 \cdot 2 + 42,5 \cdot 1) = 34,38 \text{ кН}$$

Условие (1) не выполняется, требуется свая длиной 8 м.

3.) - Вместо свай длиной 8 м, применим буронабивную сваю с уширением.

Определим величину заделки свай в непромерзающий грунт и диаметр уширения.

Постановка задачи

Сопrotивляться силам пучения будет часть свай ниже глубины промерзания d_f (анкерная). Несущая способность этой части свай, работающей на выдергивающую нагрузку F_{du} , определится (7.14)[11] как:

$$F_{du} = \gamma_c \cdot u \cdot \sum \gamma_{cf} f_i \cdot h_i$$

Примем, учитывая уширение на уровне острия свай, что боковая поверхность анкерной части свай будет равна поверхности цилиндра длиной L_A (часть свай ниже d_f) и диаметром D равном диаметру уширения [12,13].

Так как $L_A \leq 2$ м, $f_i \approx \text{const}$ и знак \sum можно опустить [14]. В нашем случае несущая способность анкерной части свай, работающей на выдергивающую нагрузку F_A определится:

$$F_A = \gamma_c \cdot \pi \cdot D \cdot \gamma_{cf} f_i \cdot L_A = 0,6 \cdot 3,14 \cdot D \cdot 0,7 \cdot f_i \cdot L_A \quad (2)$$

В уравнении два неизвестных, поэтому, зная требуемую F_{du} , будем подбирать D и L_A из условия экономичности (минимального расхода бетона).

Форма уширения принята по технологии ТИСЭ [15], представляет собой полусферу, обращенную плоской поверхностью вниз.

Для того чтобы результаты расчетов можно было использовать для других размеров элементов сваи, расчеты будем вести в относительных величинах.

Найдем отношение объема уширения $V_{уш}$ к объему 1 погонного метра длины сваи $V_{пм}$.

$$m = V_{уш} / V_{пм} = 4 \cdot \pi \cdot D^3 \cdot 4/3 \cdot 8 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 1 = 2 \cdot D^3 / 3 \cdot d^2$$

Тогда объем бетона анкерной части сваи V_A определится:

$$V_A = L_A \cdot V_{пм} + V_{уш} = V_{пм} \cdot (L_A + V_{уш} / V_{пм}) = V_{пм} \cdot (L_A + m);$$

$$c = V_A / V_{пм} = L_A + m.$$

c - объем бетона анкерной части сваи в объемах 1 погонного метра.

Найдем отношение несущей способности анкера на выдергивающую нагрузку F_A к несущей способности 1 погонного метра длины сваи $F_{пм}$ ниже d_f . учитывая формулу:

$$b = F_A / F_{пм} = \gamma_c \cdot \pi \cdot D \cdot \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot L_A / \gamma_c \cdot \pi \cdot d \cdot \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot 1 = D \cdot L_A / d \cdot 1 = L_A \cdot D/d;$$

b - несущая способность анкера в единицах несущей способности 1 погонного метра сваи ниже d_f .

Эффективность конструктивного решения будем измерять удельной несущей способностью (несущая способность отнесенная к объему бетона) анкера отнесенной к удельной несущей способности 1 погонного метра сваи ниже d_f .

$$k = b / c = F_A \cdot V_{пм} / V_A \cdot F_{пм} = Q \cdot F_A / V_A ;$$

$Q = V_{пм} / F_{пм} = \text{const}$ и не зависит от конструкции анкера.

Рациональные варианты конструкций анкера

В таблице 1 представлены результаты расчетов 15 вариантов конструкций анкеров сваи.

Так как расчеты велись в относительных величинах, она позволяет решать следующие задачи:

- подобрать размеры анкера по требуемой несущей способности на выдергивающую нагрузку F_A ;
- выбрать наиболее эффективные D/d и L_A ;
- выбрать размеры анкера между значениями указанными в таблице (возможна интерполяция значений).

Таблица 1 - Характеристики анкера сваи

D/d	$m = V_{уш} / V_{пм}$	$c = V_A / V_{пм}$	$b = F_A / F_{пм}$	$k = Q \cdot F_A / V_A$
	2	3	4	5
$L_A = 1,0 \text{ м}$				
1	0,03	1,03	1,05	1,02
2	0,27	1,27	2,20	1,74
3	0,90	1,90	3,45	1,82
4	2,13	2,13	4,80	1,53
5	4,16	5,16	6,25	1,21
$L_A = 1,5 \text{ м}$				
1	0,02	1,52	1,55	1,02
2	0,18	1,68	3,20	1,90
3	0,60	2,10	4,95	2,36
4	1,43	2,93	6,80	2,32
5	3,71	5,21	8,75	1,68
$L_A = 2,0 \text{ м}$				
1	0,02	2,02	2,05	1,01
2	0,13	2,13	4,20	1,97
3	0,45	2,45	6,45	2,63
4	1,06	3,06	8,80	2,88
5	2,08	4,08	11,3	2,76

Пользуясь таблицей 1, определим наиболее рациональные размеры анкера сваи. Требуемая несущая способность анкера сваи равна:

$$F_A = \tau_{fh} \cdot A_{fh} \cdot n \cdot N = 1,0 \cdot 55 \cdot 0,628 - 0,9 \cdot 10 = 34,5 - 9 = 25,5 \text{ кН}$$

Несущая способность 1 погонного метра сваи ниже d_f равна:

$$F_{\text{пм}} = \gamma_c \cdot \pi \cdot d \cdot \gamma_{cf} f_i \cdot l = 0,6 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,7 \cdot 32,5 \cdot 1 = 4,3 \text{ кН}$$

$$b = F_A / F_{\text{пм}} = 25,5 / 4,3 = 5,95$$

Ищем в таблице 1 наиболее близкое большее значение n (колонка 4) для каждого варианта L_A . и выбираем то которое имеет большее k (колонка 5). Наибольшей удельной несущей способности анкера будут соответствовать $D/d = 3$ ($D = 0,3$ м) и $L_A = 2$ м.

Определим несущую способность анкера при этих размерах по выражению (2):

$$F_A = \gamma_c \cdot \pi \cdot D \cdot \gamma_{cf} f_i \cdot L_A = 0,6 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \cdot 0,7 \cdot 35 \cdot 2,0 = 27,7 \text{ кН} > 25,5 \text{ кН}$$

Определяется несущая способность F_d сваи с уширением.

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \cdot \Sigma \gamma_{cf} f_i \cdot h_i) = 0,8 \cdot (1 \cdot 575 \cdot 0,071 + 0,314 \cdot 0,7 \cdot (23 \cdot 2 + 35 \cdot 2)) = 53,0 \text{ кН}$$

С учетом отрицательных сил трения, возникающих на боковой поверхности сваи при осадке околосовайного грунта после оттаивания $F_{\text{neg}} = 14,44$ кН, F_d в 1,4 раза больше требуемой.

Из расчетов видно, что вариант буронабивной сваи с уширением в сравнении сообычной уменьшает объем бетона на изготовление сваи (а, следовательно, и стоимость) на 44% (почти в 2 раза). При этом свая использует запас несущей способности на 72%.

Заключение

Анализ материалов таблицы позволяет сделать следующие выводы:

1. Таблица позволяет подобрать наиболее рациональные размеры анкера с точки зрения его удельной несущей способности.
2. Удельная несущая способность анкера, при постоянной длине, с ростом D/d вначале растет, а затем снижается.
3. Наиболее рациональная длина анкера L_A зависит от величины выдергивающей нагрузки.

Список литературы / References

1. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. – М.: ПНИИИС, 1986.
2. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах. / А.Л. Невзоров – М.: Изд. АСВ, ISBN 5-93093-031-7, 2000.
3. Рекомендации по совершенствованию конструкций и норм проектирования искусственных сооружений, возводимых на пучинистых грунтах с учетом природных условий БАМа. – М.: ВНИИТС, 1981.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. – М.: Минрегион России НИИСФ РААСН, 2012.
5. Рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов на пучинистых грунтах. – М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1989.
6. Холодов С.П. Малонагруженные фундаменты в условиях большой глубины промерзания. Системы. Методы. Технологии. Братский государственный университет. / С.П. Холодов - ISSN 2077-5415, вып. 2, с. 138 – 141, 2015.
7. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.- М.: Минрегион России ОАО «НИЦ «Строительство», 2010.
8. ТСН МФ-97 МО. Территориальные строительные нормы. «Проектирование, расчет и устройство мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных жилых зданий в Московской области». – М.: НИИОСП Госстроя РФ, ЦНИИЭПсельстрой, Мосгипронисельстрой, НИИ Мосстрой, 1998.
9. ГОСТ 25100-2011 - Грунты. Классификация. - М.: Стандартинформ, 2013.
10. ВСН 165-85. Устройство свайных фундаментов мостов (из буровых свай). – М.: Минтрансстрой СССР, 1985.
11. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. - М.: Минрегион России ОАО «ЦПП», 2010.
12. ВСН 506-88 Проектирование и устройство грунтовых анкеров. – М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1989.
13. Смородинов М.И., Устройство фундаментов и конструкций способом «стена в грунте». / М.И. Смородинов, Б.С. Федоров - М., 1976.
14. Сотников С. Н., Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений. Опыт строительства в условиях северо-запада / С. Н. Сотников, В.Г. Симагин, В.П. Вершинин - СССР, стройиздат, 1986.
15. ВСН 5-71 Временные указания по устройству коротких буронабивных бетонных и бутобетонных свай для малоэтажных сельских зданий. – М.: Минсельстрой СССР, 1971.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rekomendacii po uchetu i preduprezhdeniju deformacij i sil moroznogo puchenija gruntov [Recommendations on the registration and prevention of deformations and forces of frost punching of soils]. – М.: PNIIS, 1986. [in Russian]

2. Nevzorov A.L. Fundamenty na sezonopromerzajushhijh gruntah [Foundations on seasonally freezing soils]. / A.L. Nevzorov – M.: Izd. ASV, ISBN 5-93093-031-7, 2000. [in Russian]
 3. Rekomendacii po sovershenstvovaniju konstrukcij i norm proektirovanija iskusstvennyh sooruzhenij, vozvodimyh na puchinistyh gruntah s uchetom prirodnyh uslovij BAMA [Recommendations for the improvement of structures and design standards for artificial structures built on the undergrown soils, taking into account the natural conditions of the Baikal-Amur Mainline]. – M.: VNIITS, 1981. [in Russian]
 4. SP 131.13330.2012. Stroitel'naja klimatologija [Construction climatology]. – M.: Minregion Rossii NIISF RAASN, 2012. [in Russian]
 5. Rekomendacii po proektirovaniju i ustrojstvu svajnyh fundamentov na puchinistyh gruntah [Recommendations on the design and construction of pile foundations on the heaving ground]. – M.: CNIIJePsel'stroj, 1989. [in Russian]
 6. Holodov S.P. Malonagruzhennye fundamenty v uslovijah bol'shoj glubiny promerzaniya. Sistemy. Metody. Tehnologii [Low-loaded foundations in conditions of great depth of freezing. Systems. Methods. Technologies] // Bratskij gosudarstvennyj universitet [Bratsky State University]. / S.P. Holodov - ISSN 2077-5415, vyp. 2, p. 138 – 141, 2015. [in Russian]
 7. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij [Foundations of buildings and structures]. - M.: Minregion Rossii OAO «NIC «Stritel'stvo», 2010. [in Russian]
 8. TSN MF-97 MO. Territorial'nye stroitel'nye normy. «Proektirovanie, raschet i ustrojstvo melkozaglublennyh fundamentov malojetazhnyh zhilyh zdaniy v Moskovskoj oblasti» [Territorial building standards. "Design, calculation and arrangement of shallow-buried foundations of low-rise residential buildings in the Moscow Region"]. – M.: NIIOSP Gosstroja RF, CNIIJePsel'strj, Mosgipronisel'stroj, NII Mosstroj, 1998. [in Russian]
 9. GOST 25100-2011 - Grunty. Klassifikacija [Primers. Classification.]. - M.: Standartinform, 2013. [in Russian]
 10. VSN 165-85. Ustrojstvo svajnyh fundamentov mostov (iz burovnyh svaj) [Installation of pile foundations of bridges (from drilling piles)]. – M.: Mintransstroj SSSR, 1985. [in Russian]
 11. SP 24.13330.2011. Svajnye fundamenty [Pile foundations]. - M.: Minregion Rossii OAO «CPP», 2010. [in Russian]
 12. VSN 506-88 Proektirovanie i ustrojstvo gruntovyh ankerov [Design and construction of soil anchors]. – M.: Minmontazhspecstroj SSSR, 1989. [in Russian]
 13. Smorodinov M.I., Ustrojstvo fundamentov i konstrukcij sposobom «stena v grunte» [The construction of foundations and structures using the "wall in the ground" method]. / M.I. Smorodinov, B.S Fedorov - M., 1976. [in Russian]
 14. Sotnikov S. N., Proektirovanie i vozvedenie fundamentov vblizi sushhestvujushhijh sooruzhenij. Opyt stroitel'stva v uslovijah Severo-Zapada / S.N. Sotnikov, V.G. Simagin, V.P. Vershinin - SSSR [Designing and erection of foundations near existing structures. Experience of construction in conditions of North-West USSR], Strojizdat, 1986. [in Russian]
 15. VSN 5-71 Vremennye ukazaniya po ustrojstvu korotkijh buronabivnyh betonnyh i butobetonnyh svaj dlja malojetazhnyh sel'skijh zdaniy [Temporary instructions for the construction of short bored concrete and concrete piles for low-rise rural buildings]. – M.: Minsel'stroj SSSR, 1971. [in Russian]
-
-