

УДК 624.154.5(083.74)

## БУРОНАБИВНЫЕ МАЛОЗАГЛУБЛЕННЫЕ СВАИ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

Местников А.Е., Григорьев Д.А.

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,  
Якутск, e-mail: mestnikovae@mail.ru, dima451g@mail.ru

Настоящая статья посвящена эффективному использованию буронабивных малозаглубленных свай с уширенной опорой для малоэтажного строительства в условиях вечномерзлых грунтов. Основной задачей является обеспечение устойчивости фундамента за счет уменьшения мощности слоя сезонного оттаивания мерзлых грунтов основания под зданием. Технический результат достигается тем, что в конструкции предлагаемого фундамента предусматривается использование теплоизоляционного экрана из экструдированного пенополистирола под зданием. Как показывают результаты математического моделирования процессов теплообмена «здание – грунт», эффективная теплоизоляция позволяет значительно уменьшить глубину оттаивания мерзлых грунтов основания в процессе эксплуатации сооружения. При этом значительно уменьшается тепловое влияние малоразмерных зданий на грунтовое основание и появляется возможность стабилизации верхней поверхности вечномерзлого грунта ниже глубины заложения подошвы фундаментов. Приведены результаты опытно-производственных работ по устройству предлагаемых конструкций фундаментов и натурных наблюдений за температурным режимом заморзания-оттаивания грунтов оснований на строительной площадке г. Якутска. Обоснована технико-экономическая эффективность использования предлагаемой конструкции фундамента в условиях вечномерзлых грунтов.

**Ключевые слова:** заморзание-оттаивание вечномерзлых грунтов, теплоизоляция, буронабивные малозаглубленные сваи с уширенной опорой

## BORED LOW-BURIED PILES FOR FEW-STORIED CONSTRUCTIONS IN YAKUTIA

Mestnikov A.E., Grigorev D.A.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education  
«North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov»,  
Yakutsk, e-mail: mestnikovae@mail.ru, dima451g@mail.ru

The article highlights the efficiency of use of bored low-buried piles with widened support for low construction in the conditions of permafrost. The main objective of such technology is ensuring stability of the base under a building due to reduction of a layer of seasonal thawing of frozen soil. The technical result is reached by the use of terminal-insulating polystyrene under the building. The results of mathematical modeling of processes of heat exchange «construction-soil» show that effective thermal insulation allows reducing depth of frozen soil thawing during exploitation of the construction. Thermal influence of small-sized buildings on frozen soil decreases and there is a possibility of stabilization of the top surface of permafrost under the base of fundament. The article contains results of offered technology and natural supervisions over the temperature condition of soil which freezes and thaws under buildings in Yakutsk. Technical and economic efficiency of using offered fundament base in the conditions of permafrost is proved.

**Keywords:** freezing and thawing of permafrost soil, thermal insulation, bored low-buried piles with widened support

В условиях Якутии свайные фундаменты рекомендуется использовать с условием сохранения мерзлого состояния грунтов основания в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения (принцип I «СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88»). Поэтому железобетонные сваи длиной 6–12 м закладываются на много ниже сезонного оттаивания грунтов, что значительно повышает себестоимость строительства зданий.

Для малоэтажного каменного строительства в условиях вечномерзлых грунтов нами предлагаются буронабивные малозаглубленные сваи с уширенной опорой, возводимые по технологии ТИСЭ, что успеш-

но используется в районах с сезонным промерзанием грунтов [3]. Следует отметить, что простота технологии, незначительные затраты труда и средств, высокие эксплуатационные характеристики возведенного фундамента позволяют рассматривать ее в качестве конкурентоспособного направления в малоэтажном строительстве Якутии. При этом нами предусматриваются 2 способа применения данной конструкции фундаментов:

1) буронабивные малозаглубленные сваи с уширенной опорой для зданий с проветриваемым подпольем, где глубина их заложения принимается  $d_{th} + 2$  м ( $d_{th}$  – расчетная глубина сезонного оттаивания грунта) согласно строительным нормам по принципу I СП 25.13330.2012;

2) буронабивные малозаглубленные сваи с уширенной опорой для зданий, возводимых на отсыпках, где глубина их заложения в требованиях СНиП не нормируется и допускается оттаивание мерзлых грунтов на расчетную глубину в период эксплуатации сооружения по принципу II СП 25.13330.2012.

Как показывает практика малоэтажного строительства в условиях Якутии, специализированные предприятия по устройству свайных фундаментов обычно применяют сваи буроопускные ж/б или винтовые металлические. При этом используется тяжелая техника по бурению скважин, перевозке и установке буроопускных свай, приготовлению цементно-песчаного раствора для заполнения свободного пространства между свай и стенкой скважины, что ведет к удорожанию СМР.

Экономически целесообразным вариантом для малоэтажного каменного строительства является использование буронабивных малозаглубленных свай с уширенной опорой (табл. 1).

**Таблица 1**

Расчетная стоимость устройства свайных фундаментов для двухэтажного каменного здания на 8×8 м (г. Якутск, по ценам IV квартала 2014 г.)

Наименование	Цена 1 шт. (руб.)	Общая стоимость (руб.)
Винтовые сваи	38 200	343 800 (9 шт.)
Железобетонные сваи	56 770	510 930 (9 шт.)
Малозаглубленные буронабивные сваи	11 069	221 380 (20 шт.)

В условиях отсутствия вечномерзлых грунтов скважины небольшого диаметра 250–300 мм согласно технологии ТИСЭ пробуривают с помощью фундаментного бура ТИСЭ-Ф с откидным плугом до глубины ниже уровня сезонного промерзания грунта (0,7–2,2 м) [3]. В условиях вечномерзлых грунтов скважины необходимо пробуривать до глубины ниже уровня сезонного оттаивания мерзлого грунта (2–2,5 м). Как показала практика, ручной бур ТИСЭ-Ф, а также легкий мотобур не пробуривают мерзлый грунт, состоящий в основном из суглинков и глины. Возникают дополнительные затраты по оттаиванию грунтов оснований с использованием известных способов электрооттаивания, пароттаивания или за счет других источников тепла. Или необходимо использовать услуги специализированных бригад, оснащенных соответствующей техникой и оборудованием.

Расчет свайного фундамента проведен согласно общепринятой методике СП 25.13330.2012. Площадь нижней опоры сваи круглого сечения с диаметром 0,5 м принята

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,25^2 = 0,19625 \text{ м}^2 \text{ (табл. 2–3).}$$

**Таблица 2**

Результаты расчета несущей способности грунтов оснований на 1 сваю

Грунт	В оттаянном состоянии, т	В мерзлом состоянии, т
Супесь	5,22	13,04
Суглинки	6,09	11,30
Глины	10,43	11,30
Пески (средней крупности)	6,96	14,78

**Таблица 3**

Результаты расчета несущей способности грунтов оснований на 20 свай

Грунт	В оттаянном состоянии, т	В мерзлом состоянии, т
Супесь	104,40	260,80
Суглинки	121,80	226,00
Глины	208,60	226,00
Пески (средней крупности)	139,20	295,60

По результатам инженерно-геологических изысканий было установлено, что выбранная экспериментальная строительная площадка в геологическом отношении сложена аллювиальными отложениями, представленными суглинками, реже супесями и песками разной крупности с почвенно-растительным слоем 0,2–0,25 м. В табл. 4 приведены физические свойства многослойного массива грунтов, где  $h$  – мощность слоя грунта,  $T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта, нижние индексы означают:  $th$  – талый,  $f$  – мерзлый.

Скважины диаметром 0,25 м на 20 свай пробурены в середине сентября до границы максимального сезонного оттаивания грунта (1,85–2,30 м) с использованием мотобура, нижнее уширение скважин выполнено с помощью ручного бура ТИСЭ-Ф с откидным плугом [5]. Затем в скважины опускались арматурные каркасы, устраивался выпуск свай над землей с помощью опалубки из листов полипропилена, затем укладывали бетонную смесь заводского изготовления. Для двух дополнительных контрольных свай бетон был приготовлен на строительной площадке. Испытания образцов бетонов показали их соответствие проектному классу бетона В25.

**Таблица 4**

Характеристики слоев массива грунтов строительной площадки

№ п/п	Вид слоя	h, м	ρ, кг/м <sup>3</sup>	ω, ед.	T <sub>гв</sub> , °С	λ, Вт/(м·°С)		C·10 <sup>-6</sup> Дж/(м <sup>3</sup> ·°С)	
						λ <sub>th</sub>	λ <sub>f</sub>	C <sub>th</sub>	C <sub>f</sub>
1	Суглинок темно-коричневого цвета, талый до глубины 2,4 м, ниже твердомерзлый	3,5	1190	0,16	-0,79	1,43	1,62	2,642	2,290
2	Песок мелкий, серого цвета, твердомерзлый	0,5	1850	0,30	-0,34	1,99	2,24	2,792	2,072
3	Суглинок темно-коричневого цвета, твердомерзлый	3	1590	0,45	-0,60	1,57	1,80	3,098	2,114
4	Песок мелкий, серовато-коричневого цвета, твердомерзлый	1	1910	0,29	-0,34	2,13	2,35	3,181	2,281
5	Суглинок серовато-коричневого цвета, твердомерзлый	1,7	1900	0,58	-0,60	1,57	1,80	3,098	2,114
6	Песок мелкий, серовато-коричневого цвета, твердомерзлый	0,3	1910	0,22	-0,34	2,21	2,44	3,416	2,323

**Таблица 5**

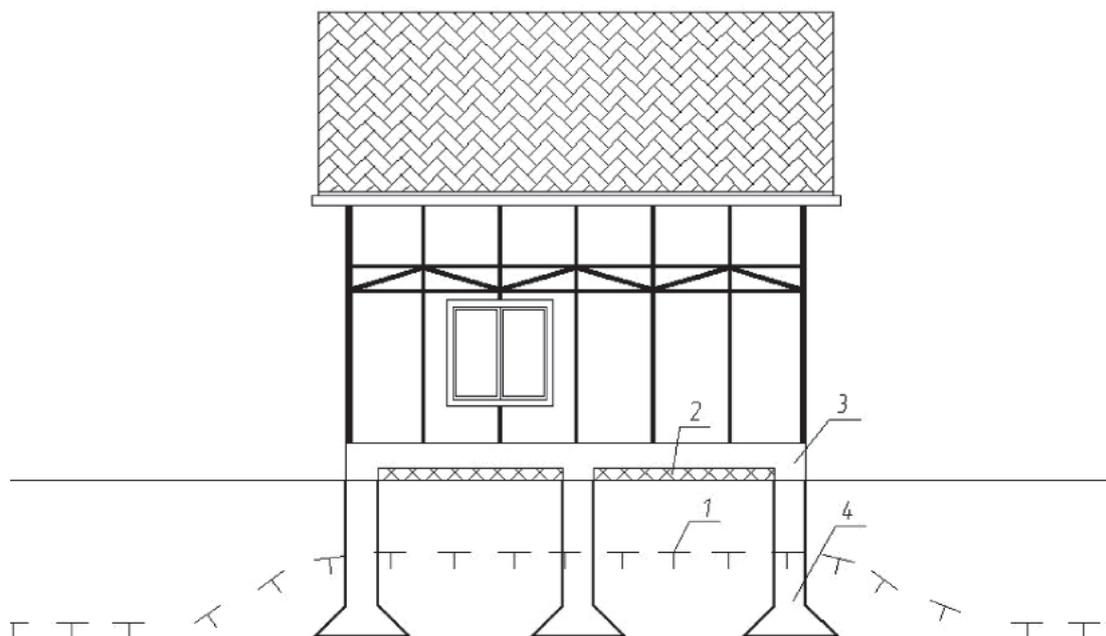
Температуры по глубине массива грунтов

Дата	17.09.2014 г.	08.01.2015 г.	19.04.2015 г.	23.05.2015 г.	17.09.2014 г.	08.01.2015 г.	19.04.2015 г.	23.05.2015 г.
H, м	Скважина 1				Скважина 2			
0	-1,08	-21,45	-0,95	17,17	-0,37	-19,98	-1,17	5,46
1	1,40	-9,72	-1,07	2,22	1,83	-6,67	-1,14	-1,20
2	0,35	-1,38	-1,05	-1,45	-0,11	-1,01	-1,20	-2,08
3	-0,55	-1,14	-0,91	-1,45	-0,79	-1,07	-1,18	-1,77
4	-0,82	-1,20	-0,82	-1,33	-0,95	-1,27	-1,10	-1,58
5	-1,01	-1,6	-0,78	-1,10	-1,08	-1,54	-1,07	-1,29
6	-1,02	-1,76	-1,01	-1,07	-1,19	-1,64	-0,97	-1,26
7	-1,19	-1,73	-1,39	-1,10	-1,25	-1,60	-1,27	-1,16
8	-1,16	-1,49	-2,65	-1,11	-1,35	-1,68	-1,71	-1,18
9	-1,21	-1,71	-4,25	-1,14	-1,36	-1,64	-2,83	-1,14
10	-1,29	-1,26	-3,08	-1,07	-1,42	-1,32	-5,01	-1,20

Для натурального наблюдения за температурным режимом грунтового основания были пробурены две скважины глубиной до H = 10 м посередине (скважина 2) и за периметром (скважина 1) свайного поля, а также в крайних и средней скважинах заложены ПВХ-трубы Ø 35 мм с запаянным концом. Температурный режим грунтов основания в разные периоды года приведен в табл. 5.

Как видно из табл. 5, в начале января на строительной площадке без теплоизоляции поверхности наблюдается полное промерзание сезонно-оттаявшего грунта. Остальные работы по устройству фундамента и строительства дома производятся при установлении устойчивых положительных температур окружающего воздуха (май-июнь).

Задача предлагаемого нами технического решения заключается в обеспечении устойчивости буронабивных малозаглубленных свай с уширенной опорой в условиях вечномерзлых грунтов за счет уменьшения мощности слоя сезонного оттаивания грунтов основания под зданием. Ограничение глубины оттаивания мерзлых грунтов основания в процессе эксплуатации сооружения может быть достигнуто путем использования эффективной теплоизоляции из экструдированного пенополистирола под зданием [2]. При этом значительно уменьшается тепловое влияние малоразмерных зданий [1] и появляется возможность стабилизации верхней поверхности вечномерзлого грунта ниже глубины заложения подошвы фундаментов (рисунок).



*Теоретическая кривая нулевой изотермы в период максимального оттаивания мерзлого грунта:  
1 – граница сезонного оттаивания; 2 – утеплитель; 3 – фундаментная балка;  
4 – свайный фундамент с нижним уширением*

Предлагаемая технология устройства буронабивных малозаглубленных свай с нижним уширением для условий вечномерзлых грунтов [2] предназначена для индивидуальных застройщиков и состоит из двух этапов:

– подготовка скважин согласно проектно-сметной документации производится с помощью мотобура и ручного бура ТИСЭ-Ф с откидным плугом до глубины максимального сезонного оттаивания грунта, закладка арматуры в подготовленную скважину, заливка и уплотнение бетона, вывод верхнего края свай с использованием цилиндрической опалубки на уровень в 0,1–0,15 м от поверхности земли (сентябрь);

– вертикальная планировка свайного поля подсыпкой песчаного грунта, устройство опалубки и арматурного каркаса для фундаментных балок, укладка теплоизоляции из экструдированного пенополистирола, заполнение песком оставшегося пустого пространства между фундаментными балками, далее устройство чистого деревянного пола по балкам, или цементно-песчаной стяжки, или монолитного пола из железобетона (май-июнь).

При этом сроки выполнения СМР по устройству буронабивных малозаглубленных свай с нижним уширением при-

няты для природно-климатических условий Центральной Якутии на основании результатов собственных опытно-производственных работ и технико-экономического сравнения возможных вариантов с оценкой затрат и учетом надежности конструкции.

Постановка нестационарной задачи теплообмена малоразмерного здания с грунтовым основанием и алгоритм ее решения в данном случае аналогичны расчетам, приведенным в работе [1]. Однако математическая модель задачи требует существенной корректировки в процессе получения фактических результатов натурных наблюдений за температурным режимом грунтового основания здания в течение не менее трех лет его эксплуатации.

В последующем результаты математического моделирования и натурных наблюдений за температурным режимом грунтового основания опытного здания в процессе его эксплуатации позволят разработать инженерный метод расчета параметров теплового и механического взаимодействия сооружения и основания при проектировании и строительстве малоэтажных зданий в условиях вечномерзлых грунтов с использованием буронабивных малозаглубленных свай с нижним уширением [2].

**Список литературы**

1. Бондарев Э.А., Рожин И.И., Аргунова К.К., Корнилов Т.А., Местников А.Е., Кононова Е.А. Численное моделирование оттаивания многолетнемерзлых грунтовых оснований малоэтажных зданий // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 4. – С. 12–16.

2. Местников А.Е., Григорьев Д.А., Корнилов Т.А. Сейсмостойкий фундамент в криолитозоне // Патент на полезную модель № 148793 РФ. – Заявл. 24.07.2014. – Оpubл. 14.11.2014.

3. Местников А.Е., Григорьев Д.А. Теплоизолированный свайный фундамент на вечномерзлых грунтах // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 11 (часть 1). – С. 23–25.

4. Яковлев Р.Н. Универсальный фундамент. Технология ТИСЭ. – М.: Аделант, 2006. – 271 с.

5. Яковлев Р.Н. Бур строительный // Патент на изобретение № 2160815 РФ. Дата регистрации 23.03.1999.

**References**

1. Bondarev Ye.A., Rozhin I.I., Argunova K.K., Kornilov T.A., Mestnikov A.E., Kononova E.A. Chislennoe modelirovanie ottaivaniya mnogoletnemerzlykh gruntovykh osnovanij

malojetazhnykh zdaniy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. 2013. no. 4. pp. 12–16.

2. Mestnikov A.E., Grigorev D.A., Kornilov T.A. Sejsmostojkij fundament v kriolitozone // Patent na poleznuju model no. 148793 RF. Zajavl. 24.07.2014. Opubl. 14.11.2014.

3. Mestnikov A.E., Grigorev D.A. Teploizolirovannyj svajnyj fundament na vechnomerzlykh gruntah // Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimentalnogo obrazovanija. 2014. no. 11 (chast 1). pp. 23–25.

4. Jakovlev R.N. Universalnyj fundament. Tehnologija TISJe. M.: Adellant, 2006. 271 p.

5. Jakovlev R.N. Bur stroitelnyj // Patent na izobretenie no. 2160815 RF. Data registracii 23.03.1999.

**Рецензенты:**

Тимофеев А.М., д.т.н., зав. отделом теплообменных процессов, Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск;

Корнилов Т.А., д.т.н., профессор, директор Инженерно-технического института, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск.