

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/25SAVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ананьев С.А., Носков И.В., Носков К.И., Свидерских А.В. Анализ факторов влияющих на результаты полевых испытаний свай винтовых многолопастных в условиях морозного пучения грунтов // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/25SAVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Ananyev S.A., Noskov I.V., Noskov K.I., Sviderskikh A.V. (2021). Analysis of factors influencing results of field tests of helical multistrip piles in conditions of frosty soils. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/25SAVN321.pdf> (in Russian)

УДК 624.139.262

ГРНТИ 67.21.17

Ананьев Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Старший преподаватель «Технология и механизация строительства»
E-mail: ananda_hasita@mail.ru

Носков Игорь Владиславович

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: noskov.56@mail.ru

Носков Кирилл Игоревич

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Магистрант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
E-mail: nki88@yandex.ru

Свидерских Андрей Владимирович

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
ПАО «Московская объединённая энергетическая компания», Москва, Россия
Управление технологических присоединений Аппарата управления
Центр цифровизации и оптимизации бизнес-процессов технологического присоединения
Главный специалист
E-mail: sviderskikhav@gmail.com; gluk_cs@mail.ru

**Анализ факторов влияющих на результаты полевых
испытаний свай винтовых многолопастных в условиях
морозного пучения грунтов**

Аннотация. Приведены результаты исследований по изучению поведения свай винтовых многолопастных в условиях морозного пучения грунтов основания и анализ факторов влияющих на проведение полевых экспериментов, выполненных сотрудниками АлтГТУ им. И.И. Ползунова и специалистами ООО «ГеоПроектСтройАлтай». Проведенные исследования направлены на перспективы дальнейшего внедрения свай винтовых многолопастных в качестве фундаментов малонагруженных зданий и сооружений на территориях с распространением морозного пучения грунтов. Объектом исследования являлось изучение явления пучинистости грунта, влияния пучинистого грунтового основания,

сложенного супесями лессовидными, пластичными, сильнопучинистыми на деформации свай винтовых многолопастных при проведении полевых испытаний на экспериментальной площадке. Предметом исследования являлось изучение поведения исследуемых свай винтовых многолопастных при их использовании в пучинистых грунтах и анализ факторов влияющих на результаты натурных экспериментов. Сделан вывод о способности свай винтовых многолопастных эффективно противодействовать силам морозного пучения грунтов основания. Методика выполненных исследований заключалась в проведении полевых и лабораторных испытаний.

Практическое значение применения свай винтовых многолопастных велико, в связи с тем, что срок монтажа такого фундамента для всего здания составляет несколько дней и это дает им значительное преимущество по сравнению с традиционными разновидностями фундаментами.

Использование таких свай в дорожном строительстве и при возведении легких зданий и сооружений в гражданском и промышленном строительстве, может значительно сэкономить средства за счет уменьшения затрат на оплату труда и времени на возведение фундамента.

Ключевые слова: грунт; морозное пучение; фундамент; здание; эксперимент; поведение; свая винтовая многолопастная; силы морозного пучения; погрешность геодезических измерений; инженерно-геологические условия; оценка работы

Изучением влияния процессов морозного пучения на свайные фундаменты занимались как отечественные, так и зарубежные ученые [1–6].

Исследования, по изучению поведения свай винтовых многолопастных в условиях морозного пучения грунтов основания были проведены сотрудниками кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» (ОФИГиГ) АлтГТУ им. И.И. Ползунова и специалистами ООО «ГеоПроект-СтройАлтай» под научным руководством заведующего кафедрой ОФИГиГ, к.т.н., доцента, советника Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), генерального директора ООО «ГеоПроектСтройАлтай» Носкова И.В. [7–9].

Приняв во внимание тот факт, что значительную часть территории Алтайского края занимают грунты, подверженные морозному пучению, было решено подобрать площадку со сложными инженерно-геологическим условиями с наличием пучинистых грунтов. Также это необходимо для практического обоснования применения свай винтовых многолопастных в таких условиях.

Для этого в условиях сезонно промерзающих сильнопучинистых, пластичных, супесей и суглинков были испытаны 16 свай винтовых многолопастных, для определения воздействия на них сил морозного пучения. Натурные испытания свай винтовых многолопастных были проведены в несколько этапов.

Для возможности сопоставления и анализа полученных результатов, испытания проводились с двумя циклами замораживания и оттаивания грунтового основания. Наблюдение за деформациями пучения свай винтовых многолопастных были проведены в двух осенне-зимних и двух зимне-весенних периодах. По результатам натурных испытания превышения оголовков всех свай многолопастных относительно неподвижной точки (репера) находились в пределах от 4 до 15 мм.

Для выяснения причин таких превышений необходимо было провести комплексный анализ следующих факторов, влияющих на полученные результаты проведенных полевых испытаний:

1. Геодезические измерения и их погрешности;
2. Инженерно-геологических условий экспериментальной площадки и оценка пучинистых свойств грунтов основания;
3. Оценка поведения свай винтовых многолопастных при погружении в грунты основания.

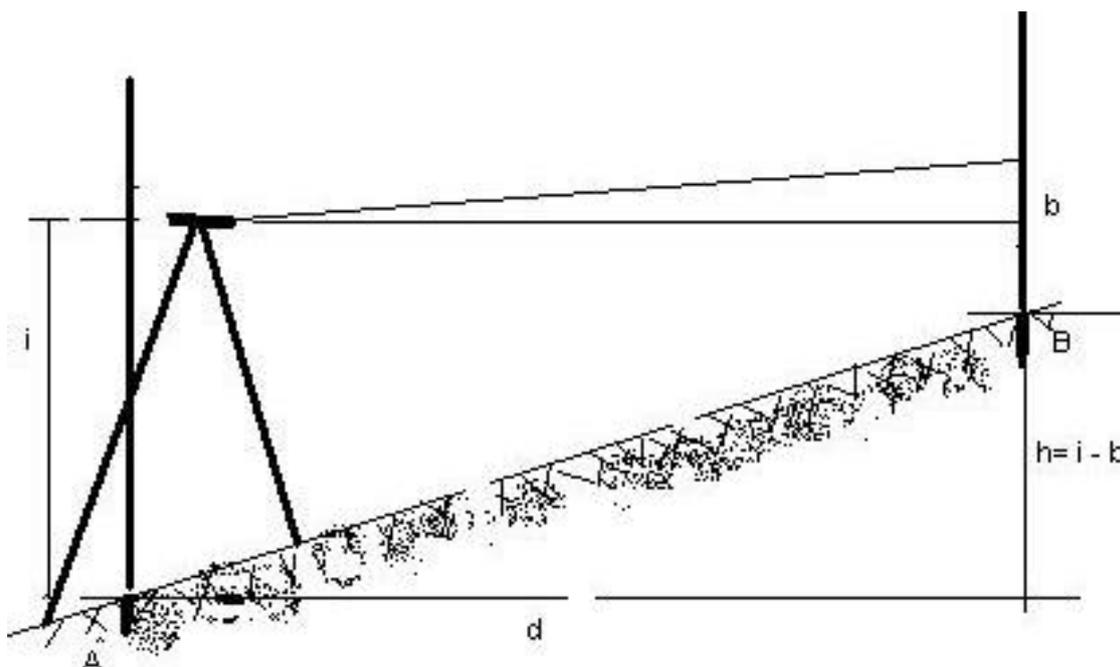
Геодезические измерения и их погрешности

Геодезические измерения всегда сопровождаются погрешностями, результат измерения всегда имеет объективные неточности. На погрешности измерений влияет множество факторов, которые необходимо учитывать при обработке результатов исследования.

Наиболее существенными из них являются следующие:

1. Правильность соблюдения измерительной технологии.
2. Технические характеристики точности прибора измерения.
3. Внешние факторы (погода, климат, время года и пр.).
4. Человеческий фактор (ошибки измеряющего).
5. Параметры объекта измерения и др.

В ходе измерения вертикальных деформаций была использована методика измерения превышений способом нивелирования «вперед» (рис. 1), с использованием нивелира фирмы South серии NL20 (рис. 2). Расстояние до измеряемого объекта составляло 10 м. Для определения погрешностей измерения, необходимо провести анализ данной методики измерения и связанные с ней погрешности.



i – высота прибора, b – высота точки B, h – превышение, d – расстояние между рейками

Рисунок 1. Схема изображения нивелирования «вперед» (составлено/разработано автором)



Рисунок 2. Нивелир South NL20 (составлено/разработано автором)

При измерении «вперед» существуют следующие погрешности:

1. Разбиение глазом сантиметрового деления на отдельные части.
2. Установка нивелира в горизонтальное положение.
3. Определение центра окуляра зрительной трубы.
4. Отвесность (вертикальность) рейки при измерении.
5. Точность нанесенных делений на рейку и пр.

Данные погрешности носят систематический и случайный характер. Согласно многочисленным исследованиям, человеческий глаз может разделять отрезок на десять равных долей.

Значит, погрешность измерения, связанная с разбиением глазом сантиметрового деления на отдельные части равна $m_i = 1$ мм. При приведении нивелира в горизонтальное положение производится операция по приведению пузырька круглого уровня в требуемое положение (нульпункт).

Во многом это зависит от человека, производящего данную операцию, однако существует формула для определения этой погрешности, определяемая по формуле:

$$m_o = 0,151''d/\rho'', \text{ мм} \quad (1)$$

Однако используемый нивелир оборудован компенсатором, что позволяет автоматически выравнивать оси зрительной трубы в рабочее положение без погрешностей.

Следовательно, данную погрешность можно исключить.

Погрешности с отчетом по рейке связаны не только с физиологическими особенностями человека, но и со следующими факторами:

1. Увеличение зрительной трубы.

Данная погрешность может быть выражена через разрешающую способность зрительной трубы нивелира по формуле:

$$m_{np} \cong \frac{60'' L}{\rho \Gamma^x}, \quad (2)$$

где Γ^x – увеличение зрительной трубы.

Тогда для условий измерений $\Gamma^x = 25x$. Погрешность незначительная из-за расположения нивелира от рейки, и ею можно пренебречь.

2. Расстояние от объекта измерения до нивелира.

Если в ходе установки прибора в рабочее положение главное условие нивелирования не выполнено, то визирный луч расположен не горизонтально, следовательно, существует угол i , который будет искажать действительные значения превышения.

Данная ошибка может быть определена по формуле:

$$u = i \frac{L}{\rho}, \quad (3)$$

В связи с установленным компенсатором на нивелире эта погрешность не значительна.

3. Прозрачность атмосферы.

Погрешность в данном случае не значительна, поскольку становится существенной на расстояниях между нивелиром и рейкой от 50 м.

4. Точность нанесения делений на рейке.

Нивелирные рейки имеют технические инструкции, в которых указана точность нанесения делений на рейке. Согласно технической инструкции, погрешность используемой рейки составляет 1 мм.

5. Погрешность установки рейки в отвесное положение.

Для определения данной погрешности необходимы исходные данные, такие как высота визирного луча (в измерениях превышений использовалась постоянная высота 1,2 м), предполагаемый угол отклонения от вертикального положения (в нашем случае 2 градуса) и отчет, полученный по рейке при таком положении (рис. 3), а также постоянная для перевода угла в радианы ($r = 57,3^0$).

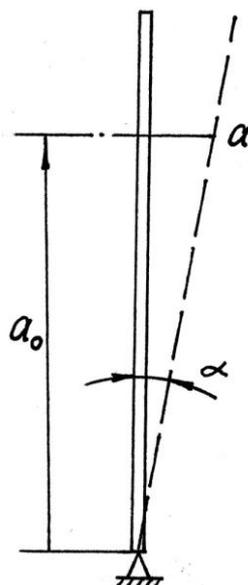
Тогда погрешность можно определить по формуле:

$$\Delta_{hH} = \sqrt{2} a_o \left(\sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{\rho^2}} - 1 \right), \quad (4)$$

Таким образом общая погрешность измерений превышений нивелиром будет составлять:

$$\Delta = \sqrt{(1 \text{ мм} + 1 \text{ мм})} = 1,41 \text{ мм}.$$

Значит, погрешность измерений превышения будет составлять примерно 1,5 мм для отдельного измерения. Следовательно, искомая величина будет находиться в пределах $\pm 0,75$ мм от измерения. С учетом того, что измерения проводятся в разные периоды времени, существует ещё погрешность отдельного измерения.



a_0 – фактическое превышение; α – угол отклонения рейки от вертикали; a – фактическое измерение нивелира по рейке

Рисунок 3. Схема изображения отклонения рейки от вертикали (составлено/разработано автором)

То есть прибор выставляется множество раз при разной наружной температуре на одну и ту же позицию (на репер) для снятия отчета по рейке (методическая погрешность). Примем ее равной 1 мм.

Тогда $\Delta_{kh} = 1$ мм

Тогда итоговая абсолютная погрешность измерений будет равна: $1,5$ мм + 1 мм = $2,5$ мм.

Амплитуда значения превышения по данным за период наблюдений с ноября 2010 г. по май 2013 г. по 16 испытанным сваям составляет:

в среднем: 5 мм;

максимальное: 15 мм;

минимальное: 2 мм.

Следовательно можно сделать вывод о том, что испытания, проведенные за период с ноября 2010 г. по май 2013 г., на сваях винтовых многолопастных находятся за пределами погрешности измерения. Следовательно, вертикальная деформация пучения по данным измерениям (с учетом погрешности) требует дополнительной оценки.

Предположим, что погрешности отсутствуют, и деформации соответствует измерениям, тогда вычислим относительную деформацию пучения:

$$\varepsilon = \Delta / l_{св} = 1,5 / 200 = 0,0075$$

Вертикальная деформация меньше 0,01, что находится в пределах, позволяющих сделать вывод, что пучение отсутствует, или незначительно.

Инженерно-геологических условий экспериментальной площадки и оценка пучинистых свойств грунтов основания

Согласно инженерно-геологическим изысканиям на экспериментальной площадке было выделено несколько элементов в пределах 10 м.

Для комплексной оценки результатов, полученных в ходе измерения превышений, необходимо проанализировать данные слои.

Анализ заключался в проверке условий морозного пучения.

Для этого необходимо было выполнить следующие этапы:

1. Анализ пучинистых свойств каждого инженерно-геологического элемента в соответствии с его характеристиками.

Инженерно-геологические элементы:

ИГЭ 1 – почвенно-растительный, насыпной слой;

ИГЭ 2 – песчаные грунты, пылеватые, средней плотности, маловлажные;

ИГЭ 3 – суглинистые грунты от мягкопластичных до текучих с прослойками песка и супеси;

ИГЭ 4 – супесчаные грунты пластичные с прослойками песка и суглинка;

ИГЭ 5 – песчаный грунт, средней плотности, водонасыщенный.

Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов на экспериментальной площадке составляет – 2,3 м. Грунтовые воды на период изысканий обнаружены на глубине 2,8–3,2 м.

Грунтовые воды находятся на расстоянии 0,5–0,9 м от границы нормативного промерзания грунтов, в элементе ИГЭ 4. Следовательно, в область морозного пучения попадают элементы ИГЭ 2, ИГЭ 3 и ИГЭ 4.

В соответствии с классификацией М.Ф. Киселева [10], при таком близком расположении грунтовых вод и мягкопластичной (до текучего состояния) консистенции элемент ИГЭ 3 будет относиться к сильнопучинистым грунтам. Элемент ИГЭ 2 будет относиться к среднепучинистым. Элемент ИГЭ 4 – к сильнопучинистым.

Эти данные были подтверждены при исследовании в лаборатории кафедры ОФИГиГ образцов на морозное пучение с 6-ю циклами замораживания-оттаивания [11; 12].

Следующим аргументом является природная влажность каждого ИГЭ. Она находится ниже предела текучести, и элементы не являются водонасыщенными ($S_r < 0,8$) поэтому при таких характеристиках возможно пучение данных ИГЭ, в которых установлена свая винтовая многолопастная.

2. Оценка возможности подтока влаги к фронту промерзания (грунтовые воды, подтопление территорий).

Грунтовые воды расположены близко к границе сезонного промерзания грунта, что способствует увеличению деформации от сил морозного пучения.

Исследуемая территория затапливается паводковыми водами р. Оби до абсолютной отметки 136,06 м. При высокой интенсивности выпадения осадков в комплексе с подтоплением и близким расположением грунтовых вод морозоопасность возрастает в долгосрочной перспективе. Ранее было отмечено, что уровень грунтовых вод со временем поднимается и может достигнуть серьёзных отметок.

Следовательно, за период наблюдения уровень грунтовых вод мог подняться. Однако, как видно из результатов испытаний, вертикальные деформации свай винтовых многолопастных незначительные, или отсутствуют (находятся в пределах погрешности измерений).

Значит, на деформации пучения свай винтовых многолопастных уровень грунтовых вод и наличие вероятности подтопления на экспериментальной площадке не повлияли.

3. Анализ плотности сложения грунтовых слоёв.

Анализ плотности сложения инженерно-геологических элементов экспериментальной площадки позволил оценить, в каких пределах находится плотность пучинистых слоев, и предположить, при какой плотности пучинистые свойства будут уменьшены или станут достаточно малы, чтобы вертикальные деформации были в допустимых пределах (непучинистый грунт). Проводя анализ инженерно-геологических условий площадки, можно сделать вывод о том, что инженерно-геологические элементы обладают достаточно высоким коэффициентом пористости (таблица 1). Чем выше коэффициент пористости, тем выше степень пучинистости грунта. При высокой пористости деформации должны гаситься за счет пустот, однако они заполнены влагой из-за близкого нахождения грунтовых вод и периодических подтоплений, что приводит к морозному пучению грунта. Однако сваи винтовые многолопастные не подверглись воздействию сил морозного пучения при данных благоприятных условиях для этого явления. Предположительно, грунт, находящийся вблизи свай, уплотнился, коэффициент пористости стал значительно меньше и, следовательно, условия для возникновения вертикальных деформаций пучения изменились в сторону уменьшения.

Таблица 1

Физические характеристики грунтового основания экспериментальной площадки

Классификация грунта по ГОСТ 25100-95	№ элемента	Плотность, кг/м ³			Коэффициент пористости, e ₀	Степень влажности, S _r
		Частиц грунта, ρ _s	Грунта природной влажности, ρ	Грунта в сухом состоянии, ρ _d		
Песок пылеватый средней плотности маловлажный	2	2680	1870	1748	0,53	0.35
Суглинок мягкопластичный до текучего	3	2700	1660	1443	0,87	0.47
Супесь пластичная	4	2710	1850	1541	0,76	0.71
Песок пылеватый средней плотности водонасыщенный	5	2680	1950	1598	0,67	0.88

Составлено/разработано автором

Оценка поведения свай винтовых многолопастных при погружении в грунты основания

Анализ результатов полевых (натурных) испытаний свай винтовых многолопастных позволил сделать предположение и вывод о том, что небольшая площадь соприкосновения боковой поверхности сваи с грунтом, в сочетании со спиралью, не позволяют свае перемещаться (выпучиваться) с грунтом, даже при глубоком его промерзании. Об этом свидетельствуют полученные деформации в результате проведенных испытаний, которые находятся в пределах погрешности измерений.

Полученные результаты позволяет выдвинуть гипотезу о работе свай винтовых многолопастных в пучинистом грунте:

- при погружении свай винтовых многолопастных в межвитковых промежутках грунт не разрыхляется, а наоборот – уплотняется спиралью, уменьшая пористость грунта;
- в процессе погружения (завинчивания) сваи происходит «отжатие» грунтовой воды из межлопастных промежутков и, во-первых, увеличивается несущая способность сваи, а, во-вторых, исключается возможность возникновения сил морозного пучения в зоне спиральной части сваи;
- на спиральную часть сваи винтовой многолопастной не действуют силы морозного пучения за счет снижения площади поверхности, участвующей в работе;
- грунт в междуплопадном промежутке не работает на пучение поскольку зажат между жесткими многовитковыми лопастями;
- кромка лопасти настолько тонкая, что силы морозного пучения в данных точках, на кромках лопастей, практически равны нулю и ими можно пренебречь;
- следовательно, в зоне спиральной части воздействие сил морозного пучения на сваю отсутствует или настолько незначительно, что им можно пренебречь [13].

Заключение

Проведенный анализ факторов, влияющих на результаты проведенных полевых испытаний свай винтовых многолопастных свидетельствует о существенных различиях в их работе, при воздействии сил морозного пучения в отличие от других разновидностей свай, забивных, набивных, буровых и т. д.

Проведенные исследования показали, что сваи винтовые многолопастные эффективно противостоят силам морозного пучения и могут успешно эксплуатироваться в зимних условиях при строительстве малоагруженных зданий и сооружений на пучинистых грунтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железков, Н.В. Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. – Санкт-Петербург: Прагма, 2004. – 125 с.
2. Шулятьев, О.А. Исследования взаимодействия пучинистого грунта со свайным фундаментом / Вестник НИЦ «Строительство». Геотехника и подземное пространство: Сб. статей. Вып.3(26) / под ред. А.И. Звездова – М.: АО «НИЦ «Строительство», 2020. Стр. 105–120.
3. Nabizadeh, Farhad. Field Study of Capacity Helical Piles in Sand and Silty Clay / F. Nabizadeh, A.J. Choobbasti. – New York: Springer Science+Business Media, 2016. – Pp. 3–17.
4. On staging in the loess formation of Siberia [Online] / Igor Noskov [and etc.] // Ambient Science. – New Delhi: National Cave Research and Protection Organization, 2019. – Vol. 06(2). – URL: [https://caves.res.in/journal/articles/Amb_Sci_06\(2\)_Ga01.pdf](https://caves.res.in/journal/articles/Amb_Sci_06(2)_Ga01.pdf).
5. Pewe T.L. Frost heaving of piles with an example from Fairbanks, Alaska / T.L. Pewe, R.A. Paige. – Washington: USA Government printing office, 1963. – Pp. 333–407.

6. Schannon W.L. Prediction of Prost Penetration // New England Water Works Association. – 1945. – №4. – Pp. 356–363.
7. Носков, И. В. Работа свай винтовых конусно-спиральных в условиях морозного пучения грунтов / И.В. Носков, А.В. Свицерских // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2019. № 1 (72). С. 67–75.
8. Носков, И.В. Работа свай винтовых конусно-спиральных (СВКС) в условиях морозного пучения грунтов / И.В. Носков, А.В. Свицерских // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2018. – № 2. – С. 157–161.
9. Носков, И.В. Работа свай винтовых конусно-спиральных (СВКС) при воздействии сил морозного пучения / И.В. Носков, А.В. Свицерских // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 25–26 апреля 2019 г. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2019. – С. 277–278.
10. Киселев, М.Ф. Предупреждение деформации грунтов от морозного пучения. – Ленинград: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 131 с.
11. Свицерских, А.В. Анализ изменения характеристик лессового грунта при оптимальной влажности в зависимости от плотности / А.В. Свицерских, Б.М. Черепанов // Молодежь-Барнаул: материалы XVI городской науч.-практ. конф. молодых ученых, 17–25 ноября 2014 г. – Барнаул, 2014. – С. 277–280.
12. Свицерских, А.В. Анализ изменения характеристик лессовых грунтов в зависимости от пористости [Электронный ресурс] / А.В. Свицерских, И.В. Носков // Вестник Евразийской науки. – Москва, 2019. – №2. – URL: <https://esj.today/PDF/76SAVN219.pdf>.
13. Свицерских А.В., Носков И.В. Схема работы свай винтовых конусно-спиральных в условиях сезоннопромерзающего грунтового основания // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/53SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Ananyev Sergei Anantolevich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
E-mail: ananda_hasita@mail.ru

Noskov Igor Vladislavovich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
E-mail: noskov.56@mail.ru

Noskov Kirill Igorevich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
E-mail: nki88@yandex.ru

Sviderskikh Andrey Vladimirovich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
PAO «Moskovskaya ob"edinennaya energeticheskaya kompaniya», Moscow, Russia
E-mail: sviderskikhav@gmail.com; gluk_cs@mail.ru

Analysis of factors influencing results of field tests of helical multistrip piles in conditions of frosty soils

Abstract. The results of research on the behavior of helical multi-bladed piles in conditions of frosty heaving of the base soils and analysis of factors influencing field experiments performed by employees of AltSTU named after I.I. Polzunova and specialists of LLC GeoProektroStroyAltai are given. The studies are aimed at the prospects of further introduction of helical multi-bladed piles as foundations of low-loaded buildings and structures in the territories with the spread of frost heaving of soils. The object of the study was to study the phenomenon of soil puffiness, the influence of a tufted soil base, folded loess-like sandy, ductile, highly prone on the deformations of helical multi-blade piles during field tests at the experimental site. The subject of the research was the study of the behavior of the investigated helical multibladed piles when used in heavy soils and the analysis of factors affecting the results of full-scale experiments. The conclusion is made about the ability of helical multibladed piles to effectively counteract the forces of frost heaving of the base soils. The method of the performed studies was to conduct field and laboratory tests. The practical importance of using helical multi-blade piles is great, due to the fact that the installation time of such a foundation for the entire building is several days and this gives them a significant advantage over traditional types of foundations. The use of such piles in road construction and in the construction of light buildings and structures in civil and industrial construction can significantly save money by reducing the cost of work and time for the construction of the foundation.

Keywords: soil; frost heaving; foundation; building; experiment; behavior; screw multistage pile; frost heaving forces; error of geodetic measurements; geotechnical conditions; assessment of work