

6. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А. Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий // Градостроительство. 2010. № 1. С. 37—43.
7. Любовный В. Я. Регулирование градостроительства в изменяющихся условиях развития России / В.Я. Любовный // Архитектура и строительство России. – 2016. – № 1. – С. 57–63
8. Миргородская Е.О., Шеина С.Г. Зонирование экономического развития региона: методологические и методические подходы к анализу территории // Terra Economicus. – 2012. – Т.10. – № 4-3. – С. 173-178.
9. Моисеев Ю. М. Фантомы деструктуризации системы градостроительного планирования // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. №4(49). С. 224–234.
10. Моисеев Ю.М. Бреши незнания и перспективы градостроительного анализа // Архитектура и строительство России. 2023 №3(247). С. 44-49.
11. Моисеев Ю. М. Научная неопределенность перспектив градостроительного развития в условиях глобальных вызовов // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации – Современные концепции» (г. Москва, 30 июня 2023 г.). Том 2 Москва: Издательство Инфинити, 2023. С. 136-145.
12. Мурзин А.Д. Принципы моделирования принятия решений по управлению социо-эколого-экономическими рисками развития городских территорий [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2012. №3. – С. 626-629. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>
13. Юшкова Н. Г. Локальные изменения региональных систем расселения: условия возникновения, особенности, тенденции / Н.Г. Юшкова, Ю.В. Алексеев // Вестник МГСУ. 2021 С. 1152–1167.
14. Юшкова Н. Г. Концепция системного регулирования и методология реорганизации территориальных систем / Н.Г. Юшкова, Д.Г. Донцов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020 Т. 10 № 3 С. 486–503.
15. Щербина Е. В. Устойчивое развитие поселений и урбанизированных территорий: учебное пособие / Е. В. Щербина, Д. Н. Власов, Н. В. Данилина: под ред. Е. В. Щербины; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моек. гос. строит. ун-т. Москва: НИУ МГСУ, 2016. 128 с
16. Проект Федерального закона N 209727-3 «О минимальных государственных социальных стандартах»
17. Федеральный закон от 27.12.2002 №184-ФЗ «О техническом регулировании»
18. 7. Федеральный закон от № 154-ФЗ от 28.08.1995, от 06.10.2003 №131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации».
19. Спицов Д. В., Яжлев И. К. Методология применения наилучших доступных технологий восстановления нарушенных земель при комплексном развитии территорий нежилой застройки // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 1 (47). С. 76–82.
20. Журавлев П. А., Марукян А. М. Особенности предпроектных проработок в инвестиционно-строительной деятельности (Часть 1) // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (37). С. 10–16.

© Р. А. Набиев, Н. З. Магомедова

Ссылка для цитирования:

Набиев Р. А., Магомедова Н. З. Методология градостроительного анализа как инструмент гармонизации развития урбанизированных образований // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 2 (52). С. 63–67.

УДК 691.32

DOI 10.52684/2312-3702-2025-52-2-67-72

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СВАЙ ГОТОВОГО ТИПА С МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ

И. И. Бекбасаров, Е. И. Атенев, Н. В. Купчикова, В. А. Перепечин

Бекбасаров Исабай Исакович, доктор технических наук, профессор, академик Национальной академии горных наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А. С. Ахметова», Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати, г. Тараз, Республика Казахстан;

Атенев Ерлан Имангалиевич, доктор философии (PhD) по специальности «Гидротехническое строительство и сооружения», научный сотрудник, Таразский университет им. М. Х. Дулати, г. Тараз, Республика Казахстан;

Купчикова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, научно-исследовательский институт городского транспорта города Москвы «МосТрансПроект»; доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;



Перепечин Владислав Александрович, студент, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

В статье представлены результаты численного моделирования в виде полученных изополей деформаций, которые показали хорошую сходимость с результатами экспериментальных данных. Анализируя полученные данные с помощью современного программного комплекса для решения геотехнических задач MIDAS GTS NX, верифицированного в Российской академии архитектуры и строительных наук, можно сделать вывод об эффективности работы свай с многоместными уширениями по сравнению с призматическими сваями готового типа.

Ключевые слова: эксперимент, численное моделирование, призматическая свая, сваи с многоместными уширениями на стволе готового типа.

EXPERIMENTAL-NUMERICAL ANALYSIS OF FINISHED-TYPE PILES WITH MULTIPLE EXTENSIONS

I. I. Bekbasarov, E. I. Atenov, N. V. Kupchikova, V. A. Perepechin

Bekbasarov Isabay Isakovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Mining Sciences, Head of the Research Laboratory of Engineering Profile "Nanoengineering Research Methods named after A.S. Akhmetov", Taraz Regional University named after M. H. Dulati, Taraz, Republic of Kazakhstan;

Atenov Erlan Imangalieovich, Doctor of Philosophy (PhD) in "Hydraulic Engineering and Structures", Researcher, Taraz University named after M.H. Dulati, Taraz, Republic of Kazakhstan;

Kupchikova Natalya Viktorovna, Candidate of Engineering Sciences, Research Institute of Urban Transport of Moscow "MosTransProekt"; Associate Professor of the Department of "Building Structures, Buildings and Structures", Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2986-4190; e-mail: kupchikova79@mail.ru;

Perepechin Vladislav Aleksandrovich, student, Russian University of Transport (RUT MI-IT), Moscow, Russian Federation

The article presents the results of numerical modeling in the form of the obtained deformation isofields, which showed good convergence with the results of experimental data. Analyzing the obtained data using the modern software package for solving geotechnical problems MIDAS GTS NX, verified in the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, it is possible to draw a conclusion about the efficiency of piles with multi-place widenings in comparison with prismatic piles of the finished type.

Keywords: experiment, numerical modeling, prismatic pile, piles with multi-place widenings on the trunk of the finished type.

Введение (Introduction)

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. Данные конструкции свай называют - сваи с многоместными или несколькими уширениями и бывают как готового, так и набивного типа.

В работе автора Купчиковой Н. В. [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 концевой уширения.

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования свай с совместными концевыми и поверхностными уширениями позволили представить физическую модель взаи-

модействия тела свай с уширениями и грунтовым пространством при вертикальном нагружении за счет реактивного давления нижней полусферы концевой уширения, сил сцепления и трения по боковой поверхности прямолинейного участка свай и граней клиньев (рис. 1) [2].

На современном этапе требуется разработка комплексной методологии расчета свайных фундаментов с несколькими уширениями на стволе свай. 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 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.

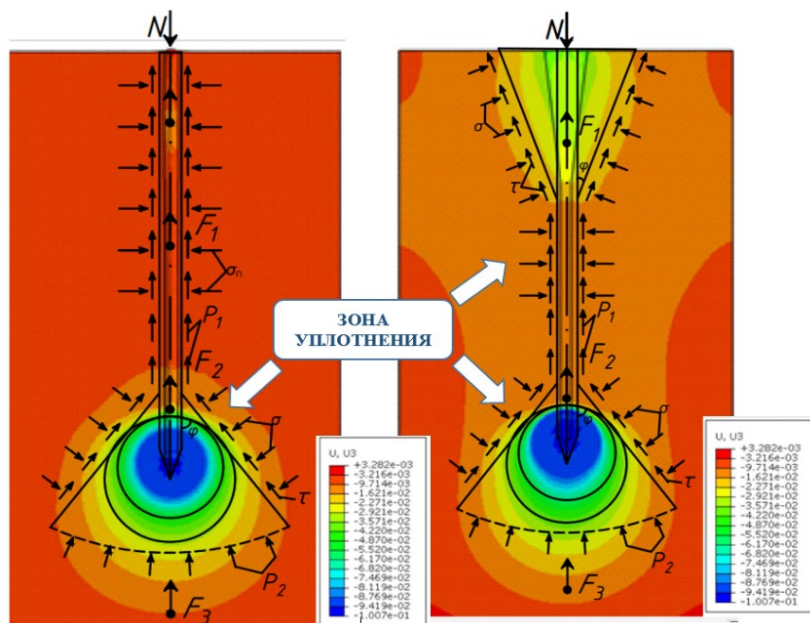


Рис. 1. Расчетная схема реактивных напряжений по площадкам предельного равновесия для свай концевым сферическим уширением и совместным поверхностным в виде сборных клиньев и концевым типами уширений с наложением изополей с зонами уплотнения (иллюстрация автора Купчиховой Н. В.)

Fig. 1. Calculation scheme of reactive stresses on the sites of ultimate equilibrium for piles with end spherical broadening and joint surface in the form of prefabricated wedges and end types of broadening with overlay of isopoles with zones of compaction (illustration by Kupchikova N.V.)

Метод (Methods)

Экспериментальные исследования проводились авторами И. И. Бекбасаровым, Е. И. Атеновым [5 - 7] на моделях свай, выполненных из железобетона, на специализированных заводах с количеством уширений в моделях опытных свай от одного до четырех (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 имеет отклонение боковых граней к продольной оси $i_p = 0,01$.

Испытания моделей свай проведены в лотке, заполненном легким песчанистым суглинком. Укладка однородного грунта в лоток производилась его засыпкой и равномерным разравниванием. Лоток оборудован многоцелевыми приспособлениями, позволяющими производить забивку и испытание моделей свай статическими нагрузками. 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 %).

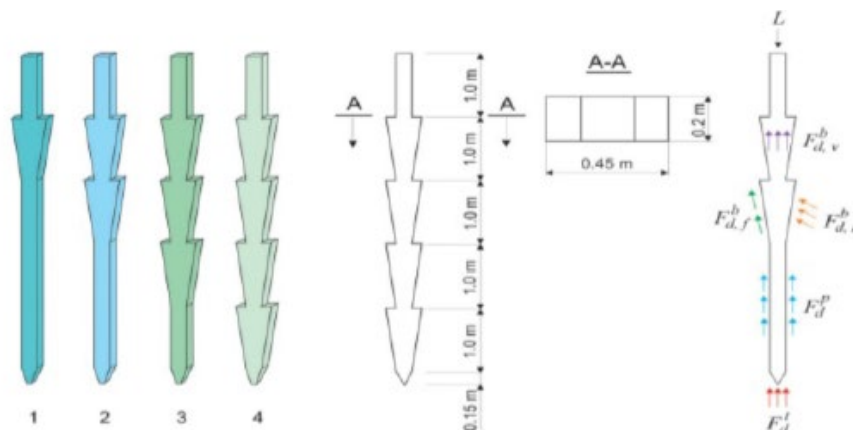


Рис. 2. Конструктивные решения готовых свай с несколькими уширениями на стволе (иллюстрация авторов И. И. Бекбасаров, Е. И. Атенов)

Fig. 2. Design solutions for ready-made piles with several expansions on the trunk (illustrated by I. I. Bekbasarov and E. I. Atenov)

Настройка расчета

Одним из вариантов создания модели сваи, 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 сваи

под нагрузкой были приняты результаты сравнений статических испытаний одиночной железобетонной призматической сваи и свай с многоместными уширениями.

Изополя перемещений одиночных железобетонных свай призматической и свай с разным количеством многоместных уширений на стволе представлены на рисунке 3.

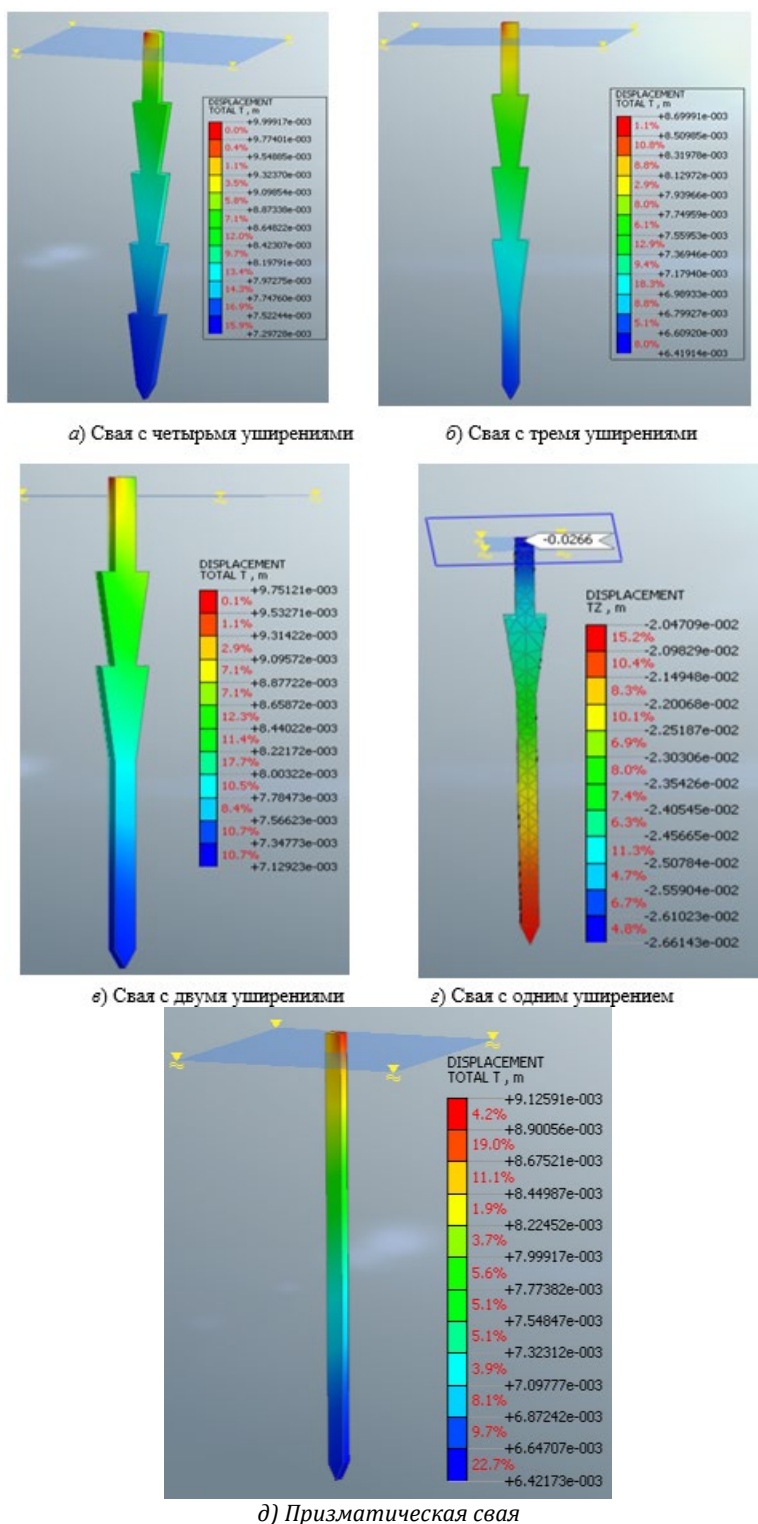


Рис. 3. Геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z призматической сваи и свай с многоместными уширениями
Fig. 3. Geometric sum of movements along the X, Y, and Z axes of a prismatic pile and piles with multi-seat extensions

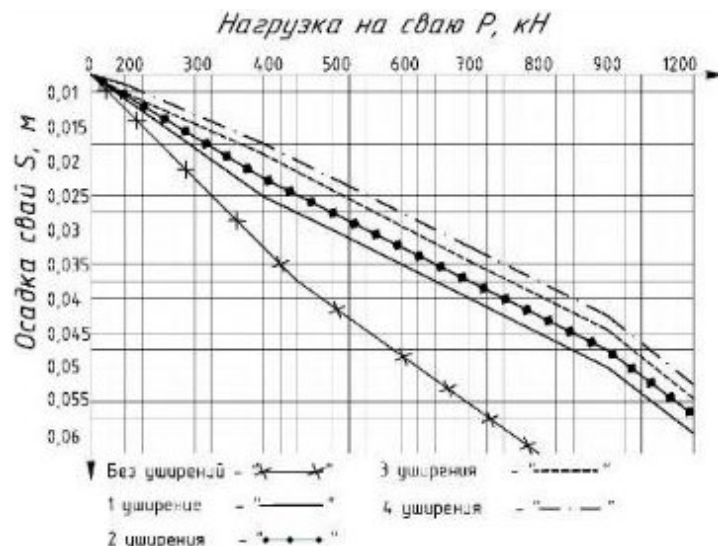


Рис. 4. График зависимости осадки свай от вертикального нагружения (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Graph of pile settlement dependence on vertical loading (illustration by the authors)

Таблица 1

Результаты перемещений из программного комплекса MIDAS GTS NX

Результаты перемещений						
Нагрузка в 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 свая	0,0141	0,0242	0,0263	0,03	0,0497	0,066

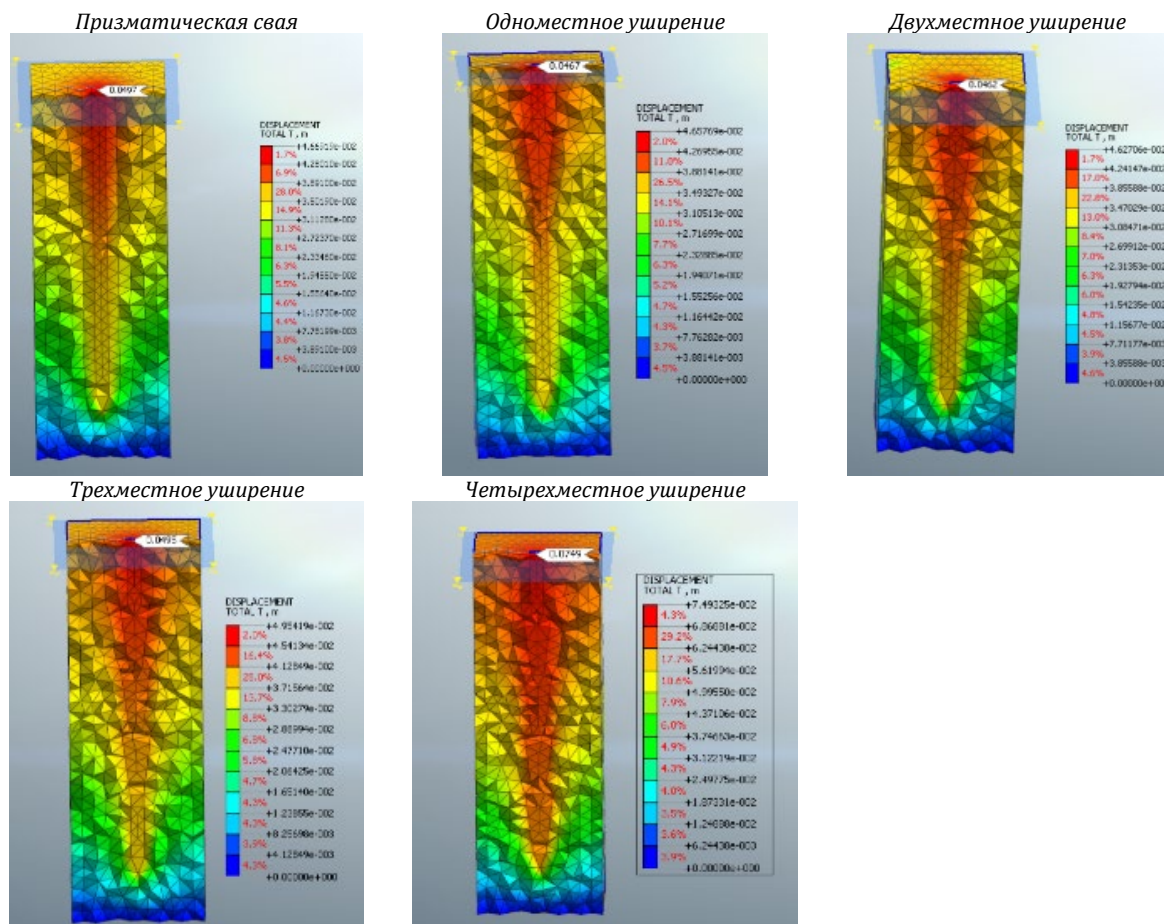


Рис. 5. Результаты осадки свай при нагрузке 900 кН/м² (иллюстрация авторов)
Fig. 5. Results of pile settlement under a load of 900 kN/m² (illustration by the authors)

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

По результатам статических испытаний построен график зависимости осадки свай от нагрузки (рис. 4).

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:

- 1) собственный вес;
- 2) ограничение перемещений;
- 3) нагружение фундаментной плиты – 500 kn/m².

На рисунке 5 представлены результаты осадки свай при нагрузке 900 кН/м² в MIDAS GTS NX.

Заключение

Результатом численного моделирования являются полученные изополя напряжений и деформаций, в данной работе показаны результаты численного анализа деформаций, которые показали хорошую сходимость с результатами экспериментальных данных. Анализируя полученные данные в Midas GTS NX можно сделать вывод об эффективности работы свай с многоместными уширениями по сравнению с призматическими сваями готового типа.

Список литературы:

1. Купчикова Н. В. Свайные фундаменты с несколькими уширениями для слабых и структурно неустойчивых оснований. Часть 1 / 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 загрузении / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 4 (36). – С. 29–33.
3. Применение свай ЭРТ для ликвидации предаварийной ситуации при строительстве фундамента / 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 / Н. С. Соколов // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 110-16. – С. 110-114. – DOI: 10.18411/trnio-06-2024-877.
5. Бекбасаров И. И. О результатах испытаний плоских моделей свай с несколькими уширениями ствола в лабораторных условиях / 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 / 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 / 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 : № 2020110915 : заявл. 16.03.2020 : опубл. 22.09.2020 / М. А. Самохвалов, А. А. Паронко ; заявитель Научно-производственная компания «Геотехника 72».
9. Патент на полезную модель № 210396 U1 Российская Федерация, МПК E02D 5/48. Свая в структурно-неустойчивых грунтах : № 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 / 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 : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Аркадий Александрович Петухов. – Томск, 2006. – 192 с.

© И. И. Бекбасаров, Е. И. Атенев, Н. В. Купчикова, В. А. Перепечин

Ссылка для цитирования:

Бекбасаров И. И., Атенев Е. И., Купчикова Н. В., Перепечин В. А. Экспериментально-численный анализ свай готового типа с многоместными уширениями // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 2 (52). С. 67–72.