

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ ИЗ СВАЙ С ОДНО- И МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Н. В. Купчикова, П. Д. Никулина

Купчикова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ); доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Никулина Полина Дмитриевна, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация

В расчетах на экономическую эффективность применяли кусты из одно- и многоместных уширений в сравнении с обычными призматическими и буронабивными сваями для мерзлых грунтов. На основе полученных данных был составлен подробный расчет, который позволяет получить точное представление о стоимости строительства разных видов свайных фундаментов с уширениями в условиях арктической зоны. Результаты позволяют оценить технико-экономическую эффективность выбранных решений. Анализируя представленные данные, можно сделать выводы о наиболее экономически эффективных типах свай, учитывая их несущую способность, стоимость, экономию по сравнению с базовыми вариантами (призматическими и буронабивными сваями) и особенности технологии установки.

Ключевые слова: технико-экономическая эффективность, устройство фундаментов, сваи с одно- и многоместными уширениями, ПК ГРАНД-СМЕТА, мерзлые грунты, арктическая зона.

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF BUILDING FOUNDATIONS FROM PILES WITH SINGLE AND MULTI-SEAT EXTENSIONS FOR CONSTRUCTION IN THE ARCTIC ZONE

N. V. Kupchikova, P. D. Nikulina

Kupchikova Natalya Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Building Structures, Buildings and Structures Department, Russian University of Transport (RUT MIIT); Associate Professor of Industrial and Civil Engineering Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russian Federation ; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Nikulina Polina Dmitriyevna, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russian Federation

In calculations for economic efficiency, bushes from single- and multi-seat extensions were used in comparison with conventional prismatic and boring piles for frozen soils. Based on the data obtained, a detailed calculation was made, which allows us to get an accurate idea of the cost of building different types of pile foundations with extensions in the Arctic zone. The calculation results allow us to evaluate the technical and economic efficiency of the selected solutions. Analyzing the presented data, it is possible to draw conclusions about the most cost-effective types of piles, taking into account their bearing capacity, cost, savings compared to the basic options (prismatic and bored piles) and the features of the installation technology.

Keywords: technical and economic efficiency, foundation construction, piles with single and multi-seat extensions, PC GRAND ESTIMATE, frozen soils, Arctic zone.

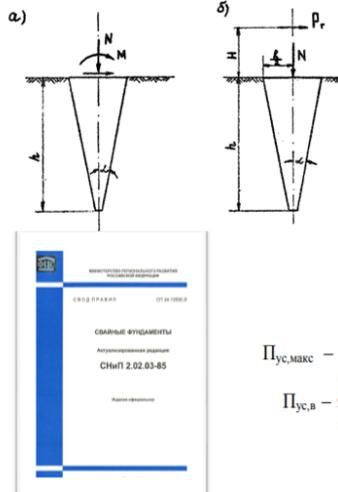
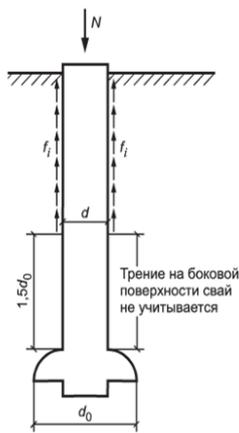
Актуальность

Анализ научных источников показал [1–20], что способ погружения свай в вечномёрзлые грунты выбирают с учетом физико-механических свойств грунтов, их среднегодовой температуры, времени года, требований к точности погружения и других факторов. Основные технологии погружения: бурозабивной способ; буропусковой метод; опусковой с предварительным оттаиванием грунта; буробсадные технологии.

Во многих случаях проекты свайных фундаментов в мерзлых грунтах выполняются с большим запасом, часто недоиспользуется несущая способность свай, а величины замеренных осадок, как правило, значительно меньше допускаемых для зданий и сооружений. Это говорит о существовании неиспользованных резервов.

Для конструкций, возводимых на оттаивающих грунтах проектным методом, рекомендуется использовать жесткие массивные фундаменты, к которым относятся свайные фундаменты с уширениями. Эти фундаменты должны выдерживать значительные осадки и перераспределять нагрузку. Анализ нормативно-правовой базы, по технико-экономической оценке, эффективности внедрения свай с уширениями в мерзлых грунтах показал, что в СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах» сваи с уширениями не рассматриваются, а в СП «Свайные фундаменты» такие конструкции ограничены лишь двумя типами свай – буронабивными с уширенной пятой и наклонными боковыми гранями. Обязательным является расчет по оценке экономической эффективности технических решений фундаментных конструкций (рис. 1).

В СП 24.13330.2022 «СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ» представлены сваи с уширениями двух типов



В СП 24.13330.2022 «СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ» обязательным является расчёт по оценке экономической эффективности технических решений фундаментных конструкций

Определение коэффициентов экономической эффективности $K_{э.э}$ для каждого варианта фундаментных конструкций выполняются по формуле

$$K_{э.э} = P_{ус, макс} / P_{ус, в}$$

$P_{ус, макс}$ – максимальное значение удельной стоимости фундаментных конструкций для рассматриваемых вариантов;
 $P_{ус, в}$ – значение удельной стоимости фундаментных конструкций для каждого варианта.

Рис. 1. Анализ нормативно-правовой базы, по технико-экономической оценке, эффективности внедрения свай с уширениями в мерзлых грунтах

Были изучены аналитические методы расчета устойчивости фундамента при действии сил морозного пучения грунтов основания

и определения несущей способности свай с учетом вышеперечисленных факторов (рис. 2).

СЕЗОННОЕ ПРОМЕРЗАНИЕ ГРУНТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ

В инженерной практике существует понятие индекса промерзания. Он вычисляется как сумма произведений абсолютных значений отрицательной температуры и времени:

$$F = \sum (T_i \Delta t_i)$$

В теплотехнических расчетах часто используют теплоту фазовых переходов, отнесенную к единице объема:

$$q_v = L_0 (W_{tot} - W_w) \rho_d$$

Глубину промерзания также можно определить по модифицированной формуле Стефана

Где α – коэффициент, учитывающий нелинейное изменение температуры грунта по глубине, определяется по графику в зависимости от μ и α – коэффициент, показывающий отношение температуры поверхности к температуре воздуха; μ – коэффициент теплоотдачи; μ – расчетный параметр,

$$\alpha = \frac{T_m}{|T_w| \times n_f} \quad d_f = \sqrt{\frac{2\lambda_f \times F}{C_{vth} \times T_0 + q_v + 0,5C_{v|T_w|}}} \quad d_f = \beta \sqrt{\frac{2\lambda_f \times F \times n_f}{q_v}}$$

$$\mu = \frac{C_{vf} \times |T_w| \times n_f}{q_v} \quad t_1 = \frac{d_1^2 \times q_{v1} \times t_w}{2\lambda_1 \times \beta_1^2 \times F \times n_f} \quad F'' = \frac{F \times n_f (t_w - t_1)}{t_w}$$

График зависимости коэффициента β от параметров μ и α

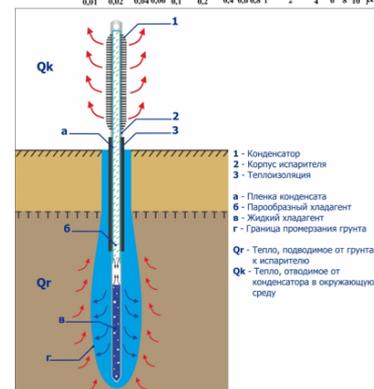
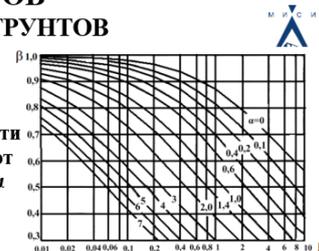


Рис. 2. Определение сезонного промерзания грунтов и теплоты фазовых переходов

На основании СП «Свайные фундаменты» методика оценки конструктивной и экономической эффективности технических решений фундаментных конструкций состоит из оценки их эффективности и назначения ее критериев, определения соответствующих частных коэффициентов для вариантов фундаментных конструкций, а именно:

- требований по конструктивным показателям обеспечения механической/конструктивной безопасности объекта;

- нагрузки на основание, отдельный элемент свайного фундамента (сваю, ячейку/участок свайного фундамента);

- возможных вариантов фундаментов с учетом нагрузки и инженерно-геологических условий площадки.

В качестве критериев конструктивной эффективности используют показатели, определяемые расчетами по предельным состояниям первой и второй групп:

- несущую способность сваи по грунту;

- по материалу;
- осадку свайного фундамента/сваи;
- неравномерности осадок (относительную разность осадок, крен).

После выбора критериев для возможных вариантов свайных фундамента определяют частные коэффициенты (табл.). В зависимости от требований, предъявляемых к объекту, обобщенный коэффициент эффективности по конструктивным требованиям для каждого варианта фундамента определяют по таблице А.1 СП – произведение частных коэффициентов конструктивной эффективности:

$$K_{К.э.} = K_1(\text{вариант})K_2(\text{вариант}).$$

Наиболее эффективным по конструктивным требованиям считают вариант, имеющий наибольшее значение коэффициента $K_{К.э.}$. При оценке вариантов следует принимать технические решения, реально осуществимые с точки зрения исполнения на данном объекте. Определение коэффициентов экономической эффективности $K_{К.э.}$ для каждого варианта фундаментных конструкций выполняют по формуле:

$$K_{э.э.} = P_{ус, макс} / P_{ус, в.}$$

Таблица 1

Определение частных коэффициентов конструктивной эффективности

Критерий конструктивной эффективности	Требуемое или предельное значение	Частный коэффициент конструктивной эффективности $K_j (K_j \geq 1)$
1 Несущая способность по грунту F_d сваи/свайного основания	$F_{d, треб}$	$K_1 = F_d / F_{d, треб}$
2 Несущая способность по материалу F_m сваи/свайного основания	$F_{m, треб}$	$K_2 = F_m / F_{m, треб}$
3 Осадка сваи/фундамента S	$S_{пред}$	$K_3 = 2 - S/S_{пред}$
4 Относительная разность осадок свайного фундамента ΔS	$\Delta S_{пред}$	$K_4 = 2 - \Delta S/\Delta S_{пред}$

Максимальное значение удельной стоимости фундаментных конструкций для рассматриваемых вариантов $P_{ус, макс}$. Значение удельной стоимости для каждого варианта – $P_{ус, в.}$.

Определение интегральных коэффициентов эффективности и окончательный выбор варианта фундаментных конструкций

По значениям коэффициентов конструктивной и экономической эффективности выполняют оценку эффективности по интегральному коэффициенту K_i для выбранных вариантов по формуле

$$K_i(\text{вариант}) = K_{К.э.}(\text{вариант})K_{э.э.}$$

В расчетах на экономическую эффективность применяли кусты из одно- и многоступенчатых уширений в сравнении с обычными призматическими и буронабивными сваями. Конечно-элементные модели системы «свайный фундамент с концевыми уширениями – грунтовое основание», построенные в программном комплексе MIDAS GTS NX, представлены на рисунке 3.

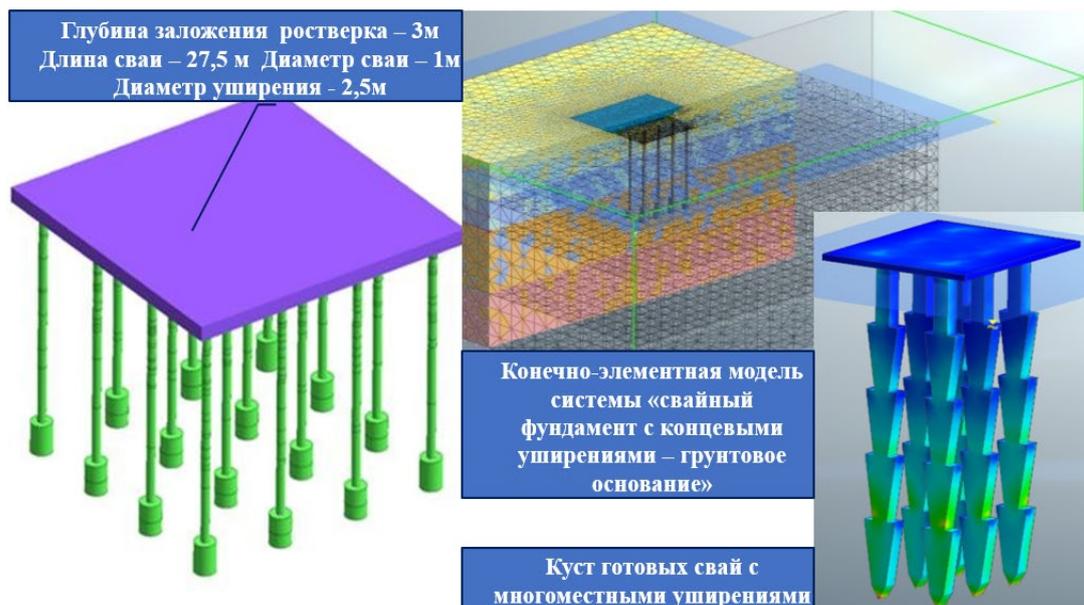


Рис. 3. Конечно-элементные модели системы «свайный фундамент с концевыми уширениями – грунтовое основание», кустов из одно- и многоступенчатых уширений

Был выполнен расчет с использованием программы ГРАНД-смета. Применяли индексы для Мурманской области на первый квартал 2025 года, что позволило учесть особенности

региона, такие как климатические и геологические условия, а также стоимость материалов и трудовых ресурсов (рис. 4).



Для оценки сметной стоимости строительства фундаментов было выполнено расчет с использованием программы ГРАНД-смета



В процессе расчета использовались актуальные индексы для Мурманской области на 1 квартал 2025 года



**Оплата труда: 81,33
Материалы, изделия и конструкции: 10,15
Эксплуатация машин и механизмов: 19,74**

ЛОКАЛЬНАЯ СМЕТА №
(разовый смет)

на (установку) в скважины в мерзлых и вечноммерзлых грунтах призматической свай (исключением работ в скваж. колоннах в скваж. обсад.)

Сметная стоимость	2330,715 тыс.руб.
Сметная стоимость строительных работ	2330,715 тыс.руб.
Средства на оплату труда	320,848 тыс.руб.
Сметная трудоемкость	224,82 чел.-час.
Сопоставлен в текущий (прогнозный) цены по состоянию на	

№ п/п	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Кол-во	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч. на занятых оборудованными машинами / ТЭМ		
				Всего	эксплуатация цмн машин	материалы	Оборудование	Всего	оплата труда	эксплуатация цмн машин	материалы	на единицу	всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Раздел 1. Новый раздел														
2	ВЕРХОЛ-41-005-02	Бурение скважин диаметром до 800 мм глубиной до 10 м шнековым способом в грунты 4 группы (1000 мм)	3,81	16 551,67	16 263,67	268,60		63 661,87	1 923,37	62 638,50	1 241,39	31,9167	22,648	116,17
1 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 1 Москва (исключая льготные зоны) СЭИЧМ: 33, 30м*0,74, ЭИЧМ: 33, 30м*0,74														
Свайные работы														
Нормальные расходы 117% КОТ (от 2 269,76)														
Сметная прибыль 70% КОТ (от 2 269,76)														
Итого с накладными и на прибыль:														
1-5-5 Затраты труда рабочих (раб. ч.):														
116,173827 0,00														
116,173827 0,00														
91 02 04-04) Установка свайного бурения с крутилкой														
10,152 1 517,51														
40,87395 30,42														
82 038,48														
82 038,48														
115,95														
ВЕРХОЛ-41-005-02														
(чел.-час)														
Установка в скважины в мерзлых и вечноммерзлых грунтах железобетонных свай объемом до 0,75 м3 (м3)														
63														
408,72														
127,31														
266,20														
85 379,70														
956,97														
8 636,53														
76 402,20														
1,8086														
1,8086														
106,44														
63,5														

Рис. 4. Методика расчета сметной стоимости свай с уширениями в мерзлых грунтах

Результаты

На основе полученных данных был составлен подробный расчет, который позволяет получить точное представление о стоимости строительства разных видов свайных фундаментов в условиях арктической зоны. Результаты расчета представлены на рисунке 5, что дает возможность оценить технико-экономическую эффективность выбранных решений.

Анализируя данные, можно сделать выводы о наиболее экономически эффективных типах свай, учитывая их несущую способность, стоимость, экономию по сравнению с базовыми вариантами (призматическими и буронабивными) и особенности технологии установки. В частности, сваи с концевыми уширениями из щебня требуют предварительного парооттаивания грунта паровыми иглами, что может повлиять на сложность и стоимость монтажа.

1	Наименование конструкции свай и тип уширения	Объем 1 шт./объем свайного поля	Несущ. способность 1 сваи	Кол-во свай в свайном поле, шт.	Сметная стоимость возведения, Р	Экономическая эффективность по сравнению со свай без уширения, Р (%)
1	Свая с поверхностными уширениями в виде клиньев	0,65 / 42,25	90 т	65	1931340,30	999374,44(34%)
2	Свая буронабивная с концевым уширением из втрамбованного щебня в оттаянный грунт паровыми иглами	1,424 / 95,4	90 т	67	4768831,25	1164607,27(20%)
3	Свая с клиньями вверху и концевым уширением из втрамбованного щебня в оттаянный грунт паровыми иглами	1,07 / 53,5	130 т	50	3250912,38	2682526,14(45%)
4	Свая призматическая	0,63 / 63	58,8 т	100	2930714,74	-
5	Свая буронабивная	1,2 / 120	46 т	100	5933438,52	-
6	Свая с множественными уширениями	1,88/88,36	125 т	47	2917734,3	12980,44(1%)

Рис. 5. Техничко-экономическое обоснование подбора конструктивного решения фундаментов из свай с уширениями

Базовые варианты призматических свай стоимостью 2 930 714 руб. и буронабивных стоимо-

стью 5 933 438 руб. используются для сравнения. Их несущая способность составляет 58,8 т и 116 т соответственно.

Наибольшую экономическую эффективность демонстрируют сваи с клиньями вверху и концевым уширением из втрамбованного щебня стоимостью 3 250 912 руб. Они обладают высокой несущей способностью 130 т и обеспечивают экономию 45 %, по сравнению с классическими буронабивными, что делает их самым выгодным вариантом.

Сваи с поверхностными уширениями в виде клиньев имеют несущую способность 90 т, стоимость 1 931 340 руб. и дают экономию 34 %, по сравнению с призматическими, что также свидетельствует об их эффективности.

Буронабивные сваи с концевым уширением из втрамбованного щебня обладают той же несущей способностью 90 т, стоимостью 4 768 831 руб., но обеспечивают меньшую экономию – 20 % относительно классических буронабивных.

Сваи с множественными уширениями имеют несущую способность 125 т и стоимость 2 917 734 руб., но их экономическая эффективность составляет всего 1 %, что делает их менее выгодными в сравнении с другими видами свай.

Список литературы

1. Соколов Н. С. Экономическая эффективность использования буровых свай / Н. С. Соколов // Наука и инновации - современные концепции : сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 09 сентября 2022 года. – Москва : Инфинити, 2022. – С. 136–143. – EDN PGLVYO.
2. Забелина О. Б. Техничко-экономическое сравнение эффективности применения битумной рулонной, обмазочной двухкомпонентной и мембранной гидроизоляции фундаментов / О. Б. Забелина // Перспективы науки. – 2022. – № 3 (150). – С. 89–92. – EDN DVXDZX.
3. Амиров Э. Э. Оценка экономической эффективности технологии устройства монолитного фундамента с пустотообразователями / Э. Э. Амиров // Молодые исследователи – регионам : материалы Международной научной конференции: в 3 томах, Вологда, 23–24 апреля 2019 года. Том 1. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2019. – С. 225–226. – EDN MITAMV.
4. Актуальные проблемы проектирования фундаментов и оценка экономической эффективности фундаментов высотных зданий / О. Преснов, С. А. Короткова, Д. Т. Гуру и др. // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 2 (127). – С. 1103–1106. – DOI: 10.34925/EIP.2021.127.2.220. – EDN QIMHIC.
5. Пудова В. Г. Исследование напряженного состояния в грунтовой подушке под фундаментом многоэтажного здания и определение его экономической эффективности / В. Г. Пудова, М. В. Каменская // Матрица научного познания. – 2018. – № 1. – С. 5–11. – EDN YMFEYA.
6. Купчикова Н. В. О факторах, влияющих на надежность свайных фундаментов с уширениями / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 3 (37). – С. 54–61. – DOI: 10.52684/2312-3702-2021-37-3-54-61. – EDN VWZXNB.
7. Купчикова Н. В. Результаты численного анализа системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание» с помощью "MIDAS GTS NX" / Н. В. Купчикова, А. Н. Сычков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1(35). – С. 19–24. – EDN SZIVGB.
8. Местников, А. Е. Буронабивные малозаглубленные сваи для малоэтажного строительства в условиях Якутии / А. Е. Местников, Д. А. Григорьев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–3. – С. 491–495. – EDN VДАРQH.
9. Методика определения осадки одиночной сваи в термостабилизированном основании, сложенном оттаявшими многолетнемерзлыми грунтами / Е. А. Жайсамбаев, Т. В. Мальцева, А. Н. Краев, А. И. Сеницкий // Construction and Geotechnics. – 2024. – Т. 15, № 3. – С. 42–55. – DOI: 10.15593/2224-9826/2024.3.04. – EDN BUUIDC.
10. Набережный А. Д. Исследование несущей способности мерзлых грунтов основания ребристых буропусковых свай : дисс. ... канд. техн. наук / А. Д. Набережный. – 2018. – 149 с. – EDN BVUJXO.
11. Скворцов Д. С. Температурный расчет грунтового основания в геотехнических программных комплексах / Д. С. Скворцов, А. И. Сеницкий, Е. А. Жайсамбаев // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 3 (109). – С. 54–63. – DOI: 10.31660/2782-232X-2024-3-54-63. – EDN IZCSZE.
12. Современные технологии проектирования и строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах : сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 14–15 ноября 2018 года. – Москва : Международная Ассоциация Фундаментостроителей, 2018. – 63 с. – EDN YSKKTB.
13. Геотехнический мониторинг инфраструктуры железных дорог Дальнего Востока России в условиях деградации многолетнемерзлых грунтов / С. А. Кудрявцев, Т. Ю. Вальцева, К. Б. Ушеревич и др. // Фундаментальные поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы : научные труды РААСН : в 2 т. – Москва : АСВ, 2024. – С. 241–250. – EDN GUOZUL.
14. Кудрявцев С. А. Комплексная оценка оснований фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах Дальнего Востока / С. А. Кудрявцев, Т. Ю. Вальцева, В. Ю. Шемякин // Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий : материалы III Всероссийской конференции с международным участием, Пермь, 29–31 мая 2024 года. – Пермь : Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2024. – С. 82–89. – EDN FLVUCP.
15. Сахаров И. И. О расчетах свайных фундаментов в криолитозоне при использовании термостабилизаторов / И. И. Сахаров, С. А. Кудрявцев, В. Н. Парамонов // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 4. – С. 134–140. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-4-134-140. – EDN BGNWSR.
16. Новые подходы к проектированию и строительству железных и автомобильных дорог в криолитозоне / И. И. Сахаров, С. А. Кудрявцев, В. Н. Парамонов, Т. Ю. Вальцева // Транспортные сооружения. – 2024. – Т. 11, № 2. – DOI: 10.15862/03SATS224. – EDN DNITYN.



17. Кудрявцев С. А. Численное моделирование процессов оттаивания многолетнемерзлых грунтов инфраструктурных железнодорожных объектов Дальнего Востока / С. А. Кудрявцев, Т. Ю. Вальцева // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : тезисы докладов VIII Международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – Тамбов : ИП Чеснокова А. В., 2023. – С. 146–147. – EDN LPSMGK.

18. Алехин В. С. Экспериментальные исследования и численный анализ деформационно-прочностных характеристик буронабивных микросвай с уширенной пятой из щебня / В. С. Алехин, Н. В. Купчикова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 123–132. – DOI: 10.21822/2073-6185-2016-43-4-123-132. – EDN YTNLST.

19. Житомирский Б. Л. О влиянии теплового скольжения в общем переносе тепла и влаги при термическом воздействии на мерзлые грунты при строительстве площадных объектов нефтегазопроводов / Б. Л. Житомирский // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. – 2020. – № 4 (301). – С. 72–77. – DOI: 10.33285/2073-9028-2020-4(301)-72-77. – EDN NWAQGM.

20. Кудрявцев С. А. Расчетно-теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях промерзающих пучинистых грунтов : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / С. А. Кудрявцев. – Санкт-Петербург, 2004. – 40 с. – EDN NHXKYH.

© Н. В. Купчикова, П. Д. Никулина

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В., Никулина П. Д. Технико-экономическая эффективность устройства фундаментов из свай с одно- и многоместными уширениями для строительства в арктической зоне // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 61–66.

УДК 624.131.7

DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-66-73

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НДС ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ВИБРАЦИЙ
В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ ОТ ТРЕХ ИСТОЧНИКОВ**

Ю. В. Лазуткин, А. А. Еремеев

Лазуткин Юрий Викторович, аспирант, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ); заместитель директора по городскому наземному электрическому транспорту, Научно-исследовательский и проектный институт городского транспорта города Москвы «МосТранс-Проект», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

Еремеев Алексей Александрович, студент, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Для оценки уровней вибраций в грунтовом массиве использовался метод конечных элементов с применением программного комплекса для геотехнических расчетов и транспортной вибрации MIDAS GTS NX. Для расчета выбрана плоская схема, в соответствии с геометрией анализируемого участка и транспортной загруженности от трех видов транспорта (метро, трамвая и автотранспорта) по ул. Краснопрудная г. Москвы. Представлен сравнительный анализ результатов виброускорений, полученных экспериментально и в результате численного моделирования в четырех точках при частотах 8, 16 и 31,5 Гц.

Ключевые слова: транспортная вибрация, метро, трамвай, автотранспорт, геотехнический расчет, численное моделирование.

**THE RESULTS OF NUMERICAL MODELING AND ESTIMATION OF VIBRATION LEVELS
IN THE SOIL FROM THREE SOURCES**

Yu. V. Lazutkin, A. A. Yermeyev

Lazutkin Yuriy Viktorovich, postgraduate student, Russian University of Transport (RUT MIIT); Deputy Director for Urban Ground Electric Transport, Research and Design Institute of Urban Transport of Moscow "MosTrans-Project", Moscow, Russian Federation; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

Yermeyev Aleksey Aleksandrovich, student, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation

The finite element method was used to estimate vibration levels in the soil mass using the MIDAS GTS NX software package for geotechnical calculations and transport vibration. A flat scheme was chosen for the calculation, in accordance with the geometry of the analyzed section and traffic congestion from three types of transport (metro, tram and motor transport) along Krasnoprudnaya Street in Moscow. A comparative analysis of the vibration acceleration results obtained experimentally and as a result of numerical simulation at four points at frequencies of 8, 16 and 31.5 Hz is presented.

Keywords: transport vibration, metro, tram, motor transport, geotechnical calculation, numerical modeling.