

УДК 624.15; 624.139

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4\(39\)-120-131](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-120-131)

EDN: XYPKWY

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОМЕРЗАЮЩЕГО ГРУНТА С ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫМ РАСТВОРОМ БУРОПУСКНОЙ СВАИ

А.Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. техн. наук

П.М. САЗОНОВ

С.П. СОРОКИНА✉

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Рязанский проспект, д. 59, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Буроопускной способ погружения свай является наиболее распространенным способом устройства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах. Для снижения касательных сил морозного пучения пространство между поверхностью сваи и стенкой лидерной скважины в пределах слоя сезонного промерзания-оттаивания заполняется непучинистым песчаным грунтом. Такая технология усложняет процесс устройства буроопускной сваи. Существенным упрощением является заполнение пространства между сваем и грунтом цементно-песчаным раствором (ЦПР) на всю высоту сваи. Однако в настоящее время отсутствует методика расчета буроопускных свай на действие касательных сил морозного пучения при промерзании ЦПР.

Цель работы: разработка методики расчета буроопускных свай на действие касательных сил морозного пучения при промерзании ЦПР.

Материалы и методы. Проведен комплекс лабораторных испытаний, моделирующих процессы, происходящие в грунтах в холодный и теплый периоды устройства свай. Лабораторные испытания выполнены методом одноплоскостного среза по поверхности смерзания ЦПР с глинистыми грунтами, а также с материалом фундамента с постоянной скоростью согласно ГОСТ Р 56726-2015 со статистической обработкой данных согласно ГОСТ 20522-2012.

Результаты. В статье представлены результаты лабораторных исследований касательных сил морозного пучения, действующих при промерзании грунта и ЦПР на сваи с учетом различных факторов (показатель текучести глинистого грунта, температура испытаний). На основании полученных данных авторы предлагают методику расчета устойчивости буроопускных свай. Методика заключается в определении силы пучения на единицу площади путем сложения произведений долей глубины сезонного промерзания-оттаивания, полученных путем теплотехнических расчетов или по графикам, приведенным в статье, на касательные силы морозного пучения, полученные в лабораторных исследованиях.

Выводы. Выявленная методика позволяет повысить надежность и точность расчетов фундаментов, эффективность проектных решений оснований и фундаментов, а также привести к снижению трудоемкости процесса возведения буроопускных свай.

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, буроопускная свая, касательные силы морозного пучения, несущая способность, цементно-песчаный раствор

Для цитирования: Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Сорокина С.П. Взаимодействие промерзающего грунта с цементно-песчаным раствором буроопускной сваи. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023;39(4):120–131. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4\(39\)-120-131](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-120-131)

Вклад авторов

Алексеев А. Г. – научное руководство, написание статьи.

Сазонов П. М., Сорокина С. П. – участие в лабораторных исследованиях, написание статьи.

Финансирование

Статья написана в рамках выполнения НИОКР за счет финансирования ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 27.10.2023

Поступила после рецензирования 16.11.2023

Принята к публикации 23.11.2023

FROST SOIL INTERACTION WITH THE CEMENT-SAND MORTAR OF A DRIVEN PRECAST PILE

A.G. ALEKSEEV, Cand. Sci. (Engineering)

P.M. SAZONOV

S.P. SOROKINA✉

Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Ryazanskiy ave., 59, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The drilling method of pile driving represents the most common method of constructing foundations on permafrost soils. In order to reduce the tangential forces of frost heaving, the space between the pile surface and a leader well wall within the layer of seasonal freezing-thawing is filled with non-heaving sandy soil. This technology complicates the process of installing driven precast piles. In this case, a significant simplification involves filling the space between the pile and the soil with a cement-sand mortar (CSM) along the entire height of the pile. However, at present, no method is valid for calculating driven precast piles for the action of frost heaving tangential forces during CSM freezing.

Aim. To develop a methodology for calculating driven precast piles for the action of frost heaving tangential forces during CSM freezing.

Materials and methods. A set of laboratory tests, modeling the processes in soils during cold and warm pile installation periods, was carried out. Laboratory tests were performed using a method of a single-plane cut along the surface of a CSM freezing with clay soils, as well as with the foundation material at a constant rate in accordance with State Standard R 56726-2015 and statistical data processing according to State Standard 20522-2012.

Results. The article presents the results of laboratory studies on effects, caused by frost heaving tangential forces on piles during soil and CSM freezing, taking into account various factors (clay soil liquidity index, test temperature). Based on the obtained data, the authors propose a methodology for calculating the stability of driven precast piles. The method consists in determining the heaving force per unit area by adding the products of the seasonal freezing-thawing fractional depth, obtained by thermal engineering calculations or according to the plots, given in the article, by the tangential forces of frost heaving, obtained in laboratory studies.

Conclusions. The developed methodology improves the reliability and accuracy of foundation calculations, enhances the efficiency of base and foundation design solutions, and reduces the labor capacity of driven precast pile installation.

Keywords: permafrost soil, driven precast pile, frost heaving tangential forces, bearing capacity, cement-sand mortar

For citation: Alekseev A.G., Sazonov P.M., Sorokina S.P. Frost soil interaction with the cement-sand mortar of a driven precast pile. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;39(4):120–131. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4\(39\)-120-131](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-120-131)

Author contribution statements

Alekseev A.G. – scientific guidance, writing an article.

Sazonov P.M., Sorokina S.P. – participation in laboratory research, writing an article.

Funding

The article was written as part of the implementation of R&D at the expense of funding from the Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 27.10.2023

Revised 16.11.2023

Accepted 23.11.2023

Введение

Одним из самых распространенных и универсальных способов устройства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах является буроопускной способ погружения свай. Для снижения касательных сил морозного пучения пространство между поверхностью сваи и стенкой лидерной скважины от острия сваи до подошвы слоя сезонного промерзания-оттаивания заполняется раствором, а в пределах слоя сезонного промерзания-оттаивания – непучинистым песчаным грунтом [1]. В большинстве случаев такая технология усложняет процесс устройства буроопускной сваи из-за необходимости точного расчета объема раствора, заливаемого в скважину, необходимости наличия на площадке непучинистого песка, трудоемкости процесса по засыпке песка в узкое пространство между сваем и грунтом. Существенным упрощением является заполнение пазухи между сваем и лидерной скважиной раствором на всю высоту сваи. Однако в настоящее время отсутствует методика расчета буроопускных свай на действие касательных сил морозного пучения при промерзании цементно-песчаного раствора.

Для оценки касательных сил морозного пучения и разработки методики расчета устойчивости буроопускных свай при их действии проведен комплекс лабораторных испытаний, моделирующих процессы, происходящие в грунтах в холодный и теплый периоды устройства свай.

Методика проведения лабораторных экспериментов

Цементно-песчаный раствор в отличие от грунтовых растворов, которые применялись ранее, имеет в составе связующее вещество – цемент. Это означает, что для набора прочности раствора требуется длительное выдерживание при благоприятных для твердения температурах и влажности. В зависимости от начальной температуры грунта, раствора

и окружающей среды, а также от диаметра сваи и скважины допустимо предположить два возможных сценария замерзания/твердения ЦПР.

Первый реализуется при незначительном превышении диаметра скважины над диаметром сваи в промерзших грунтах сезонного промерзания-оттаивания в холодный период. Из-за чего раствор остывает быстрее, чем успевает набрать высокие прочностные характеристики. Гидратация цемента не происходит, и раствор замерзает. В результате вместо затвердевшего цементно-песчаного камня образуется замерзший цементно-песчаный камень. Несвязанная вода при этом обеспечивает смерзание по контактным поверхностям цементно-песчаного камня со свайей и природным грунтом. В дальнейшем будем рассматривать ЦПР в данном сценарии как *замерзший*.

Второй сценарий реализуется при устройстве сваи в благоприятных условиях для твердения раствора. Это теплый период года, когда температура воздуха не опускается ниже 5 °С (минимальная температура, при которой рассматривается набор прочности раствора) и (или) значительное превышение диаметра скважины над диаметром сваи, позволяющее за счет тепловыделения выдержать минимально требуемую для твердения температуру. Например, при использовании сваи из стальной трубы, для которой раствором заполняется и пространство между поверхностью сваи и стенкой лидерной скважины, а также внутреннее пространство сваи, значительное количество внесенного раствором тепла позволяет создать благоприятные условия твердения. В дальнейшем будем рассматривать ЦПР в данном сценарии как *затвердевший*.

На рис. 1 представлены описанные сценарии в графическом виде с описанием процессов, сопутствующих устройству буропускной сваи в холодный и теплый периоды года.

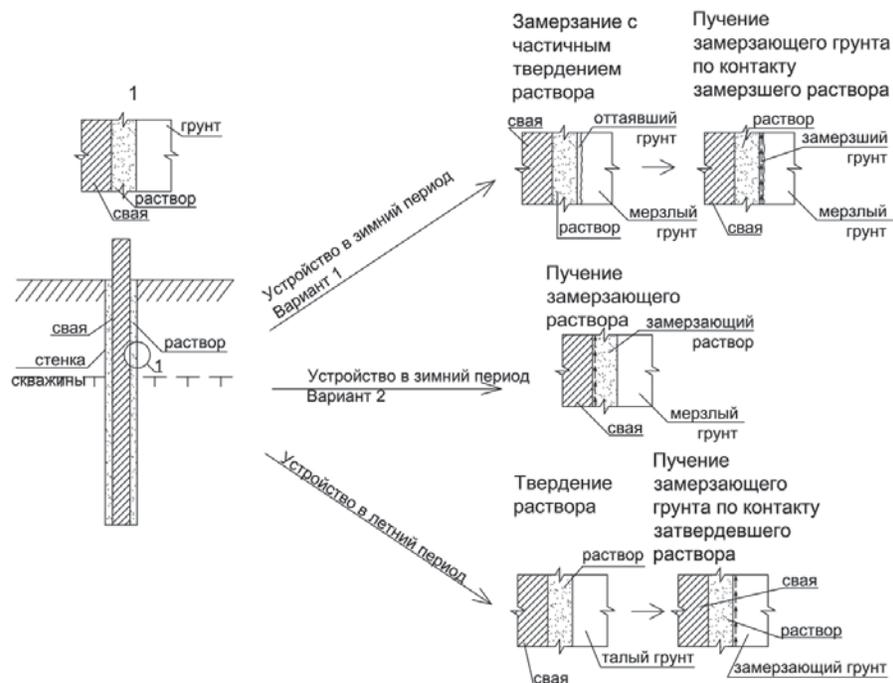


Рис. 1. Сценарии замерзания/твердения цементно-песчаного раствора
 Fig. 1. Freezing/hardening scenarios of a cement-sand mortar

Исходя из принятых сценариев, лабораторные исследования проводились для трех возможных контактов:

- грунт – замерзший цементно-песчаный раствор (Г-ЗР);
- грунт – затвердевший цементно-песчаный раствор (Г-ТР);
- фундамент – замерзший цементно-песчаный раствор (Ф-ЗР).

Контакт фундамента и затвердевшего цементно-песчаного раствора в данной работе не рассматривался, так как пучение затвердевшего раствора невозможно.

Изучением методов оценки устойчивости фундамента при воздействии сил морозного пучения занимался ряд ученых начиная с 30-х годов XX века [2–4]. Данный вопрос актуален и по сей день [5, 6]. В основе метода определения касательных сил пучения грунта, описанного в ГОСТ Р 56726-2015 «Грунты. Метод лабораторного определения удельной касательной силы морозного пучения» [7], лежит положение о равенстве касательных сил пучения и так называемого устойчивого сопротивления сдвигу мерзлого грунта относительно модели фундамента ($\tau_{fh} = \tau_{yc}$).

Испытания проводились методом одноплоскостного среза по поверхности смерзания с постоянной скоростью для глинистых грунтов при различных показателях текучести, при двух вариантах подготовки образцов цементно-песчаного раствора (замерзший, затвердевший), трех значениях температуры ($-1, -2, -6$ °C), для бетонного исполнения свай. Всего выполнено 63 испытания.

Подбор представительного ряда глинистых грунтов различной консистенции (показатель текучести менее 0,25; от 0,25 до 0,5 и более 0,5) осуществлялся в соответствии с таблицей 7.8 СП 25.13330.2020 [1].

Результаты лабораторных исследований и анализ полученных данных

В ходе подготовки образцов замерзшего раствора наблюдалась миграция воды из раствора в мерзлый грунт, вызывающая деформации образца грунта из-за растепления, водонасыщения и повторного замерзания грунта. При этом у всех грунтов показатель текучести I_L значительно превысил 0,5, что не привело к единообразию результатов.

Для образцов затвердевшего раствора при продолжительном выдерживании отмечалась миграция воды в направлении раствора из грунта, а также аналогичные значения касательных сил морозного пучения при одинаковых температурах, из чего было принято решение свести результаты испытаний образцов затвердевшего раствора с грунтами с различными показателями текучести к единому грунту с $I_L < 0,5$. Коэффициент вариации при этом меньше 0,3, что говорит о правомерности данных действий [8].

При подготовке образцов для испытаний «фундамент – затвердевший цементно-песчаный раствор» отмечено, что при замерзании цементно-песчаного раствора процесса пучения не возникало.

Расчетные значения касательных сил пучения с учетом доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ приведены в табл. 1. Зависимость касательных сил морозного пучения τ_{fh} от температуры испытаний T приведена на рис. 2.

Таблица 1

Расчетные значения касательных сил пучения с учетом доверительной вероятности $\alpha = 0,95$

Table 1

Calculated values of tangential heaving forces at a confidence probability $\alpha = 0.95$

Тип контакта	Показатель текучести	Удельные касательные силы пучения τ_{fh} при температуре испытаний, кПа		
		-1 °С	-2 °С	-6 °С
грунт – замерзший цементно-песчаный раствор (Г-ЗР)	$I_L < 0,25$	68	83	143
	$0,25 < I_L < 0,5$	57	95	251
	$I_L > 0,5$	73	116	287
грунт – затвердевший цементно-песчаный раствор (Г-ТР)	$I_L < 0,5$	79	87	121
фундамент – замерзший цементно-песчаный раствор (Ф-ЗР)		45	53	84

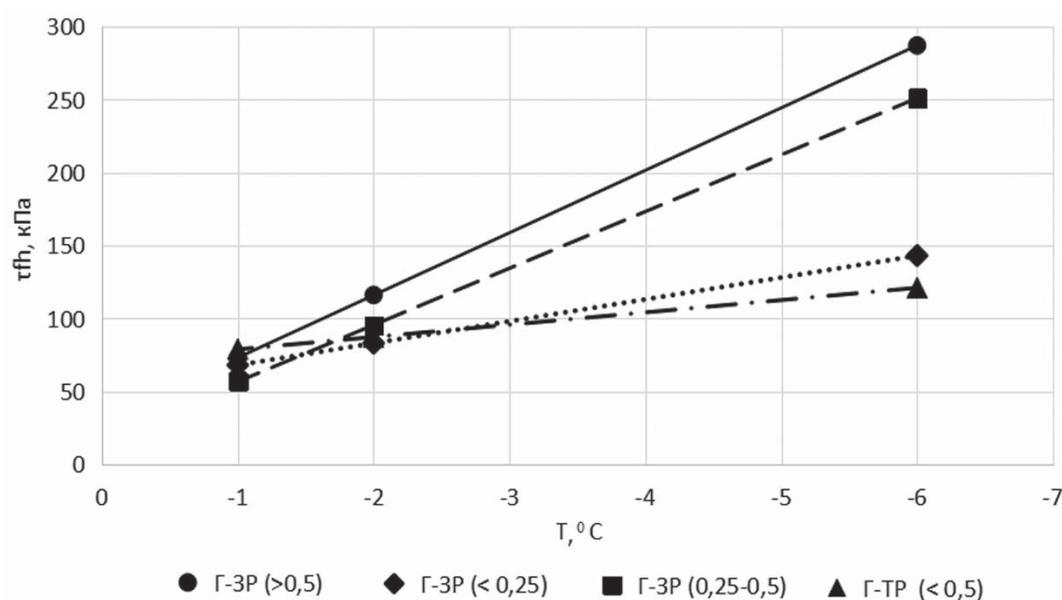


Рис. 2. Зависимость касательных сил морозного пучения (τ_{fh}) от температуры испытаний (T)
 Fig. 2. Dependence of frost heaving tangential forces (τ_{fh}) on the test temperature (T)

Разработка методики расчета

Расчет фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие силы морозного пучения производился с использованием лабораторных испытаний и разделением слоя сезонного промерзания оттаивания на участки согласно разделу 7.4 СП 25.13330.2020 [1]:

- от поверхности грунта до глубины, на которой зафиксирована температура -2 °С;
- мощность грунта в диапазоне температур от -1 до -2 °С;
- от нижней границы слоя сезонного промерзания-оттаивания до глубины, на которой зафиксирована температура -1 °С.

С целью определения участков слоя сезонного промерзания-оттаивания с различной отрицательной температурой в рамках работы выполнены теплотехнические расчеты в программном комплексе. Для определения распределения температуры и глубины слоя сезонного промерзания-оттаивания выбраны населенные пункты с различной среднегодовой температурой ($T_{ср.г.}$) от -2 до -11 °С. Краткая информация о населенных пунктах приведена в табл. 2.

Гистограммы значений мощностей слоев сезонного промерзания-оттаивания грунта представлены на рис. 3.

Наибольшие участки в диапазонах расчетных температур наблюдаются в марте. В районах, где среднегодовая температура ниже 6 °С, максимальное значение касательных сил морозного пучения прогнозируется в апреле, но к середине марта вся мощность сезонного промерзания-оттаивания находится при температуре не выше $-0,8$ °С.

Таблица 2

Исходные данные

Table 2

Initial data

№	1	2	3	4	5	6
Название	Сосново-Озерское	Салехард	Экимчан	Игарка	Норильск	Сусуман
Расположение	Республика Бурятия	Ямало-Ненецкий автономный округ	Амурская область	Красноярский край	Красноярский край	Магаданская область
$T_{ср.г.}$	$-1,97$ °С	$-4,22$ °С	$-5,02$ °С	$-6,21$ °С	$-7,98$ °С	$-10,42$ °С

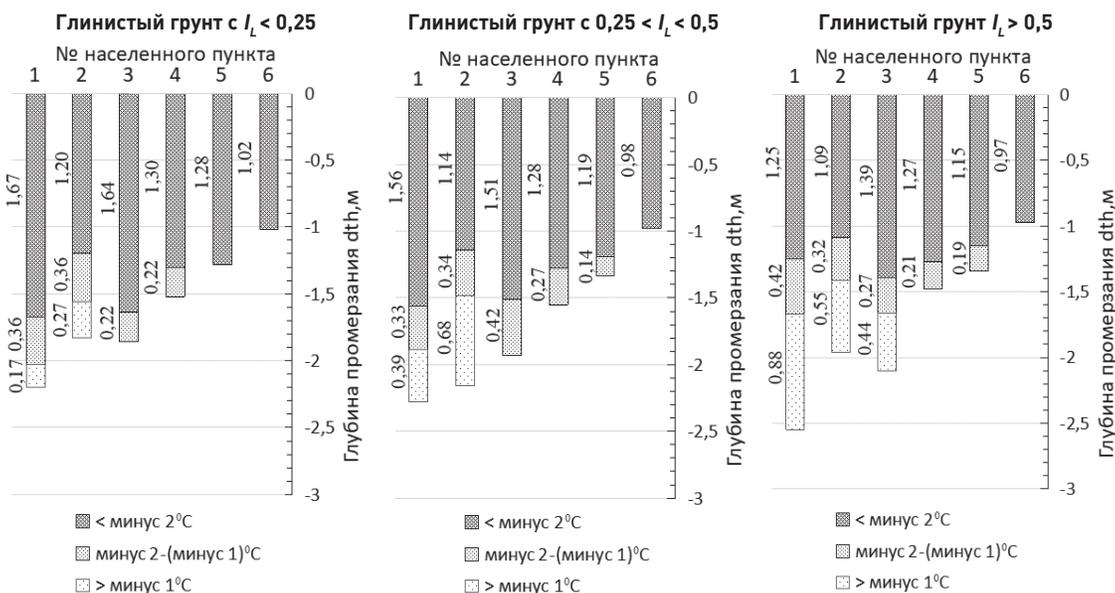


Рис. 3. Гистограммы распределений температур и мощностей слоя сезонного промерзания-оттаивания грунта. Порядковый номер населенного пункта представлен в табл. 2

Fig. 3. Distributions histograms for the temperature and thickness of the seasonal freezing-thawing soil layer. The settlement number is provided in Table 2

Позже ожидается только повышение сил смерзания уже вспучившегося грунта с поверхностью сваи и отсутствие дальнейшего пучения грунта при отсутствии притока воды.

Отношение мощностей участков слоя сезонного промерзания-оттаивания к полной мощности слоя сезонного промерзания-оттаивания для диапазонов температур ниже -2°C ; от -2 до -1°C и выше -1°C представлены на рис. 4–6 в процентах.

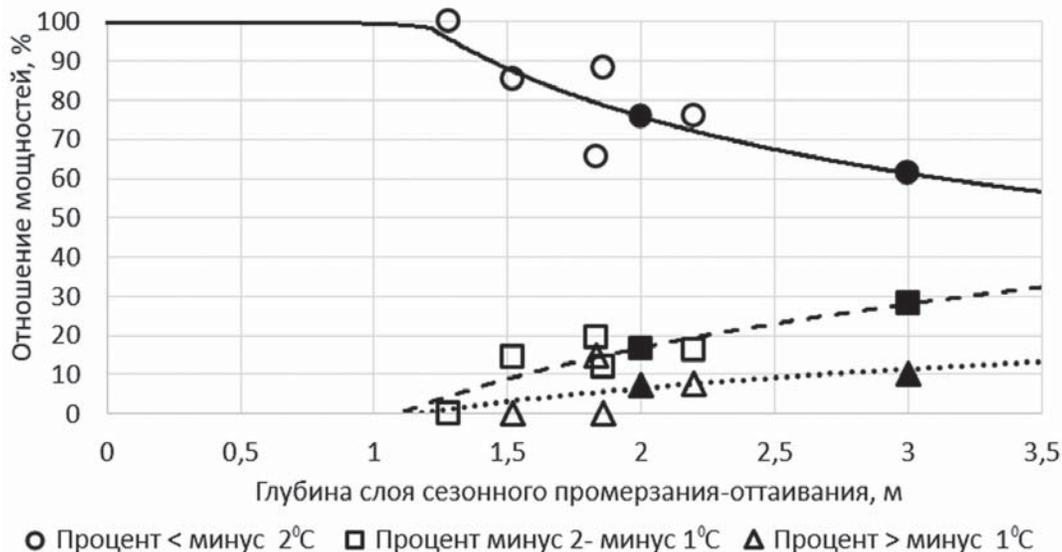


Рис. 4. Отношение мощностей участков слоя сезонного промерзания-оттаивания к полной мощности слоя сезонного промерзания-оттаивания для диапазонов температур в глинистых грунтах с $I_L < 0,25$
 Fig. 4. Ratio of the sectional thickness of a seasonal freezing-thawing layer to its total thickness for temperature ranges in clay soils with $I_L < 0,25$

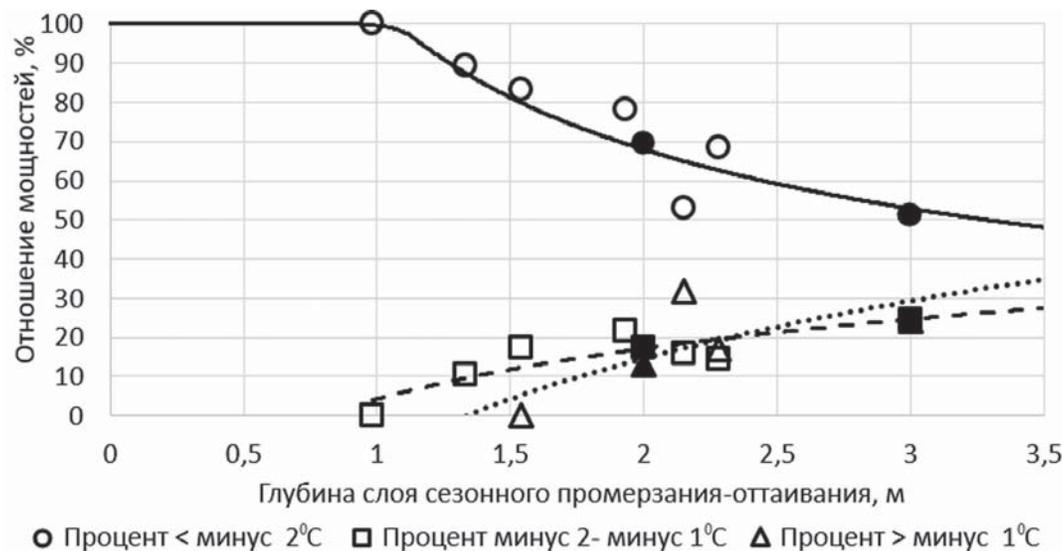


Рис. 5. Отношение мощностей участков слоя сезонного промерзания-оттаивания к полной мощности слоя сезонного промерзания-оттаивания для диапазонов температур в глинистых грунтах с $0,25 < I_L < 0,5$
 Fig. 5. Ratio of the sectional thickness of a seasonal freezing-thawing layer to its total thickness for temperature ranges in clay soils with $0,25 < I_L < 0,5$

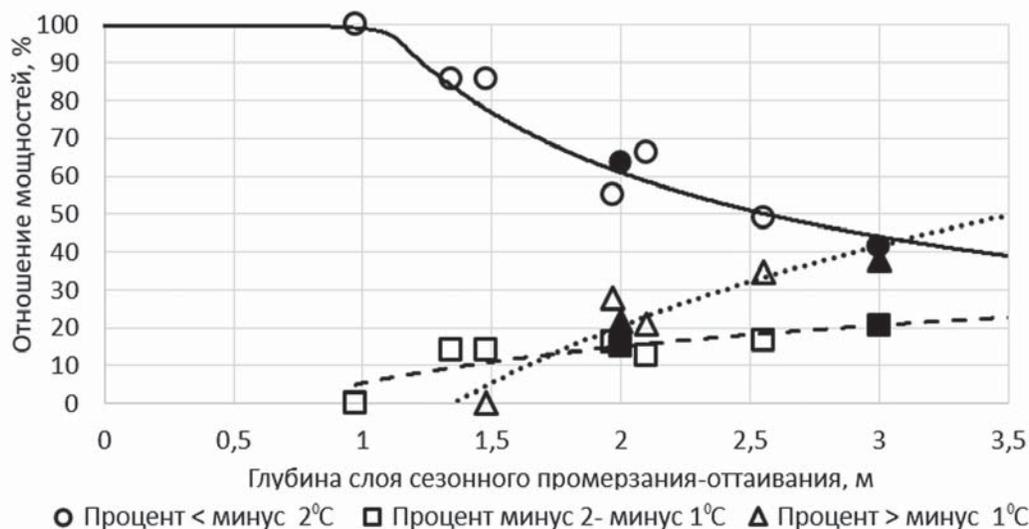


Рис. 6. Отношение мощностей участков слоя сезонного промерзания-оттаивания к полной мощности слоя сезонного промерзания-оттаивания для диапазонов температур в глинистых грунтах с $l_c > 0,5$
Fig. 6. Ratio of the sectional thickness of a seasonal freezing-thawing layer to its total thickness for temperature ranges in clay soils with $l_c > 0.5$

По данным графикам можно определить, какая процентная часть отведена каждому участку распределения температуры от полной глубины сезонного промерзания-оттаивания грунта.

В зависимости от периода возведения свай и глубины сезонного промерзания-оттаивания рекомендуется производить расчет касательных сил морозного пучения в соответствии с формулой 7.30 СП 25.13330.2020 [1] по контакту «раствор – грунт».

Значения удельных касательных сил пучения при глубине сезонного промерзания-оттаивания 1, 2 и 3 метра определялись путем сложения произведения долей глубины сезонного промерзания-оттаивания на касательные силы морозного пучения, полученные в лабораторных исследованиях. При использовании процентов мощностей участков, представленных на рис. 4–6, определение значения τ_{fh} осуществляется по формуле:

$$(\Delta_{(<-2^{\circ}\text{C})} \times \tau_{fh(-6)} + \Delta_{(-2(-1)^{\circ}\text{C})} \times \tau_{fh(-2)} + \Delta_{(>-1^{\circ}\text{C})} \tau_{fh(-1)})/100\%, \tag{1}$$

где τ_{fh} – удельные касательные силы пучения, кПа, при температуре испытаний T , $^{\circ}\text{C}$, принятые по табл. 1 и 2;

Δ – процент мощности участка, %, в соответствующем диапазоне температур hi .

Расчетные значения удельных касательных сил пучения при глубине сезонного промерзания-оттаивания 1, 2 и 3 метра приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения удельных касательных сил пучения при глубине сезонного промерзания-оттаивания с учетом доверительной вероятности $\alpha = 0,95$

Table 3

Calculated values of specific tangential heaving forces for various depths of seasonal freezing-thawing, taking into account the confidence level $\alpha = 0.95$

Глинистые грунты с показателем текучести	Поверхности	Значения τ_{th} , кПа, при глубине сезонного промерзания-оттаивания d_{th} , м		
		1,0	2,0	3,0
$I_L > 0,5$	Цементно-песчаный раствор (х)	287,0	215,0	170,5
$0,25 < I_L \leq 0,5$		251,0	198,6	165,7
$I_L \leq 0,25$		142,0	126,4	117,0
$I_L < 0,5$	Цементно-песчаный раствор (т)	121,0	109,5	102,4

Примечание: (х) – холодный период, где используются результаты испытаний касательных сил морозного пучения по контакту «грунт – замерзший цементно-песчаный раствор»; (т) – теплый период, где используются результаты испытаний касательных сил морозного пучения по контакту «грунт – затвердевший цементно-песчаный раствор».
 Note: (c) – cold period, where the results of tests for frost heaving tangential forces on the “soil – frozen cement-sand mortar” contact are used; (w) – warm period, where the results of tests for frost heaving tangential forces on the “soil – hardened cement-sand mortar” contact are used.

Выводы

При устройстве буропускных свай с использованием цементно-песчаного раствора для заполнения пространства между поверхностью сваи и стенкой лидерной скважины в многолетнемерзлых грунтах могут возникать касательные силы морозного пучения по контакту «раствор – грунт», зависящие от периода года устройства свай.

Лабораторные исследования выявили, что в неблагоприятных условиях для твердения раствора (зимний период) касательные силы морозного пучения выше, чем в благоприятных (летний период). Учитывая это, расчеты устойчивости фундаментов на воздействие касательных сил морозного пучения необходимо проводить для зимнего периода устройства свай.

Теплотехнические расчеты для трех интервалов консистенций глинистого грунта позволили определить зависимость глубины сезонного промерзания-оттаивания от среднегодовой температуры территории строительства, а также отношение мощностей участков слоя сезонного промерзания-оттаивания к полной мощности слоя сезонного промерзания-оттаивания для диапазонов температур ниже $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$; от -2 до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$; от $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше.

На основании отношения мощностей участков с различной температурой предложена методика для определения удельной касательной силы морозного пучения, действующей на сваю в слое сезонного промерзания-оттаивания, при использовании цементно-песчаного раствора в качестве заполнения пространства между поверхностью сваи и стенкой лидерной скважины.

В неблагоприятных условиях для твердения ожидаемая прочность цементно-песчаного раствора на контакте с грунтом и фундаментом ниже, чем у раствора, твердеющего в благоприятных условиях, из-за чего возникает необходимость при расчете устойчивости и прочности на воздействие силы морозного пучения проверять цементно-песчаный раствор на разрыв в уровне сезонного промерзания-оттаивания и полный отрыв цементно-песчаной обоймы от сваи.

Следует отметить, что при проектировании необходимо также учитывать конструкцию сваи и ее геометрические параметры, которые могут влиять на срок замерзания раствора после устройства свай. Срок нахождения раствора при положительной температуре следует определять теплотехническим расчетом.

Список литературы

1. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 [интернет]. Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/117292/>
2. Цытович Н.А. К вопросу расчета свайных фундаментов сооружений, возводимых на вечной мерзлоте. Л.: Гипрометз; 1928.
3. Далматов Б.И. О средней величине касательных сил пучения. В: Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. Москва: Изд-во АН СССР; 1953. Вып. I, с. 135–143.
4. Далматов Б.И. Механизированный балочный пресс системы Далматова-Минина. Москва; 1955.
5. Чеверев В.Г., Алексеев А.Г. Метод лабораторного определения удельной касательной силы морозного пучения [к проекту ГОСТ]. В: Материалы Пятой конференции геокриологов России. Москва: Университетская книга; 2016, с. 138–142.
6. Алексеев А.Г., Чеверев В.Г. Определение касательной силы морозного пучения грунтов: рекомендации. Криосфера Земли. 2019;23(1):72–79. [https://doi.org/10.21782/kz1560-7496-2019-1\(72-79\)](https://doi.org/10.21782/kz1560-7496-2019-1(72-79))
7. ГОСТ Р 56726-2015. Грунты. Метод лабораторного определения удельной касательной силы морозного пучения. Москва: Стандартинформ; 2016.
8. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. Москва: Стандартинформ; 2013.

References

1. SP 25.13330.2020. Soil bases and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88 [internet]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/117292/> (in Russian).
2. Tsytoich N.A. On the issue of calculating pile foundations of structures erected on permafrost. Leningrad: Gipromet; 1928. (In Russian).
3. Dalmatov B.I. On the average value of tangential heaving forces. In: Materials on laboratory studies of frozen soils. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1953. Issue I, pp. 135–143. (In Russian).
4. Dalmatov B.I. Mechanized beam press of the Dalmatov-Minin system. Moscow; 1955. (In Russian).
5. Cheverev V.G., Alekseev A.G. Method of laboratory determination of the specific tangential force of frost heaving (to the GOST project). In: Materials of the Fifth Conference of geocryologists of Russia. Moscow: Universitetskaya kniga; 2016, pp. 138–142. (In Russian).
6. Alekseev A.G., Cheverev V.G. Determination of the tangential force of frost heaving of soils: recommendations. Cryosphere of the Earth. 2019;23(1):72–79. (In Russian). [https://doi.org/10.21782/kz1560-7496-2019-1\(72-79\)](https://doi.org/10.21782/kz1560-7496-2019-1(72-79))
7. State Standard R 56726-2015. Soils. Laboratory method for determine the specific tangential forces of frost heaving. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. (In Russian).
8. State Standard 20522-2012. Soils. Statistical treatment of the test results. Moscow: Standartinform Publ.; 2013. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Григорьевич Алексеев, канд. техн. наук, начальник центра геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

Andrei G. Alekseev, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

Павел Михайлович Сазонов, заведующий сектором проектирования и геокриологических исследований, лаборатория № 8, центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: sazono-pm@yandex.ru

Pavel M. Sazonov, Head of the Design and Geocryological Research Sector, Laboratory No. 8, Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: sazono-pm@yandex.ru

Светлана Павловна Сорокина[✉], инженер сектора проектирования и геокриологических исследований, лаборатория № 8, центр геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: svetlana.sorokina.l@mail.ru

Svetlana P. Sorokina[✉], Engineer of the Design and Geocryological Research Sector, Laboratory No. 8, Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: svetlana.sorokina.l@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author