УДК 624.154.001.4

© И. В. Носков, канд. техн. наук, доцент
© А. В. Свидерских, аспирант
(Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова)
E-mail: noskov.56@mail.ru, gluk_cs@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-67-75

© I. V. Noskov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© A. V. Sviderskih, post-graduate student
(Polzunov Altai State Technical University)
E-mail: noskov.56@mail.ru, gluk_cs@mail.ru

РАБОТА СВАЙ ВИНТОВЫХ КОНУСНО-СПИРАЛЬНЫХ В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

PERFORMANCE OF CONE-SPIRAL SCREW PILES IN SOIL FROST HEAVING CONDITIONS

Приводятся основные результаты проведенных полевых испытаний свай винтовых конусно-спиральных в условиях морозного пучения грунтового основания. Проведена комплексная оценка полученных экспериментальных результатов, которая позволяет сделать вывод о возможности применения данного вида свай в пучинистых грунтах.

Ключевые слова: морозное пучение, винтовая свая, погрешности, полевые испытания, превышение, грунт, вертикальная деформация.

The article presents the main results of field tests of cone-spiral screw piles in subgrade soil frost heaving conditions. There has been made a complex evaluation of the experimentally obtained results, which allows concluding that this type of pile can be used in heaving soils.

Keywords: frost heaving, screw pile, errors, field tests, exceedance, soil, vertical deformation.

Любое строительство начинается с идеи, которая формирует взгляд на предполагаемый объект проектирования. После выбора объекта проектирования идет выбор площадки строительства, которая имеет ряд своих характеристик, таких как расположение, размеры и ее структура. После прорабатываются все этапы строительства в теории и на практике. Все вышеперечисленное формирует список действий, направленных на воплощение идеи строительства в реальность.

Россия имеет продолжительную зиму, сложные инженерно-геологические условия (ИГУ) на значительной части территории. Колебания температур в комплексе со сложными ИГУ развивают ряд физико-механических процессов в грунтах, которые влияют на фундамент будущего здания или сооружения. Поэтому необходим такой фундамент, который будет соответствовать

современным нормам и стандартам передового строительства. Одним из таких является фундамент на сваях винтовых конусно-спиральных (СВКС) [1–3].

СВКС (рис. 1) представляют собой металлический конус с расположенными на нем витками. Наверху ствола находится наголовник для крепления с другими конструкциями здания или сооружения. Изготавливаются из литых либо сварных стальных деталей [1].

При появлении СВКС расширились возможности проектирования и устройства фундаментов. Основной отличительной особенностью СВКС является применение лопастей малых диаметров с большим количеством витков (см. рис. 1). Как следствие, погружение таких свай можно производить малыми крутящими моментами. Защита от коррозии свай обеспечивается методом горячего цинкования. Для неагрессив-

Рис. 1. Сваи винтовые конусно-спиральные (СВКС)

ных грунтовых условий используется не оцинкованный вариант данных свай. Устройство фундаментов происходит значительно быстрее по сравнению с другими видами фундаментов (за срок от 1 до 3 дней). Эти преимущества позволяют сэкономить значительную часть средств инвестора.

Несмотря на обширное развитие строительной отрасли по различным направлениям, сваи винтовые конусно-спиральные имеют малую изученность по сравнению с одновитковыми и двухвитковыми винтовыми сваями. В связи с этим сформировались основные аспекты проведения исследования СВКС.

Первым аспектом выбора исследования СВКС является то, что они становятся все более применимыми в строительной отрасли, и для большего их распространения необходимо твердое научное обоснование; вторым аспектом — то, что существует значительная распространенность специфических грунтов.

Например, основными типами грунтов в г. Барнауле на Приобском плато являются лёссы, а на террасах реки Барнаулки — пески мелкие. Лёссы представлены, в основном, суглинками легкими пылеватыми (число пластичности 8–12, содержание песчаных частиц 15–25 %) и супесями тяжелыми пылеватыми (число пластичности 3–7, содержание песчаных частиц 15–20 %). Реже встречаются супеси пылеватые (содержание песчаных частиц 20–25 %). Эти грунты в при-

родном состоянии (влажность около 0,10–0,15, консистенция, как правило, твердая) обычно не являются пучинистыми, но при замачивании приобретают пучинистые свойства. При большой влажности, близкой к водонасыщению, или в водонасыщенном состоянии суглинки легкие пылеватые и супеси тяжелые пылеватые по степени пучинистости становятся чрезмерно пучинистыми (V группа, относительное морозное пучение более 13 %), а супеси пылеватые — сильнопучинистыми (IV группа, относительное морозное пучение 7–12 %) [4].

При застройке территорий, сложенных лёсами, очень часто происходит их замачивание. Замачивание территории города Барнаула возникает: при длительных проливных дождях в период с сентября по октябрь; при нарушении целостности инженерных коммуникаций; при подтоплении территорий и пр. Пучение грунтов начинается с падением температур ниже нуля, при достаточно сильном замачивании грунта в начале ноября. Наибольшие вертикальные деформации проявляются в конце марта — начале апреля, когда грунт полностью промерзает (наибольшая глубина промерзания).

На кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ им. И. И. Ползунова в сотрудничестве с КГУ «Алтайавтодор» разработана карта-схема распространения грунтов на территории Алтайского края, проявляющих пучинистые свойства (рис. 2). В настоящее время карта составлена на основании аналитических расчетов при получении ряда грунтовых характеристик, что, в свою очередь, обуславливает ее относительную приближенность к точным значениям тех же характеристик.

Руководствуясь данной картой, можно сделать вывод о том, что в Алтайском крае распространенность грунтов по степени пучинистости составляет: непучинистые — около 28 %, слабопучинистые — около 22 %, среднепучинистые — около 37 %, сильнопучинистые — около 6 %, чрезмернопучинистые — около 7 %. Следовательно, 72 % грунтов подвержены морозному пучению. Пучинистые грунты присутствуют и в крупных центрах застройки, таких как Барнаул, Бийск, Рубцовск и Заринск, то есть при возведении зданий и сооружений в крупных городах

Рис. 2. Карта-схема распространения грунтов на территории Алтайского края

региона уйти от проблемы пучения грунтов невозможно.

Следовательно, чтобы избежать пучения грунтов и недопустимых деформаций фундаментов здания, необходимо проводить мероприятия по уменьшению или исключению воздействия пучения на фундаменты. К мероприятиям следует отнести применение фундамента, который может успешно эксплуатироваться в условиях морозного пучения грунтов, а также противостоять данным условиям. Поэтому необходимо было провести исследования СВКС для проверки их работы в условиях морозного пучения грунтовых оснований.

Третьим аспектом выбора программы испытания было то, что данный вид свай (СВКС) ранее не испытывался на морозное пучение на территории Российской Федерации. В настоящее время отечественными учеными проведено немало интересных и полезных экспериментальных исследований в области изучения винтовых свай. Данные эксперименты связаны с поведением винтовых свай в мерзлых грунтах [5], приме-

нением новых видов свай [6, 7], использованием различных наконечников для винтовых свай [8], исследованием влияния расстояния между лопастями [8], а также есть множество результатов применения винтовых свай в строительстве [9, 10] и др.

В зарубежной литературе также встречаются исследования винтовых свай, а именно изучение влияния количества витков на несущую способность свай в различных инженерно-геологических условиях [11], работа свай в условиях морозного пучения при различной конструкции свай [12]. Однако исследования СВКС китайскими коллегами были проведены на масштабных моделях, без использования оборудования для завинчивания данных свай. Они были искусственно засыпаны грунтом с последующим трамбованием. Это указывает на сложность сопоставления результатов с реальными условиями устройства и эксплуатации данного вида свай.

В связи с этим были проведены натурные испытания СВКС в условиях морозного пучения

грунтового основания для определения воздействия на них сил морозного пучения.

В соответствии с программой работ по определению влияния сил морозного пучения на работу СВКС в зимних условиях проведены испытания 16 свай FM 24 76×(3,5)×2000 фирмы ВАУ (вес одной сваи составляет 16,2 кг) на экспериментальной площадке с грунтовым основанием, сложенным супесями и суглинками лёссовидными пластичными сильнопучинистыми, в период с 2010 по 2013 годы.

Климат изучаемой территории резко континентальный, с холодной продолжительной зимой и коротким теплым летом. Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»¹ климатический район строи-

¹ СП 131.13330.2012. Строительная климатология. М.: Минрегион России, 2012. 371 с.

тельства — 1В. Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»² исследуемая площадка относится к IV снеговому району с весом снежного покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли 2,4 кПа (240 кгс/м²).

В ходе испытаний были определены климатические параметры исследуемой площадки (табл. 1), среднемесячные температуры наружного воздуха (табл. 2) и величина среднемесячного снежного покрова (табл. 3)³.

Винтовые сваи были погружены в пучинистые грунты в зону их промерзания (длина свай 2,0 м, нормативная глубина промерзания грун-

² СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. М.: Минрегион России, 2017. 120 с.

³ Гидрометцентр России: Барнаул, Алтайский край, Россия. URL: <https://meteoinfo.ru/forecasts5000/russia/altai-territory>.

Таблица 1

Климатические параметры исследуемой площадки

Сезон	Дата начала метеорологической зимы ($T_{\text{ср}} \leq 0^\circ\text{C}$ более 5 дней)	Дата окончания метеорологической зимы ($T_{\text{ср}} \geq 0^\circ\text{C}$ более 5 дней)	Общая продолжительность зимы, дней	Максимальная высота снежного покрова, см (дата)	Продолжительность снежного покрова, дней
2010/2011	19 ноября	5 апреля	138	46 (18 марта)	138
2011/2012	7 ноября	31 марта	146	29 (21 марта)	157
2012/2013	24 октября	7 апреля	166	74 (18 февраля)	163

Таблица 2

Среднемесячные температуры наружного воздуха, °C

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2010	-25,8	-23,1	-7,8	3,3	10,3	18	17,4	17,6	10,8	5,3	-0,9	-18,3
2011	-24,1	-14,1	-7,6	7,9	12,3	20,2	18,1	16,3	11,8	6,6	-8,4	-13,5
2012	-20,9	-21,3	-5,4	7,9	12,1	22,1	22,1	18,3	13,2	3,7	-6,2	-24,3
2013	-14,1	-14,1	-4,7	5,0	10,0	15,7	19,2	18,0	10,0	3,7	-0,7	-6,5

Таблица 3

Среднемесячная величина снежного покрова, см

Сезон	Месяц								
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
2010/2011	0	0	4	20	31	40	40	8	0
2011/2012	0	0	13	18	25	28	24	0	0
2012/2013	0	0	25	47	56	67	61	18	0

тов на экспериментальной площадке 2,3 м) до наступления отрицательных температур [3].

Погружение свай осуществлялось с помощью механизированного оборудования. Использовалось гидравлическое закручивающее устройство AICHI D-502 на базе грузового автомобиля.

После закручивания сваи были оставлены в грунте без нагрузки и в течение зимнего периода снимались показания деформаций свай от воздействия сил морозного пучения (рис. 3).

Площадка была расположена в жилом массиве «Чистые пруды» в с. Фирсово Первомайского района Алтайского края.

В геоморфологическом отношении участок работ находится в пределах поймы р. Оби. В геологическом строении площадки до глубины 10,0 м принимают участие: современные отложения (IV), представленные почвой мощностью до 0,45 м; современные аллювиальные отложения поймы реки Оби (а IV), представленные песками пылеватыми средней плотности, суглинками, супесями и песками пылеватыми средней плотности.

Пески пылеватые средней плотности мало-влажные имеют повсеместное распространение под почвой, их мощность составляет 0,75 м. Под песками залегают суглинки серые, синевато-серые от мягкопластичного до текучего состояния с прослойками песка и супеси, их мощность составляет 1,25 м. Под суглинками залегают супеси серые, синевато-серые, пластичные с про-

Рис. 3. Снятие вертикальных перемещений СВКС от воздействий сил морозного пучения

слойками песка и суглинка, их мощность составляет 2,20 м. Под супесями залегает песок пылеватый средней плотности синевато-серый водонасыщенный, его мощность составляет 5,80 м.

Грунтовые воды на период изысканий вскрыты на глубине 2,8–3,2 м. По относительной деформации пучения суглинки и супеси сильно-пучинистые при попадании в зону промерзания.

Полевые испытания СВКС были проведены в несколько этапов, не менее чем с двумя циклами замораживания и оттаивания. Погружение свай происходило в летний период 2010 года, когда были завершены периоды таяния снега и активной миграции вод. Были зафиксированы начальные отметки положения оголовка свай относительно выбранного неподвижного репера. Первый цикл наблюдений и снятие деформаций оголовка свай относительно неподвижного репера производились в период с октября 2010 г. по февраль 2011 г. Для снятия превышений в зимний период оголовки свай очищались от снега. По результатам проведенных измерений деформаций свай строились графики изменения положения оголовка свай во времени (рис. 4–6).

Из рис. 4–6 видно, что сваи находятся в исходном положении на протяжении всего первого цикла замораживания и оттаивания, что свидетельствует об отсутствии вертикальных перемещений.

На рис. 6 сверху показана линия перемещения заранее выбранной точки на грунтовом основании для определения фактической величины вертикальной деформации пучения грунтового основания.

По данным, полученным в ходе испытания СВКС, вертикальная деформация грунтового основания за первый цикл наблюдений составила 9,5 см, что подтверждает пучинистые свойства грунтов основания. Таким образом, относительная деформация пучения составила $9,5/230 = 0,041$, что характеризует среднюю степень пучинистости грунтового основания.

Превышения оголовков всех испытываемых свай относительно неподвижного репера находятся в пределах от –0,1 до 0,6 см. Для выяснения причин таких превышений был проведен комплексный анализ следующих факторов, влияющих на полученные результаты:

Рис. 4. Превышение оголовка сваи № 1 относительно репера за весь период наблюдений

Рис. 5. Превышение оголовка сваи № 2 относительно репера за весь период наблюдений

Рис. 6. Превышения куста свай I–III относительно репера за весь период наблюдений

1. Погрешностей геодезических измерений (инструментальной, методической). Была определена погрешность прибора и ошибка самого измеряющего (человеческий фактор).

2. Инженерно-геологических условий. Был проанализирован каждый инженерно-геологический элемент площадки испытаний. Проведена оценка пучинистых свойств, влияния нескольких циклов замораживания и оттаивания грунтового основания, изменения уровня грунтовых вод и возможности притока влаги за счет подтопления территории в периоды активного таяния снежных покровов и в периоды дождей. Проанализирована естественная плотность инженерно-геологических слоев грунтового основания.

3. Воздействия СВКС при ее погружении в грунт.

Расчет СВКС по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения грунтов из существующих и разработанных в настоящее время отечественных норм для винтовых свай можно выполнять в соответствии с СП 24.13330.2011⁴.

Устойчивость свайных фундаментов на действие касательных сил морозного пучения грунтов следует проверять по п. Ж.2 Приложения Ж СП 24.13330.2011 из условия

$$\tau_{\text{фн}} A_{\text{фн}} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_k} F_{\text{rf}},$$

где $\tau_{\text{фн}}$ — расчетная удельная касательная сила пучения, кПа, определяется, как правило, опытным путем. При отсутствии опытных данных допускается принимать значение $\tau_{\text{фн}}$ по таблице Ж.1 СП 24.13330.2011 в зависимости от глубины промерзания-оттаивания, вида и характеристик грунта (для проведенных испытаний $\tau_{\text{фн}} = 62,5$ кПа); $A_{\text{фн}}$ — площадь боковой поверхности смерзания сваи в пределах расчетной глубины сезонного промерзания-оттаивания грунта, м² ($0,0692 \cdot 3,1416 \cdot 2 = 0,435$ м²); F — расчетная нагрузка на сваю, кН, принимаемая с коэффициентом 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию нагрузок и воздействий, включая выдерживающие (ветровые, крановые и т. п.); F_{rf} — расчетное значение силы, удерживающей сваю от выпучивания вследствие трения ее боковой поверх-

ности о талый грунт, лежащий ниже расчетной глубины промерзания, кН; γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0; γ_k — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1.

Поскольку внешняя нагрузка на сваю отсутствует, то существует только нагрузка от собственного веса сваи, следовательно, $F = 0,161$ кН. Кроме того, свая находится полностью в зоне промерзания грунта, следовательно, $F_{\text{rf}} = 0$.

Первое слагаемое $\tau_{\text{фн}} A_{\text{фн}}$ в формуле равно $62,5 \times 0,435 = 27,188$ кН. При подстановке данного значения в формулу условие не выполняется, следовательно, свая будет выдавлена вверх. Однако результаты проведенных полевых испытаний свидетельствуют об обратном.

Значит, первое слагаемое в формуле меньше или равно F . Следовательно, при установке СВКС фактические касательные силы пучения в околосвайной зоне незначительны, о чем свидетельствуют полученные деформации в результате опыта, которые находятся в пределах погрешности измерений, и формула требует корректировки для расчета СВКС на действие сил морозного пучения.

Испытания, проведенные в лабораторных условиях, показывают, что при увеличении плотности грунта морозоопасность (морозное пучение) снижается, и грунт становится менее пучинистым. Так, например, для ИГЭ-3 плотность скелета грунта равна $1,66$ г/см³ и находится в пределах от 10 до 20 ударов, что соответствует наличию пучинистых свойств для суглинка. Тем не менее пучения не происходило, следовательно, околосвайный грунт уплотнился до более высокого диапазона, при котором пучинистые свойства уменьшаются и грунт становится непучинистым [4].

Итогом всестороннего анализа полученных результатов натурных испытаний СВКС в условиях морозного пучения грунта стали следующие выводы:

1. Полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях в работе СВКС при воздействии сил морозного пучения в отличие от забивных, набивных и одновитковых винтовых свай.

2. В период проведения натурных испытаний деформаций (подъема) СВКС от действия

⁴ СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 90 с.

сил морозного пучения грунтов практически не наблюдалось. Разница между начальными измерениями (при минимальных отрицательных температурах) и последующими измерениями деформаций (при максимальных отрицательных температурах) находится в пределах ошибки измерений.

3. Небольшая площадь соприкосновения СВКС с грунтом в сочетании со спиралью не позволяет свае перемещаться с грунтом даже при глубоком его промерзании. Причиной этого на наш взгляд является то, что при погружении (завинчивании) СВКС в межвитковых промежутках грунт не разрыхляется, а наоборот — уплотняется спиралью, при этом пористость околосвайного грунта уменьшается. Одновременно с этим происходит отжатие грунтовой воды и увеличивается сопротивление сваи воздействию выталкивающих сил морозного пучения, что показали полученные экспериментальные результаты.

4. СВКС эффективно противостоят силам морозного пучения и могут успешно эксплуатироваться в зимних условиях при строительстве шумозащитных экранов, малонагруженных зданий и сооружений на пучинистых грунтах.

Библиографический список

1. Свидерских А. В., Носков И. В. Многолопастные винтовые сваи в качестве фундаментов зданий и сооружений в современном строительстве // Наука и молодежь-2017: 14-я Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Секция «Строительство». Барнаул: Алт. гос. техн. ун-т, 2017. С. 67–69.
2. Носков И. В., Цысь Д. И., Криворотов А. П. Исследование работы многолопастных винтовых свай «BAU» в условиях морозного пучения грунтов // Ползуновский вестник. 2012. № 1. С. 131–137.
3. Носков И. В., Цысь Д. И., Крайванов А. В., Цысь И. Н. Исследование работы винтовых свай «Криннер» в условиях морозного пучения грунтов // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 131–136.
4. Свидерских А. В. Исследование различных типов грунта на морозное пучение при оптимальной влажности и его анализ // Педагогический университетский вестник Алтай. 2014. № 2, ч. 1. По материалам XV городской науч.-практ. конф. молодых ученых «Молодежь — Барнаулу», 11–20 ноября 2013 г.
5. Аксёнов В. И., Геворкян С. Г., Иоспа А. В., Кривов Д. Н., Шмелёв И. В. Работа винтовых свай в мерз-

лых грунтах // Пространство и время. 2016. Т. 11, вып. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/rabota-vintovykh-svay-v-morozlykh-gruntah>

6. Акопян В. Ф. Моделирование совместной работы винтовых свай с нелинейно-деформируемым грунтовым основанием: дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 2012. 154 с.

7. Панасюк Л. Н., Семенов А. И., Акопян В. Ф., Акопян А. Ф. Монолитная и сборно-монолитная разновидности винтовой сваи АКЦИС // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4 (ч. 2). URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1241>

8. Полищук А. И., Максимов Ф. А. Обоснование конструктивного решения винтовых свай для фундаментов быстровозводимых временных зданий // Вестник Пермского нац. исслед. политех. ин-та. Строительство и архитектура. 2015. № 4. С. 62–75.

9. Железков Н. В. Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. СПб.: Прагма, 2004. 125 с.

10. Пономаренко Ю. Е., Лобанов С. В., Баранов Н. Б. Опыт применения винтовых свай при строительстве моста в Омской области // Вестник Сибирской гос. автомобильно-дорожной академии. 2012. № 1. С. 50–52.

11. Nabizadeh F., Choobbasti A. J. Field Study of Capacity Helical Piles in Sand and Silty Clay // Transportation Infrastructure Geotechnology. 2017. Vol. 4, Issue 1. Pp. 3–17.

12. Teng-fei Wang, Jian-kun Liu, Hua-gang Zhao, Ya-long Shang, Xiao-qiang Liu. Experimental study on the anti-jacking-up performance of a screw pile for photovoltaic stents in a seasonal frozen region // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). 2016. Vol. 17, Issue 7. Pp. 512–524.

References

1. Sviderskikh A. V., Noskov I. V. *Mnogolopastnye vintovye svai v kachestve fundamentov zdaniy i sooruzheniy v sovremennom stroitel'stve* [Multi-layered screw piles used as foundations of buildings and structures in modern construction]. *Trudy 14-oy Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauka i molodezh'-2017». Sektsiya «Stroitel'stvo»* [Proc. of the 14th All-Russian sci.-tech. conf. of students, postgraduates and young scientists "Science and youth – 2017". Section "Construction"]. Barnaul, AltSTU Publ., 2017, pp. 67–69.
2. Noskov I. V., Tsys' D. I., Krivorotov A. P. *Issledovanie raboty mnogolopastnykh vintovykh svay «BAU» v usloviyakh moroznogo pucheniya gruntov* [Study of the "BAU" multi-layered screw piles performance in conditions of soil frost heaving]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunov Bulletin*, 2012, no. 1, pp. 131–137.

3. Noskov I. V., Tsys' D. I., Krayvanov A. V., Tsys' I. N. *Issledovanie raboty vintovykh svay «Krinner» v usloviyakh moroznogo pucheniya gruntov* [Study of the Krinner screw piles in conditions of soil frost heaving]. *Polzunovskiy vestnik – Polzunov Bulletin*, 2011, no. 1, pp. 131–136.
4. Sviderskikh A. V. *Issledovanie razlichnykh tipov grunta na moroznoe puchenie pri optimal'noy vlazhnosti i ego analiz* [Research of various types of soil in frost heave at optimum moisture content and its analysis]. *Trudy XV gorodskoy nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh «Molodezh' – Barnaulu», 11–20 noyabrya 2013 g.* [Proc. of the XV sci.-pract. conf. of young scientists "Youth-Barnaul", November 11–20, 2013]. *Pedagogicheskiy universitetskiy vestnik Altaya – Pedagogical University Bulletin of the Altai*, 2014, no. 2, pt. 1.
5. V. I. Aksyonov, et al. *Rabota vintovykh svay v merzlykh gruntakh* [Screw piles performance in frozen soils]. *Prostranstvo i vremya – Space and time*, 2016, vol. 11, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/rabota-vintovykh-svay-v-moroznykh-gruntakh>
6. Akopyan V. F. *Modelirovanie sovmestnoy raboty vintovykh svay s nelineynno-deformiruemym gruntovym osnovaniem. Diss. kand. tekhn. nauk* [Modeling of joint work of screw piles with non-linearly deformable ground base. PhD in Sci. Tech. diss.]. Rostov-on-Don, 2012, 154 p.
7. Panasyuk L. N., Semenenko A. I., Akopyan V. F., Akopyan A. F. *Monolitnaya i sborno-monolitnaya raznovidnosti vintovoy svai AKSIS* [Monolithic and precast-monolithic varieties of AXIS screw piles]. *Inzhenernyy vestnik Dona – Engineering Bulletin of the Don*, 2012, no. 2. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1241>
8. Polishchuk A. I., Maksimov F. A. *Obosnovanie konstruktivnogo resheniya vintovykh svay dlya fundamentov bystrovozvodimyykh vremennykh zdaniy* [Justification of the design solution of screw piles for the foundations of prefabricated temporary buildings]. Perm, PNIPU Publ., 2015, no. 4, pp. 62–75.
9. Zhelezkov N. V. *Vintovye svai v ehnergeticheskikh i drugikh otraslyakh stroitel'stva* [Screw piles in energy and other construction industries]. St. Petersburg, Pragma Publ., 2004, 125 p.
10. Ponomarenko Yu. E., Lobanov S. V., Baranov N. B. *Opyt primeneniya vintovykh svay pri stroitel'stve mosta v Omskoy oblasti* [Experience in the using screw piles in the bridge construction in the Omsk region]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii – Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy*, 2012, no. 1, pp. 50–52.
11. Nabizadeh Farhad, Asskar Janalizadeh Choobasti. *Field study of capacity helical piles in sand and silty clay*. New York, Springer Science; Business Media, 2016.
12. Teng-fei Wang, Jian-kun Liu, Hua-gang Zhao, Ya-long Shang, Xiao-qiang Liu. Experimental study on the anti-jacking-up performance of a screw pile for photovoltaic stents in a seasonal frozen region. *Journal of Zhejiang University–SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, Zhejiang: Zhejiang University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016, vol. 17, iss. 7, Pp. 512–524.