

MPHTI 67.11.29

Н.В. Купчикова¹ – основной автор, | ©
В.А. Перепечин²



¹Канд. техн. наук, доцент, ²Бакалавр

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-2986-4190> ²<https://orcid.org/0009-0004-5643-7081>



^{1,2}Российский университет транспорта,



г. Москва, Российская Федерация



¹kupchikova79@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/TJTF1318>

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАЙ С МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье изложены результаты выполненных экспериментальных работ по численному анализу свай с многоместными уширениями, полученных моделированием их работы в среде MIDAS GTS NX. Выполнена сравнительная оценка результатов полевых испытаний и модельных изополей деформаций грунта. Анализ полученных данных демонстрируют достаточную тождественность результатов экспериментов. Установлено, что сваи с многоместными уширениями обладают значительной эффективностью по сопротивлению вертикальным нагрузкам по сравнению с готовыми призматическими сваями.

Ключевые слова: сваи с многоместными уширениями, призматическая свая, грунт, модельные испытания, численное моделирование, вертикальное нагружение, осадка, изополя деформаций.



Купчикова, Н.В. Исследование свай с многоместными уширениями методом численного моделирования [Текст] / Н.В. Купчикова, В.А. Перепечин // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №2(88). – С.369-377.
<https://doi.org/10.55956/TJTF1318>

Введение. При проектировании и строительстве свайно-плитных фундаментов, наряду с традиционными призматическими сваями, широкое применение получили сваи с необычной продольной формой ствола, которые имеют в своей толще уширения. К ним относят сваи с многоместными или несколькими уширениями, которые могут изготавливаться готового или набивного типа.

В работе Н.В. Купчиковой [1] выявлено, что принцип работы свай с несколькими уширениями в грунтовом массиве состоит вначале во включении в работу боковой поверхности свай до первого уширения, далее несущую способность самого первого уширения, затем – боковая поверхность над следующим уширением и так далее, вплоть до последнего концевого уширения.

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования свай с совместными концевыми и поверхностным уширениями позволили представить физическую модель взаимодействия тела сваи с уширениями и

грунтовым пространством при вертикальном нагружении за счет реактивного давления нижней полусферы концевое уширение, сил сцепления и трения по боковой поверхности прямолинейного участка сваи и граней клиньев (рис. 1) [2].

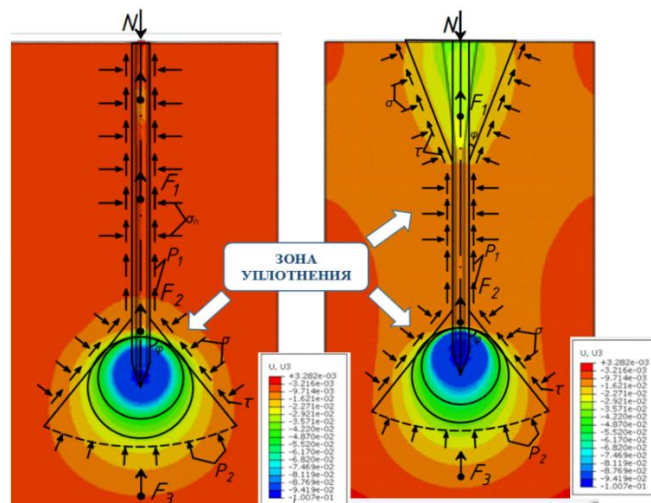


Рис. 1. Расчётная схема реактивных напряжений по площадкам предельного равновесия для свай концевым сферическим уширением и совместным поверхностным в виде сборных клиньев и концевым типами уширений с наложением изополей с зонами уплотнения

На современном этапе требуется разработка комплексной методологии расчета свайных фундаментов с несколькими уширениями на стволе сваи. Результаты исследований таких свай в различных грунтовых условиях свидетельствуют об их значительной эффективности по сравнению с призматическими сваями [2-4,8-11]. Целью исследования в данной работе явилось сравнение полученных результатов экспериментальных данных с результатами численного моделирования с помощью современного программного комплекса для решения геотехнических задач MIDAS GTS NX, верифицированного в Российской академии архитектуры и строительных наук.

Условия и методы исследований. Экспериментальные исследования проводились авторами И.И. Бекбасаровым и Е.И. Атеновым [5-7] на моделях свай, выполненных из железобетона, с количеством уширений от одного до четырёх (рис. 2). С целью сопоставления результатов исследований в экспериментах использованы три контрольные модели свай: из них две – призматических форм, имеющие размеры в сечении соответственно 20×20 мм и 30×30 мм, и одна – пирамидальной формы, имеющая размеры в верхнем сечении 30×30 мм, в нижнем – 20×20 мм. Модель сваи пирамидальной формы имело отклонение боковых граней к продольной оси $i_p = 0,01$.

Испытания моделей свай проведены в опытном котловане, заполненном легким песчанистым суглинком. Укладка однородного грунта в котлован производилась его засыпкой и равномерным разравниванием. Забивка и испытание моделей свай статическими нагрузками проводились с помощью многоцелевого приспособления. Забивка свай в грунт производилось копром ударного типа. Ударник массой 0,7 кг сбрасывался с постоянной высоты, равной 100 см, что обеспечивало одинаковую энергию

удара. В процессе забивки свайных элементов производился подсчет количества ударов и глубины их погружения. Модели свай заглублялись до 44,1-44,7 см (различие не превысило 1,40%).

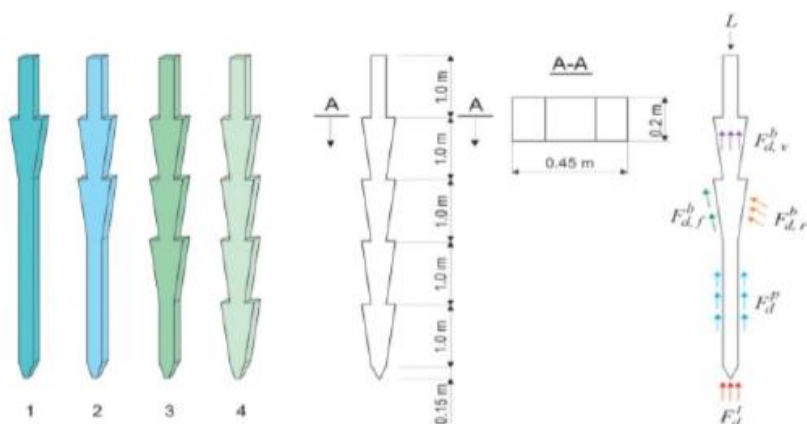
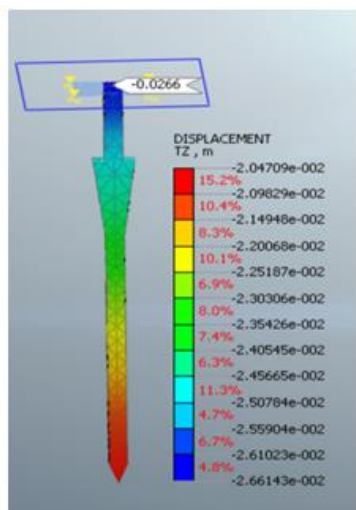


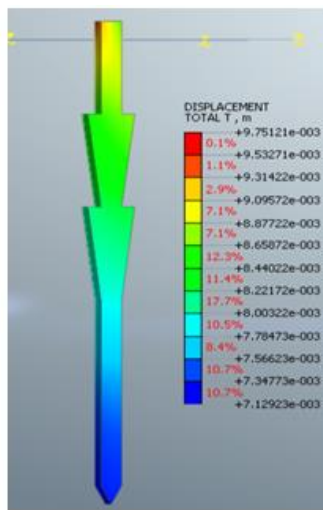
Рис. 2. Конструктивные решения готовых свай с несколькими уширениями на стволе (иллюстрация авторов И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенев)

Настройка расчёта. Одним из вариантов создания модели свай, работающей по нелинейной схеме «нагрузка - осадка», в расчетной программе является методика устройства, основанная на статических испытаниях одиночной сваи. Данный способ может применяться в Midas GTS NX. Исходными данными для моделирования поведения свай под нагрузкой были приняты результаты сравнений статических испытаний одиночной железобетонной призматической сваи и свай с многоместными уширениями.

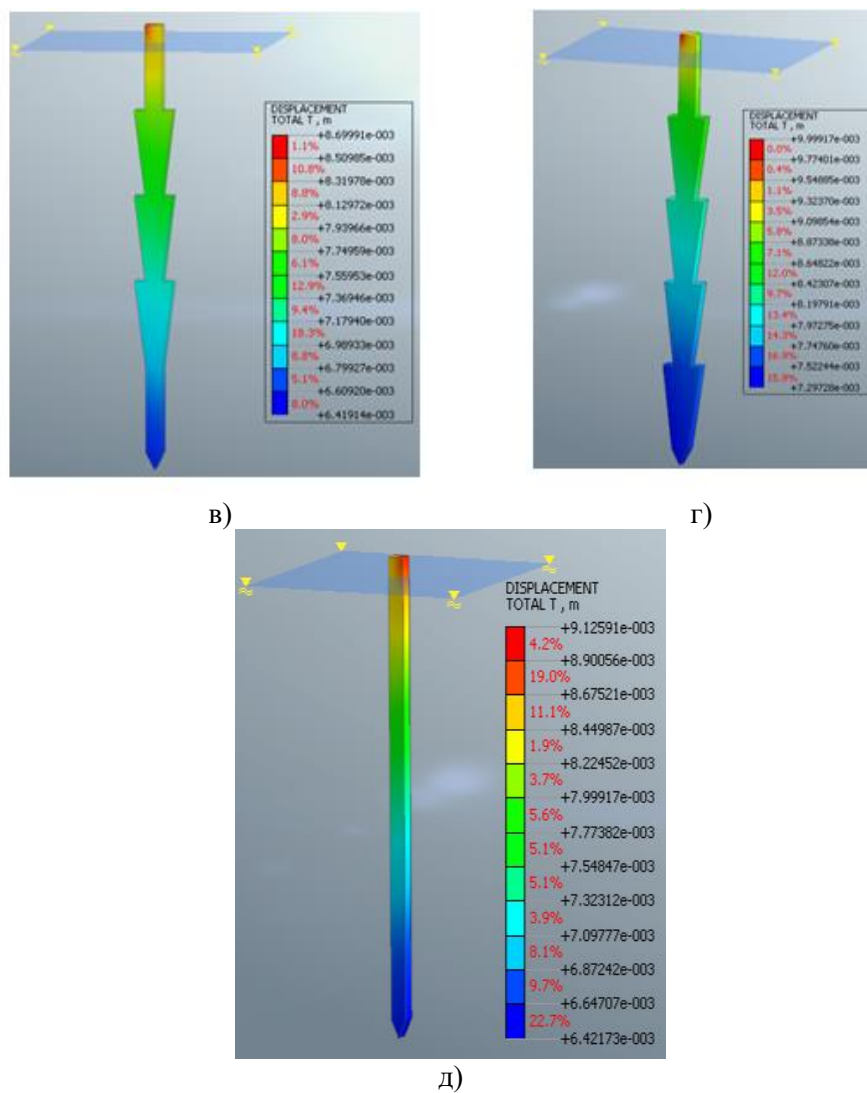
Изополю перемещений одиночных железобетонной призматической сваи и свай с разным количеством многоместных уширений на стволе представлены на рисунке 3.



а)



б)



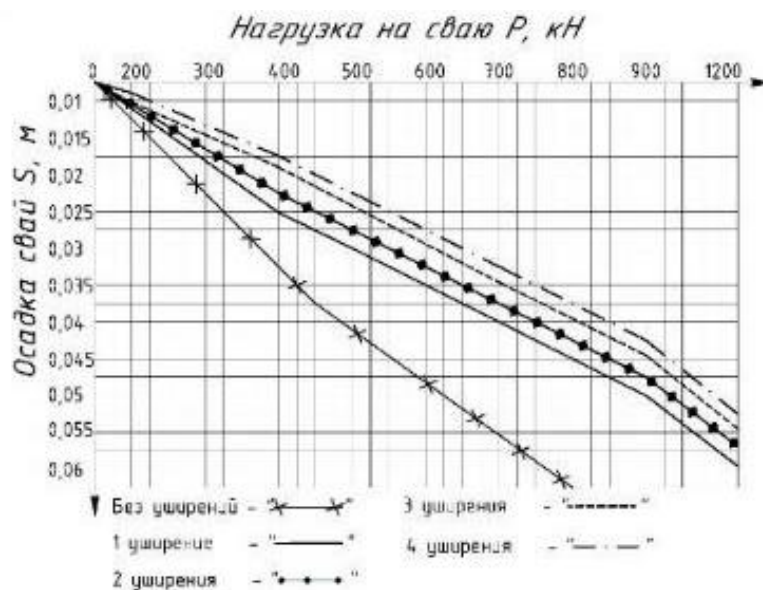


Рис. 4. График зависимости осадки свай от вертикального нагружения

Таблица 1

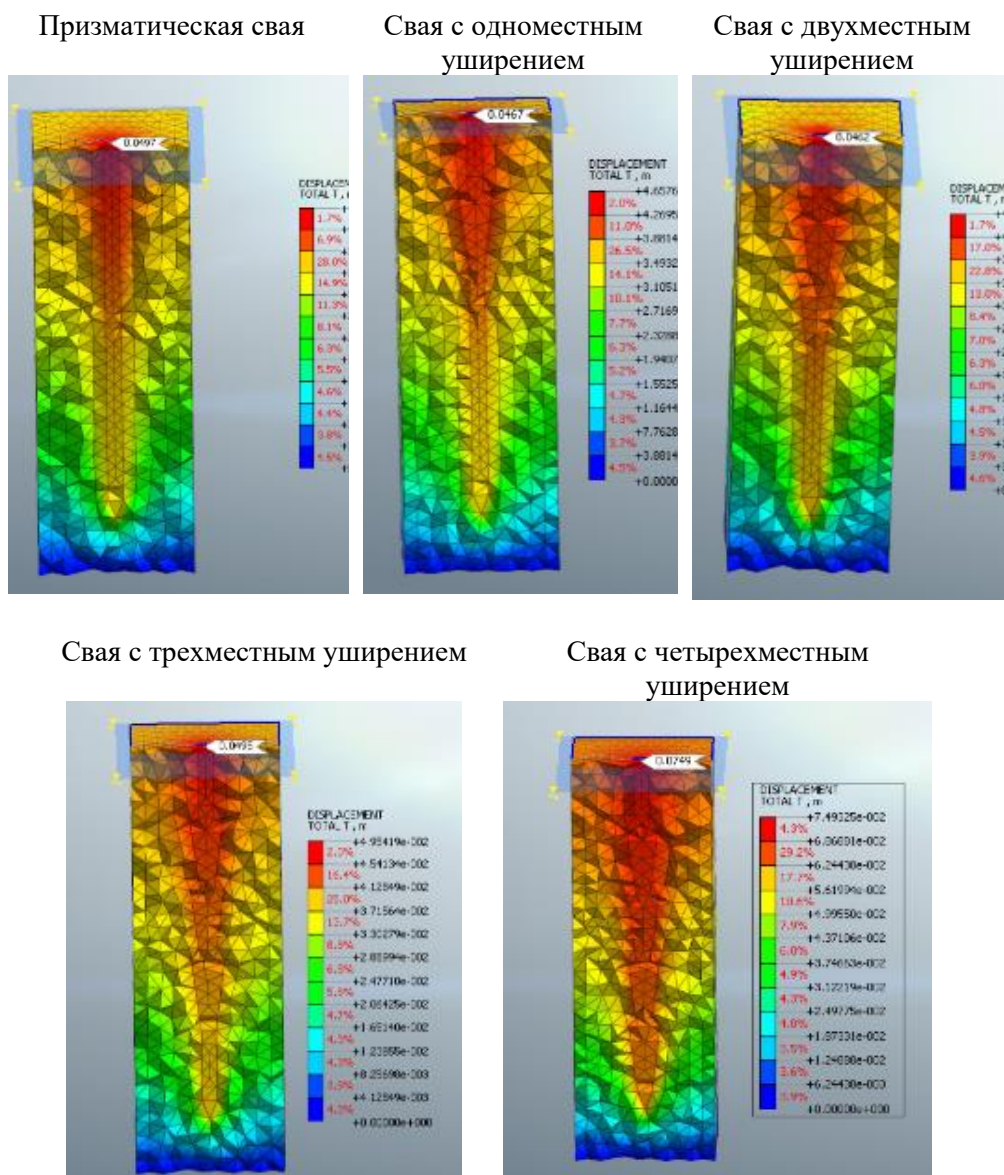
Результаты перемещений свай, полученные из программного комплекса MIDAS GTS NX

Вид свай	Нагрузка, кН/м					
	200	400	500	700	900	1200
1 уширение	0,013	0,0216	0,0275	0,0376	0,0476	0,0635
2 уширения	0,0101	0,0204	0,0256	0,0359	0,0462	0,0616
3 уширения	0,016	0,0256	0,0304	0,04	0,0495	0,0639
4 уширения	0,0272	0,0367	0,0414	0,0608	0,0749	0,0891
Призматическая	0,0141	0,0242	0,0263	0,03	0,0497	0,066

В качестве модели грунта использована модель «Мора-Кулона». Для учета упруго-пластичной работы основания фундамента и свай с функцией «Эластик» это позволяет рассчитывать линейно-упругое основание. Генерация размеров конечных элементов для песка средней крупности – 30, суглинка – 30, для плиты – 1 для свай и уширений – 5. Назначение нагрузок на модель:

- собственный вес;
- ограничение перемещений;
- нагружение фундаментной плиты 500 кН/м².

На рисунке 5 представлены результаты осадки свай при нагрузке 900 кН/м², полученные с помощью MIDAS GTS NX.

Рис. 5. Результаты осадки свай при нагрузке 900 кН/м^2

Закключение. В результате выполненного численного моделирования работы призматической сваи и свай с уширениями в грунте при вертикальных нагружениях получены изополя напряжений и деформаций. Сравнительная оценка результатов испытаний и численного анализа деформаций показали их хорошую сходимость. На основе полученных опытных данных можно заключить об эффективности работы свай с многоступенчатыми уширениями по сравнению с готовыми призматическими сваями.

Список литературы

1. Купчикова, Н.В. Свайные фундаменты с несколькими уширениями для слабых и структурно неустойчивых оснований. Часть 1 [Текст] / Н.В. Купчикова //

- Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4(46). – С. 81-86. DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-81-86.
2. Купчикова, Н.В. Деформационный расчет свай, усиленных цементацией грунта под ее нижним концом при вертикальном и горизонтальном нагружении [Текст] / Н.В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 4(36). – С. 29-33.
 3. Соколов, Н.С. Применение свай ЭРТ для ликвидации предаварийной ситуации при строительстве фундамента [Текст] / Н.С. Соколов, Н.С. Никифорова, С.Н. Соколов, А.Н. Соколов // Геотехника. – 2016. – № 5. – С. 54-61
 4. Соколов, Н.С. Техническая целесообразность и экономическая эффективность устройства свай ЭРТ [Текст] / Н.С. Соколов // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 110-16. – С. 110-114.
 5. Бекбасаров, И.И. О результатах испытаний плоских моделей свай с несколькими уширениями ствола в лабораторных условиях [Текст] / И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенев, Ж. Кулболдиев // Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий: материалы II Всероссийской конференции с международным участием, Пермь, 26–28 мая 2021 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2021. – С.57-74.
 6. Бекбасаров, И.И. Об экспериментальном оборудовании для забивки и испытаний крупномасштабных моделей свай в полевых условиях [Текст] / И.И. Бекбасаров, М.Н. Байтемиров, Е.И. Атенев, Н.А. Шаншабаев // Механика и технологии. – 2019. – № 4(66). – С. 134-141.
 7. Бекбасаров, И.И. Ударная погружаемость свай с уширениями ствола и их сопротивляемость вдавливающей нагрузке [Текст] / И.И. Бекбасаров, М.И. Никитенко, Е.И. Атенев // Новости науки Казахстана. – 2020. – № 2(144). – С. 124-134.
 8. Патент №2732758 С1 Российская Федерация, МПК E02D 5/44. Буроинъекционная свая с контролируемым уширением [Текст]: № 2020110915: заявл. 16.03.2020 : опубл. 22.09.2020 / М. А. Самохвалов, А. А. Паронко; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственная компания "Геотехника 72".
 9. Патент на полезную модель № 210396 U1 Российская Федерация, МПК E02D 5/48. Свая в структурно-неустойчивых грунтах [Текст]: № 2021120221: заявл. 08.07.2021 : опубл. 14.04.2022 / Н. Ф. Буланкин.
 10. Пронозин, Я.А. Результаты лабораторных и полевых исследований изготовления буроинъекционной сваи с контролируемым уширением [Текст] / Я.А. Пронозин, М.А. Самохвалов, Д.В. Рачков // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 56-60.
 11. Петухов, А.А. Совершенствование способа устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах для условий реконструкции зданий [Текст]: дисс... канд. техн. наук, специальность 05.23.02 "Основания и фундаменты, подземные сооружения" / Петухов А.А. – Томск, 2006. – 192 с.

Материал поступил в редакцию 03.06.25, принят 27.06.25.

Н.В. Купчикова¹, В.А. Перепечин¹

¹Ресей көлік университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы

САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІМЕН КӨП КЕҢЕЙТІМДЕРІ БАР ҚАДАЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада Midas GTS NX бағдарламасының көмегімен модельдеу арқылы алынған көп кеңейтімдері бар қадаларды сандық талдау бойынша орындалған эксперименттік жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Далалық сынақтардың нәтижелерін және бағдарламадағы топырақ деформациясының

модельдік изополяларын салыстырмалы бағалау жүргізілді. Алынған деректерді талдау нәтижесінде эксперимент деректерінің сәйкестігі дәлелденді. Көп кеңейтімдері бар қадалар дайын призмалық қадалармен салыстырғанда тік жүктемелерге қарсы айтарлықтай төзімділікке ие екендігі анықталды.

Тірек сөздер: көп кеңейтімдері бар қадалар, призмалық қадалар, топырақ, модельдік сынақтар, сандық модельдеу, тік жүктеме, шөгу, деформация изополясы.

N.V. Kupchikova¹, V.A. Perepechin¹

¹Russian University of Transport, Moscow, Russia

INVESTIGATION OF PILES WITH MULTI-EXTENSIONS BY NUMERICAL SIMULATION

Abstract. The article presents the results of experimental study performed on the numerical analysis of piles with multi-extensions obtained by modeling their operation in the MIDAS GTS NX environment. A comparative assessment of the results of field tests and model isofields of soil deformations has been performed. The analysis of the obtained data demonstrates a sufficient identity of the experimental results. It has been established that piles with multi-extensions have significant efficiency in resisting vertical loads compared to ready-made prismatic piles.

Keywords: piles with multi-extensions, prismatic pile, soil, model tests, numerical modeling, vertical loading, sediment, deformation isofields.

References

1. Kupchikova N.V. Svaynyye fundamenty s neskol'kimi ushireniyami dlya slabyykh i strukturno neustoychivyykh osnovaniy. Chast' 1 [Pile foundations with several widenings for weak and structurally unstable foundations. Part 1] // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya [Engineering and construction bulletin of the Caspian region]. - 2023. - No. 4 (46). - P. 81-86. DOI 10.52684 / 2312-3702-2023-45-3-81-86.
2. Kupchikova N.V. Deformatsionnyy raschet svay, usilennykh tsementatsiyey grunta pod yeye nizhnim kontsom pri vertikal'nom i gorizontal'nom zagruzhenii [Deformation calculation of piles reinforced by soil cementation under their lower end under vertical and horizontal loading] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. - 2011. - No. 4 (36). - P. 29-33.
3. Sokolov N.S., Nikiforova N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Primeneniye svay ERT dlya likvidatsii predavariynoy situatsii pri stroitel'stve fundamenta [Application of ERT piles to eliminate pre-emergency situations during foundation construction] // Geotekhnika [Geotechnics]. - 2016. - No. 5. - P. 54-61.
4. Sokolov N.S. Tekhnicheskaya tselesoobraznost' i ekonomicheskaya effektivnost' ustroystva svay ERT [Technical feasibility and economic efficiency of the ERT pile device] // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]. - 2024. - No. 110-16. - P. 110-114.
5. Bekbasarov I.I., Atenov Y.I., Kulboldiev Zh. O rezul'tatakh ispytaniy ploskikh modeley svay s neskol'kimi ushireniyami stvola v laboratornykh usloviyakh [On the results of testing flat models of piles with several shaft widenings in laboratory conditions] // Fundamenty glubokogo zalozheniya i problemy geotekhniki territoriy: materialy II Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Deep foundations and problems of geotechnical engineering of territories: Proceedings of the II All-Russian conference with international participation], Perm, May 26-28, 2021. - Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2021. - P.57-74.
6. Bekbasarov I.I., Baitemirov M.N., Atenov Y.I., Shanshabaev N.A. Ob eksperimental'nom oborudovanii dlya zabivki i ispytaniy krupnomasshtabnykh

-
- modeley svay v polevykh usloviyakh [On experimental equipment for driving and testing large-scale pile models in the field] // Mechanics and Technologies. - 2019. - No. 4 (66). - P. 134-141.
7. Bekbasarov I.I., Nikitenko M.I., Atenov Y.I. Udarnaya pogruzhayemost' svay s ushirennyami stvola i ikh soprotivlyayemost' vdavlivayushchey nagruzke [Impact immersion capacity of piles with shaft widenings and their resistance to pressing load] // Novosti nauki Kazakhstana [Science news of Kazakhstan]. - 2020. - No. 2 (144). - P. 124-134.
 8. Patent No. 2732758 C1 Russian Federation, IPC E02D 5/44. Bored injection pile with controlled widening: No. 2020110915: declared. 16/03/2020: published. 22/09/2020 / M.A. Samokhvalov, A.A. Paronko; applicant Limited Liability Company "Scientific and Production Company "Geotechnics 72".
 9. Patent for Utility Model No. 210396 U1 Russian Federation, IPC E02D 5/48. Pile in structurally unstable soils: No. 2021120221: declared 07/08/2021: published 04/14/2022 / N. F. Bulankin.
 10. Pronozin Ya.A., Samokhvalov M.A., Rachkov D.V. Results of laboratory and field studies of the manufacture of a bored pile with controlled widening // Industrial and civil engineering. - 2014. - No. 3. - P. 56-60.
 11. Petukhov A.A. Sovershenstvovaniye sposoba ustroystva in'yektsionnykh svay v slabykh glinistyykh gruntakh dlya usloviy rekonstruktsii zdaniy [Improving the method of installing injection piles in weak clay soils for building reconstruction conditions]: diss... candidate of technical sciences, specialty 05.23.02 "Foundations and foundations, underground structures" / Petukhov A.A. - Tomsk, 2006. - 192 p.