

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-50-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-50-65)
УДК 624.15; 624.139; 67.13.59; 67.11.29

EDN: OPIAVR

НЕГАТИВНЫЕ СИЛЫ ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ ОТТАИВАНИИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

А.Г. АЛЕКСЕЕВ^{1,2}, д-р техн. наук
П.М. САЗОНОВ¹
И.А. ДЫМЧЕНКО^{1,✉}
А.А. АЛЕКСЕЕВА¹

¹ Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсегонова АО «НИЦ «Строительство», Рязанский проспект, д. 59, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Действующие отечественные нормы по проектированию фундаментов на многолетнемерзлых грунтах (СП 25.13330.2020) недостаточно полно рассматривают вопрос учета негативных сил при оттаивании деятельного слоя при проектировании свайных фундаментов в многолетнемерзлых грунтах. Из-за этого перед проектировщиками встает выбор: учитывать негативные силы, что приводит к повышению надежности проектного решения по фундаментам и увеличению его стоимости, или не учитывать, вследствие чего уменьшается стоимость фундаментов, но снижается его надежность. В статье представлены результаты исследований возникновения негативной силы, действующей по боковой поверхности металлических свай при сезонном оттаивании многолетнемерзлых грунтов, представленных песками средней степени водонасыщения и водонасыщенными.

Цель. Получение достаточного количества экспериментальных данных для разработки рекомендаций по учету негативных сил трения, возникающих на боковой поверхности свайного фундамента при сезонном оттаивании песчаного грунта.

Материалы и методы. Методология заключалась в проведении лотковых испытаний в холодильной камере с использованием моделей свай, погруженных в песок и подвешенных на крановые весы. Для опытов использовались металлические трубы разной длины, погруженные в песчаный грунт среднего и полного водонасыщения. Помимо этого, проведены численные теплотехнические расчеты скорости оттаивания грунта и аналитические расчеты негативной силы трения по СП 24.13330.2022 с использованием табличных значений.

Результаты. Сформулированы предложения по учету негативных сил трения при проектировании свайных фундаментов в оттаивающем песчаном грунте.

Выводы. На основе анализа опытных данных сделан вывод об отсутствии негативных сил по боковой поверхности свай при сезонном оттаивании песчаного грунта.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, негативные силы трения, несущая способность свай, теплотехнический расчет, слой сезонного оттаивания

Для цитирования: Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Дымченко И.А., Алексеева А.А. Негативные силы по боковой поверхности металлических свайных фундаментов при оттаивании песчаного грунта. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;43(4):50–65. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-50-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-50-65)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договора с ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.11.2024

Поступила после рецензирования 10.12.2024

Принята к публикации 12.12.2024

NEGATIVE FORCES ON THE LATERAL SURFACE OF METAL PILE FOUNDATIONS DURING SANDY SOIL THAWING

A.G. ALEKSEEV^{1,2}, Dr. Sci. (Engineering)

P.M. SAZONOV¹

I.A. DYMCHENKO^{1,✉}

A.A. ALEKSEEVA¹

¹Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Ryazanskiy ave., 59, Moscow, 109428, Russian Federation

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. Current Russian standards for the design of foundations on permafrost soils (SP 25.13330.2020) fail to sufficiently address the issue of accounting for negative forces during the thawing of the active layer when designing pile foundations in permafrost soils. As a result, designers face a choice either to account for negative forces, thereby increasing the reliability of the foundation design and its cost, or to neglect them, which reduces the cost of foundations but decreases their reliability. The present paper describes the results of studies on negative forces acting on the lateral surface of metal piles during seasonal thawing of permafrost soils represented by moderately saturated and fully saturated sands.

Aim. To obtain a sufficient amount of experimental data for developing recommendations on accounting for negative friction forces acting on the lateral surface of pile foundations during the seasonal thawing of sandy soil.

Materials and methods. The methodology involved conducting trough tests in a cooling chamber using pile models immersed in sand and suspended on crane scales. For tests, metal pipes of different lengths were immersed in sandy soils of medium and full water saturation. In addition, the study involved numeric thermotechnical calculations of the soil thawing rate and analytical calculations of the negative friction force based on SP 24.13330.2022 using reference values.

Results. Proposals have been formulated to consider negative friction forces when designing pile foundations in thawing sandy soil.

Conclusions. The analysis of experimental data revealed no negative forces on the lateral surface of piles during seasonal thawing of sandy soil.

Keywords: permafrost soils, negative friction forces, pile bearing capacity, thermotechnical calculation, seasonal thawing layer

For citation: Alekseev A.G., Sazonov P.M., Dymchenko I.A., Alekseeva A.A. Negative forces on the lateral surface of metal pile foundations during sandy soil thawing. *Vestnik NIC Stroitel' stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;43(4):50–65. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-50-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-50-65)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The study was carried out under a contract with the Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 21.11.2024

Revised 10.12.2024

Accepted 12.12.2024

Введение

Особенностью строительства зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах является применение, как правило, свайных фундаментов. При оттаивании мерзлых грунтов грунт около свай как бы нависает на них, на боковой поверхности сваи возникает дополнительная сила, направленная вертикально вниз [1]. Данный процесс следует учитывать при расчете несущей способности свай. Однако механизм возникновения негативной силы при оттаивании до сих пор полноценно не изучен. Один из основных вопросов заключается в определении условий, при которых негативная сила проявляется: относится это только для случаев, когда свая упирается в скалу, или ежегодное промерзание и оттаивание деятельного слоя также нагружает сваю?

Из-за недостатка исследований по данной теме в настоящий момент каждая проектная организация сама определяет необходимость учета негативных сил от слоя сезонного оттаивания при расчете несущей способности свайного фундамента. С одной стороны, учет негативных сил приводит к увеличению надежности принятых конструктивных решений, с другой стороны, он может привести к нерациональному удорожанию свайного фундамента.

Целью работы является получение достаточного количества теоретических и экспериментальных данных, необходимых для разработки рекомендаций по учету негативных сил, возникающих на боковой поверхности свайного фундамента из металлических труб при сезонном оттаивании песчаного грунта при проектировании фундаментов на многолетнемерзлых грунтах.

Материалы и методы

В рамках исследований проведены лабораторные лотковые испытания моделей металлических свай разной длины в песчаном основании. Лотки с мерзлым грунтом оборудованы гидравлическими домкратами для проведения испытаний статической вдавливающей нагрузкой, датчиками для измерения температуры грунта, весами для фиксации величины негативной силы, индикаторами часового типа для измерения перемещений. Для обеспечения возможности контролируемого изменения температуры грунта испытания проведены в климатической камере.

Испытания состояли из трех этапов: подготовительные работы, лотковые испытания для определения несущей способности свай, лотковые испытания для определения негативных сил. Для испытаний принят линейный масштаб 1:10.

Испытания проведены для двух типов мерзлых грунтов (песчаного средней степени водонасыщения и песчаного водонасыщенного с различными физическими и теплофизическими свойствами) с целью определения степени влияния свойств грунта на возникновение негативных сил.

На первом этапе проведены:

1. Комплекс сопутствующих лабораторных исследований, включающих:
 - проведение испытаний по определению физических свойств грунтов (плотность грунта, влажность грунта) [2];
 - проведение испытаний по определению теплофизических свойств грунтов (теплопроводность грунта в талом и мерзлом состояниях, объемная теплоемкость грунта в талом и мерзлом состояниях, температура фазового перехода грунта) [3].

2. Теплотехнические расчеты в численном программном комплексе с целью определения времени оттаивания грунта в лотке.

3. Теплотехнические расчеты с климатическими условиями г. Якутска с песчаным основанием и с учетом тренда глобального изменения климата.

На втором этапе определялась несущая способность свайного фундамента по боковой поверхности согласно [4]. Для того чтобы исключить работу сваи под острием на дне лотка предусмотрена полая гильза. Испытания проведены в морозильной камере при температуре грунта и воздуха минус 2 °С.

В рамках работы проведено два лотковых испытания по определению несущей способности свайного фундамента. Первое – с металлической свайей Ø 57 мм длиной 0,5 м в песчаном грунте среднего водонасыщения, второе – с металлической свайей Ø 57 мм длиной 0,5 м в песчаном грунте полного водонасыщения. Нагрузка на испытуемые сваи создавалась гидравлическим домкратом. На каждой ступени нагружения снимались отчеты с датчиков часового типа для измерения деформаций. Испытания закончились при достижении срыва свай.

На третьем этапе определялась величина негативных сил. В лотках с грунтом устраивались модели свай различной длины. После промерзания грунта к верху свай присоединялись весы, которые в свою очередь прикреплялись к неподвижной раме. Боковые стороны лотка и его дно теплоизолировались. Затем холодильная камера отключалась. Предварительно замороженный грунт до температуры минус 2 °С начинал оттаивать сверху вниз. В случае, если при оттаивании верхнего слоя грунта возникают негативные силы на боковую поверхность свай, пригруз нависшего грунта регистрировали бы весы. Теплоизоляция боковых сторон лотка и его дна выполнена с целью моделирования процесса сезонного оттаивания, при котором оттаивание происходит сверху вниз. В рамках работы проведено два лотковых испытания по определению негативных сил. Первое – с металлическими сваями в песчаном грунте средней степени водонасыщения, второе – с металлическими сваями в песчаном водонасыщенном грунте. В каждом испытании использовались четыре металлических сваи с одинаковым диаметром – Ø 57 мм, но разной длиной – 0,3; 0,5; 0,7 и 0,9 м. В процессе испытания измерялись деформации свай. Под нижними концами свай устраивались полости для исключения работы острия свай.

Принципиальная схема лотка для проведения испытаний по определению негативной силы представлена на рис. 1.

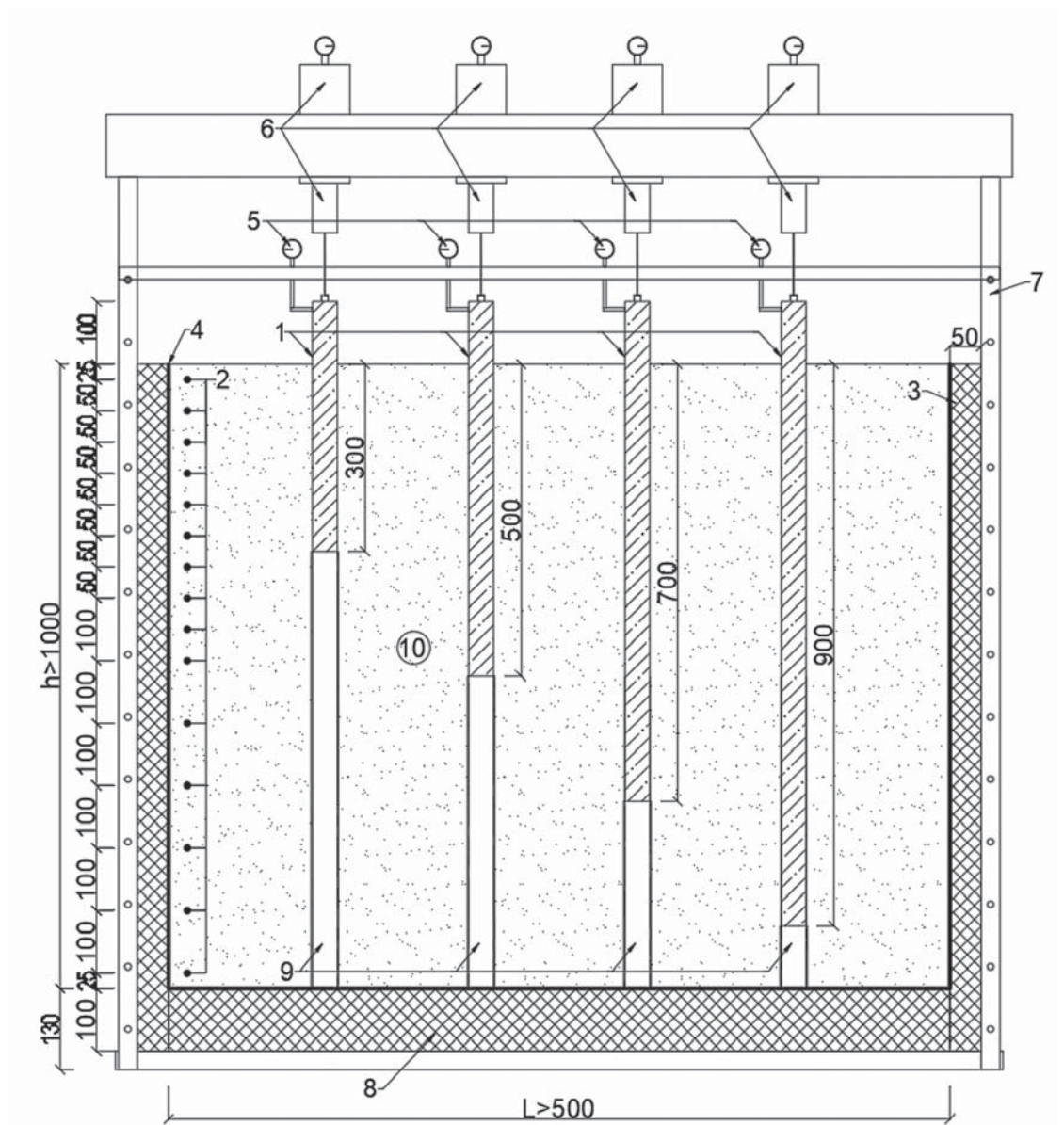


Рис. 1. Принципиальная схема лотка для проведения испытаний по определению негативной силы: 1 – модель сваи; 2 – термометрическая коса; 3 – теплоизолятор рулонный; 4 – емкость; 5 – индикатор часового типа; 6 – весы; 7 – стальная рама; 8 – теплоизолятор листовый; 9 – полость для сваи; 10 – однородный грунт

Fig. 1. Schematic diagram of the trough for the negative force test: 1 – pile model; 2 – thermistor chain; 3 – roll heat insulator; 4 – capacity; 5 – dial indicator; 6 – scales; 7 – steel frame; 8 – sheet heat insulator; 9 – pile cavity; 10 – homogeneous soil

Результаты лабораторных испытаний

Результаты испытаний по определению физических и теплофизических свойств мерзлых грунтов представлены в табл. 1

В ходе подготовки лотков для проведения лотковых испытаний получилось достичь требуемой степени водонасыщения при одинаковой плотности.

Результаты теплотехнических расчетов

Одной из задач в рамках выполнения работы стало проведение теплотехнического расчета для определения времени и скорости оттаивания грунта. Расчеты выполнены в численном программном комплексе Борей 3D. Выполнено три расчета для различных начальных условий:

- расчет с условиями, аналогичными лотковому испытанию с песком среднего водонасыщения;
- расчет с условиями, аналогичными лотковому испытанию с песком полного водонасыщения;
- расчет с климатическими условиями г. Якутска [5] с песчаным основанием и трендом на глобальное изменение климата на территории России с применением ансамбля глобальных климатических моделей CMIP6 по сценарию SSP5-8.5 [6].

Таблица 1

Физические и теплофизические свойства грунтов

Table 1

Physical and thermophysical properties of soils

Наименование грунта	Влажность полного водонасыщения, $W_{sat}, \%$	Влажность, $W, \%$	Коэффициент водо- насыщения, S_r , д. е.	Естественная плот- ность, ρ , г/см ³	Плотность сухого, ρ_d , г/см ³	Температура на- чала заморзания, $T_{br}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности, λ_r , Вт/м×К	Объемная теплоем- кость, C_r , МДж/м ³ ×К	Коэффициент теплопроводности, λ_{in} , Вт/м×К	Объемная те- плоемкость, C_{in} , МДж/м ³ ×К
Песок кварцевый средней степени водонасыщения	18,68	10,00	0,54	1,75	1,57	-0,04	2,71	1,72	1,90	1,99
Песок кварце- вый водонасы- щенный		18,40	0,99	1,84	1,56	-0,04	2,30	1,77	1,70	2,10

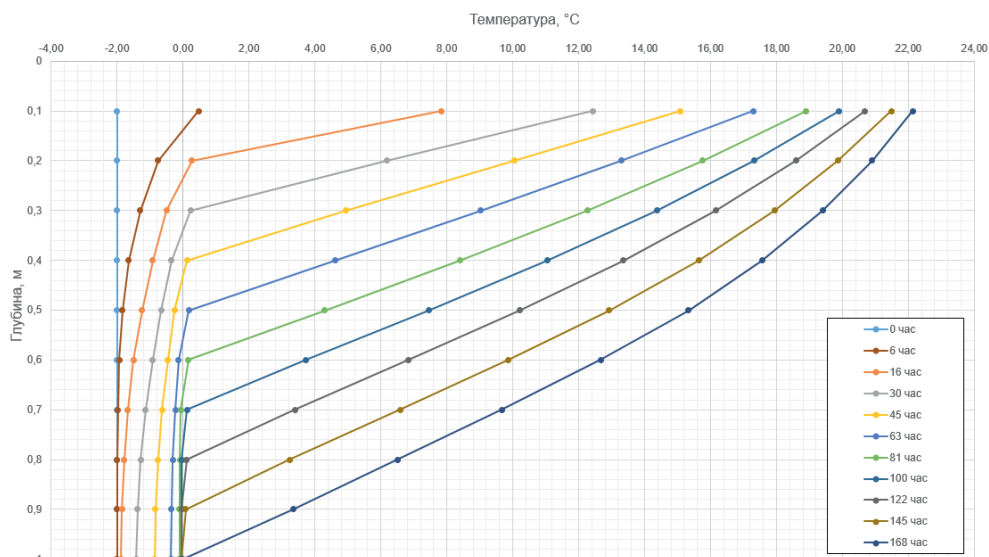


Рис. 2. Распределение температуры грунтов по глубине во времени
Fig. 2. Distribution of soil temperature by depth over time

Расчет с песком среднего водонасыщения выполнялся на период 7 дней. Интервал выдачи результатов – 1 час. Результаты теплотехнического расчета представлены в виде графика распределения температуры грунтов по глубине для различных моментов времени (рис. 2).

Согласно расчету, при постоянной положительной температуре воздуха 24 °С достаточно:

- 30 часов для оттаивания 0,3 м грунта;
- 63 часа для оттаивания 0,5 м грунта;
- 100 часов для оттаивания 0,7 м грунта;
- 145 часов для оттаивания 0,9 м грунта.

Для полного оттаивания одного метра грунта необходимо 168 часов.

Для оценки влияния негативной силы на несущую способность основания на примере реального объекта проведен численный теплотехнический расчет в условиях глобального потепления для города Якутска. Исходные данные для выполнения теплотехнического расчета принимались по действующим нормативным документам, изыскательским и проектным данным.

Среднемесячные значения скорости ветра и высоты снежного покрова приняты по архивным данным постоянными с начального момента моделирования и приведены в табл. 2.

В качестве расчетной области принят трехмерный грунтовый массив глубиной 100 м и размерами в плане 210,0 × 200,0 м. Шаг сетки принят адаптивным от 0,4 × 0,4 × 0,1 до 2,0 × 2,0 м.

Общий вид созданной модели и расположение слоев грунтовых элементов в ней представлены на рис. 3.

Расчет с условиями г. Якутска с песчаным основанием и трендом на глобальное изменение климата выполнялся на период 70 лет. Интервал выдачи результатов – 1 месяц. Граничные условия (ГУ) модели приведены в табл. 3.

Таблица 2

Скорость ветра и высота снежного покрова для г. Якутска

Table 2

Wind speed and snow depth for Yakutsk

Наименование параметра	Среднее значение по месяцам (годовое)												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Скорость ветра, м/с	0,8	0,9	1,4	2,2	2,6	2,4	2,2	2,1	2,1	1,8	1,2	0,9	1,7
Высота снежного покрова, м	0,25	0,29	0,30	0,16	–	–	–	–	–	0,04	0,15	0,21	0,25

Таблица 3

Граничные условия модели

Table 3

Model boundary conditions

ГУ	Характеристика ГУ	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Климат	Температура, °С	–38,1	–33,6	–19,3	–3,7	8,5	17,2	20,3	16,2	6,9	–6,8	–26,8	–36,8
	Коэффициент теплообмена, Вт/м ² ×К	9,51	9,93	12,03	15,38	17,05	16,22	15,38	14,96	14,96	13,70	11,12	9,93
Боковые и нижняя грани	Тепловой поток, Вт/м ²	0,0											

Результаты теплотехнического расчета представлены в виде графика распределения температуры грунтов по глубине для различных моментов времени (рис. 4).

Согласно расчету, с учетом тренда будущих изменений климата на территории г. Якутска кровля многолетнемерзлых грунтов опускается:

- на 3 м за 31 год;
- на 5 м за 48 лет;
- на 7 м за 59 лет;
- на 9 м за 70 лет.

Результаты лотковых испытаний

Испытания по определению несущей способности свай по грунту закончились, когда был достигнут срыв сваи. Общий вид экспериментального лотка в процессе проведения испытаний приведен на рис. 5. На рис. 6 представлены графики зависимости осадки сваи от нагрузки.

В результате проведенных лотковых испытаний определено, что для металлической сваи диаметром 57 мм и рабочей длиной 0,5 м при температуре минус 2 °С несущая способность по боковой поверхности составляет 18 кН в мерзлом песке среднего водонасыщения и 14 кН в мерзлом песке полного водонасыщения.

Согласно результатам аналитического расчета несущей способности по СП 25.13330.2020 [7], несущая способность сваи в описанных выше условиях по боковой поверхности составляет 12,6 кН в мерзлом песке независимо от его влажности.

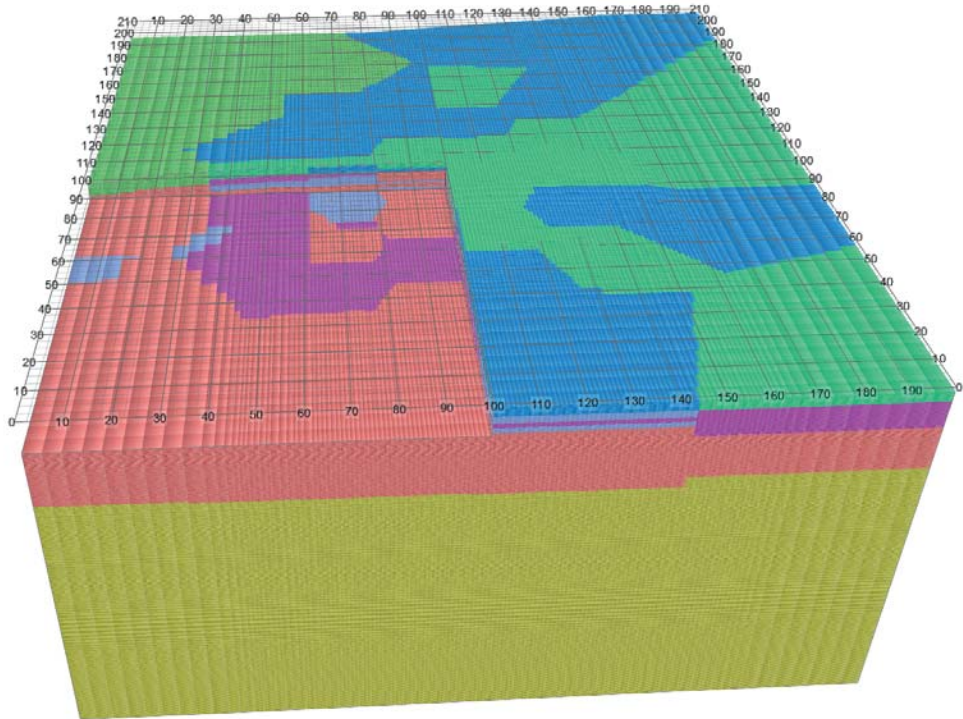


Рис. 3. Общий вид модели
Fig. 3. Model overview

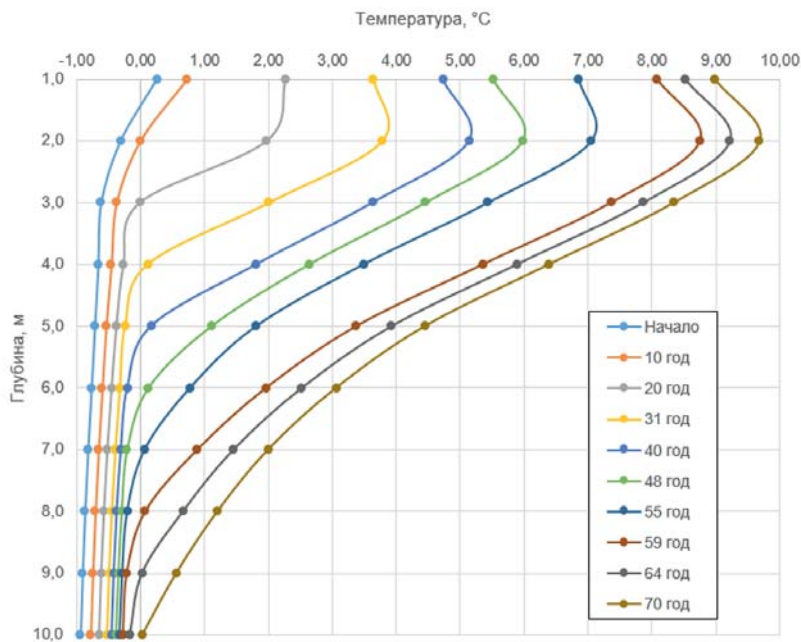


Рис. 4. Распределение температуры грунтов по глубине в зависимости от глубины оттаивания с условиями г. Якутска
Fig. 4. Distribution of soil temperature by depth depending on thawing depth under conditions of Yakutsk



Рис. 5. Общий вид экспериментального лотка для определения несущей способности
Fig. 5. Overall view of the test trough for determining bearing capacity

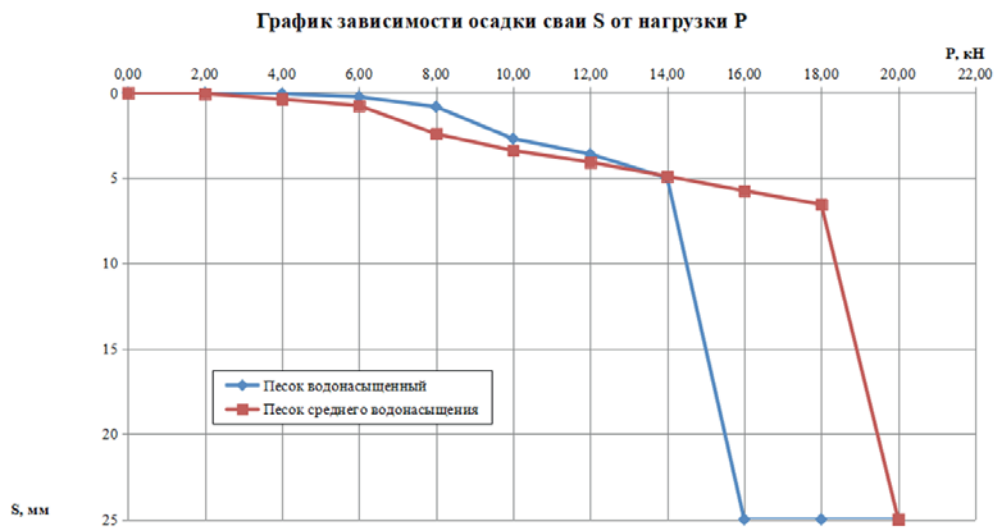


Рис. 6. График зависимости осадки сваи (S) от нагрузки (P)
Fig. 6. Graph of pile settlement (S) as a function of load (P)

Испытания по определению негативной силы закончились при полном оттаивании грунтов. Общий вид экспериментального лотка в процессе проведения испытаний приведен на рис. 7.

По результатам испытаний негативная сила не зафиксирована. Результаты замеров температуры грунтов в центре лотка с песком среднего водонасыщения представлены на рис. 8.

Как видно из рис. 2 и 8, графики изменения температуры по расчету и фактическим замерам сходятся. Незначительные расхождения связаны с более низкой начальной температурой грунта при лотковых испытаниях.

В процессе оттаивания грунта уменьшается несущая способность свайного фундамента (удерживающая сила). Если допустить, что при этом возникают негативные силы, то через некоторое время несущая способность становится меньше негативной силы и наступает первое предельное состояние.

С целью детального анализа соотношения удерживающих и нагружающих сил проведены расчеты несущей способности свайного фундамента в различные промежутки времени, а также расчеты негативных сил трения, возникающие по боковой поверхности свайного фундамента при оттаивании его основания.



Рис. 7. Общий вид экспериментального лотка для определения негативной силы
Fig. 7. Overall view of the test trough for determining negative force

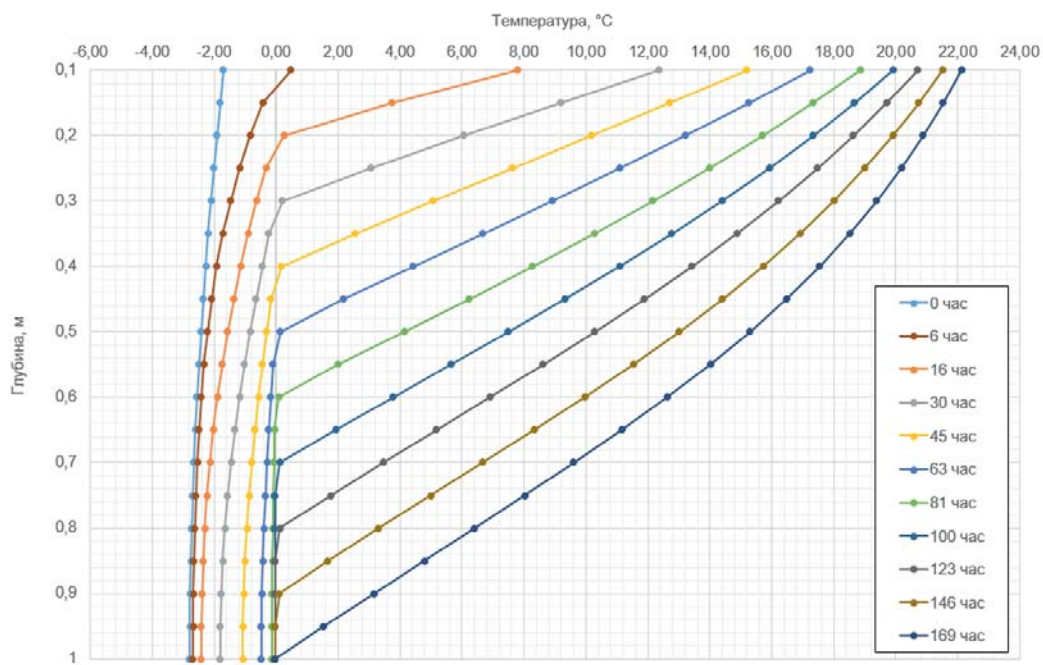


Рис. 8. График изменения температуры по глубине во времени
 Fig. 8. Graph of temperature change by depth over time

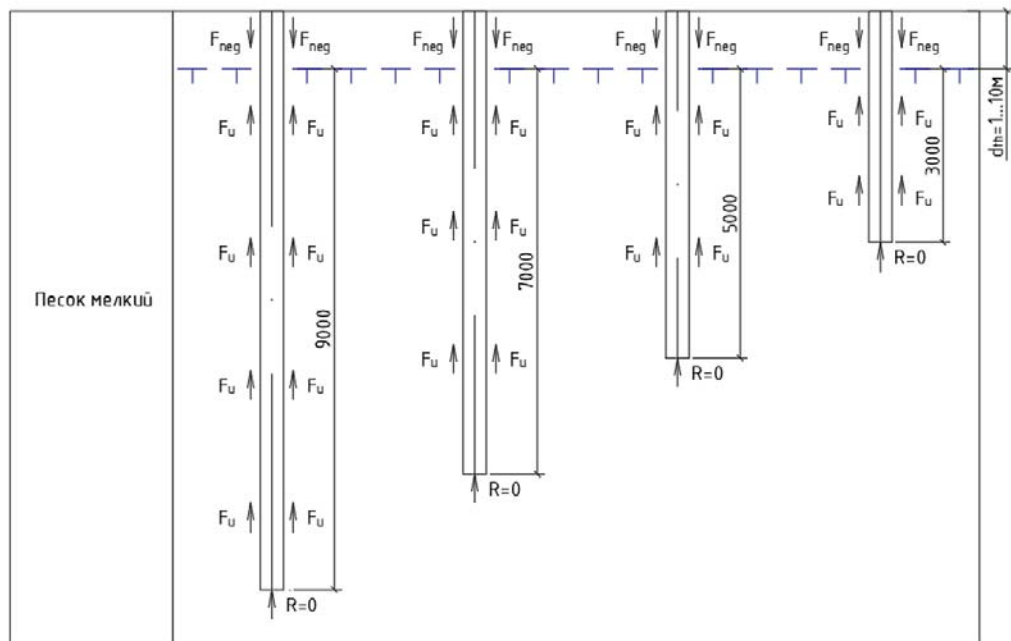


Рис. 9. Расчетная схема
 Fig. 9. Design diagram

Таблица 4

Отношение несущей способности сваи с учетом негативной силы к несущей способности сваи без учета негативной силы ($\frac{F_u - F_{neg}}{F_u}$)

Table 4

Ratio of pile bearing capacity given negative force to bearing capacity without considering negative force ($\frac{F_u - F_{neg}}{F_u}$)

Время оттаивания, год		0	10	20	31	40	48	55
Длина сваи, м	9	0,99	0,95	0,87	0,73	0,49	0,09	0,00
	7	0,98	0,90	0,80	0,53	0,00	0,00	0,00
	5	0,97	0,88	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,95	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Результаты аналитических расчетов

Для расчета приняты сваи в постепенно оттаивающем мелком песке размерами 0,4 × 0,4 м длиной 9, 7, 5 и 3 м. Расчетная схема представлена на рис. 9.

В табл. 4 указано отношение несущей способности сваи с учетом негативной силы к несущей способности сваи без учета негативной силы в различные промежутки времени для свай разной длины.

Расчет показывает, что несущая способность полностью исчерпывается через разные промежутки времени от 20 до 55 лет в зависимости от рабочей длины сваи от 3 до 9 м соответственно.

График изменения несущей способности во времени представлен на рис. 10.

Согласно результатам расчета, несущая способность сваи по боковой поверхности становится равна негативной силе:

- на 20-й год для сваи длиной 3 м;

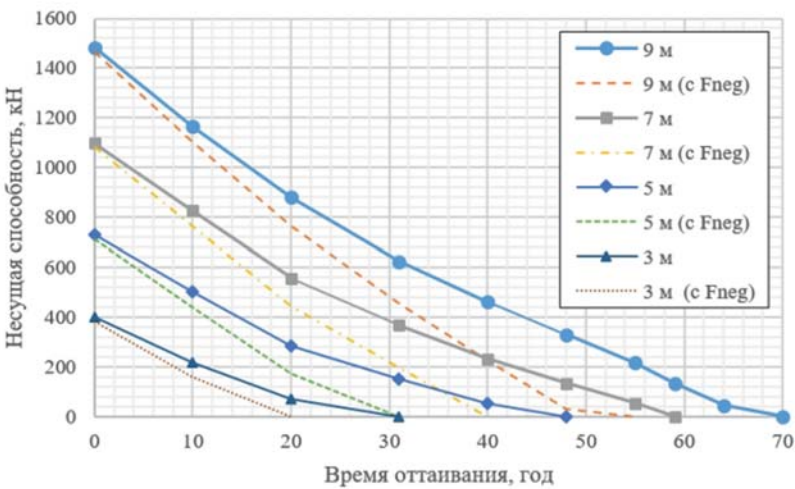


Рис. 10. График изменения несущей способности во времени
Fig. 10. Graph of changes in bearing capacity over time

- на 30-й год для сваи длиной 5 м;
- на 40-й год для сваи длиной 7 м;
- на 50-й год для сваи длиной 9 м.

Допустим, срок службы здания – 30 лет, нагрузка на сваю – 350 кН, свайное поле из 100 свай сечением $0,4 \times 0,4$ м. В таком случае для нормальной эксплуатации сооружения достаточно свай рабочей длиной 7 м на начало эксплуатации. Однако если при расчете несущей способности учесть негативную силу, то сваи длиной 7 м смогут нести 350 кН только 24 года. В таком случае необходимо увеличить длину сваи до 9 м, так как свая длиной 9 м может нести 350 кН не менее 30 лет. Это увеличит объем работ на 30 %.

Выводы

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что при сезонном оттаивании песчаного грунта средней крупности и крупного может не возникать негативных сил трения по боковой поверхности свайного фундамента.

В результате комплекса экспериментальных исследований определены основные факторы, влияющие на возникновение негативных сил трения. К ним относятся: вид грунта, физические свойства грунта, гранулометрический состав грунта, пространственное расположение оттаивающих грунтов по глубине, расстояние между соседними сваями.

Учитывая перечисленные факторы, определены основные параметры, которые необходимо соблюдать при проведении лотковых экспериментов по изучению возникновения негативных сил при оттаивании. К ним относятся: геометрические размеры лотка, взаиморасположение свай в лотке, параметры морозильной камеры, теплоизоляция стенок лотка, жесткость экспериментального стенда.

Список литературы

1. Власов В.П. Особенности свайного фундаментостроения в талых и оттаивающих грунтах Магаданской области. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1992.
2. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Москва: Стандартинформ; 2016.
3. ГОСТ Р 71038-2023. Грунты. Методы лабораторного определения теплофизических характеристик. Москва: Российский институт стандартизации; 2023.
4. ГОСТ 5686-2020. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Москва: Стандартинформ; 2020.
5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Москва: Минстрой России; 2020.
6. Климатический центр Росгидромета [интернет]. Режим доступа: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/> (дата обращения: 10.09.2024);
7. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. Москва: Минстрой России; 2020.

References

1. *Vlasov V.P.* Features of pile foundation construction in thawed and thawing soils of the Magadan region. Yakutsk: Institute of Permafrost Studies SB RAS; 1992. (In Russian).
2. State Standard 5180-2015. Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. (In Russian).
3. State Standard R 71038-2023. Soils. Methods for laboratory determination of thermal characteristics. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023. (In Russian).
4. State Standard 5686-2020. Soils. Field test methods by piles. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).
5. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99*. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2020. (In Russian).
6. The Climate center of Roshydromet [internet]. Available at: <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/> (accessed: 09 October 2024). (In Russian).
7. SP 25.13330.2020. Soil bases and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2020. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Григорьевич Алексеев, д-р техн. наук, начальник центра геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры механики грунтов и геотехники, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

тел.: +7 (926) 129-71-01

Andrey G. Alekseev, Dr. 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; Associate Professor, Department of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

tel.: +7 (926) 129-71-01

Павел Михайлович Сазонов, заведующий сектором проектирования и геокриологических исследований лаборатории механики мерзлых грунтов и расчета оснований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: sazonov-pm@yandex.ru

тел.: +7 (926) 914-57-47

Pavel M. Sazonov, Head of the Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: sazonov-pm@yandex.ru

tel.: +7 (926) 914-57-47

Илья Александрович Дымченко[✉], инженер сектора проектирования и геокриологических исследований лаборатории механики мерзлых грунтов и расчета оснований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: 89212002055i@gmail.com

тел.: +7 (921) 200-20-55

Ilya A. Dymchenko[✉], Engineer, Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 89212002055i@gmail.com

tel.: +7 (921) 200-20-55

Анастасия Андреевна Алексеева, инженер центра геокриологических и геотехнических исследований лаборатории механики мерзлых грунтов и расчета оснований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсевича
АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: n.alexeewa20082001@gmail.com
тел.: +7 (925) 704-28-64

Anastasia A. Alekseeva, Engineer, 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: n.alexeewa20082001@gmail.com
tel.: +7 (925) 704-28-64

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author