Полевые исследования буровой сваи с грунтополимерным уширением под ее нижним концом

Мальцев Андрей Валентинович
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры СМФМК, Самарский государственный технический университет, geologof@yandex.ru,

Карпов Андрей Анатольевич
заведующий лабораторией научно-производственного центра «ГЕОТЕХНИКА», Самарский государственный технический университет, andrkarpow@yandex.ru

Приводятся данные экспериментального изучения авторского технического решения по увеличению несущей способности по грунту буровой сваи за счет создания под ее нижним концом грунтополимерного уширения из нагнетаемой двухкомпонентной пенполиуритановой смолы. Представлены описание и результаты полевого (натурного) эксперимента по исследованию возрастания несущей способности буровой сваи по грунту за счет устройства под ее пятой контролируемого и прогнозируемого грунтополимерного уширения. Проведен анализ изменения несущей способности буровой сваи с уширением из грунтополимера за счет увеличения количества инъецируемой расширяющейся смолы. Приведены данные освидетельствования образования грунтополимерного уширения под пятой сваи путем ее экскавации, а также результаты по определению физико-механических характеристик грунтополимера. По результатам деформационных испытаний построены графики зависимости горизонтальных и вертикальных деформаций образцов от вертикального давления. По полученным в ходе исследований результатам, сделаны утвердительные выводы об эффективности предложенного технического решения по устройству грунтополимерного уширения под пятой буровой сваи.
Ключевые слова: буровая свая, несущая способность сваи, расширяющиеся полимерные смолы, инъецирование полимерных смол в грунт, грунтополимерное уширение под нижним концом сваи, физико-механических характеристик грунтополимера, полевой (натурный) эксперимент.

Введение

На сегодняшний день в практике фундаментостроения на территории Российской Федерации широкое распространение получило применение буровых свай. Выбор данной конструкции связан в первую очередь с её рациональностью и надежностью. Это подтверждено многолетней эксплуатацией зданий и сооружений, в том числе повышенной категории ответственности, устройство подземной части которых выполнено именно на этом варианте фундамента. Использование буровых свай активно практикуется также на стадии капитального ремонта и реконструкции зданий и сооружений для усиления фундаментов [1].

Постановка задачи

Существенным недостатком по обеспечению несущей способности буровых свай является неравномерное включение в работу сил трения по боковой поверхности сваи и лобового сопротивления под ее нижним концом. Как правило, на первых ступенях загружения основная часть нагрузки воспринимается боковой поверхностью сваи. Это связано в первую очередь со скоплением бурового шлама на забое скважины, образующегося в ходе ее устройства [2 – 4]. Таким образом, разработка решения, устраняющего указанный выше недостаток и повышающего несущую способность буровой сваи, является задачей актуальной и целесообразной. Авторами предлагается способ по закреплению бурового шлама под пятой сваи и увеличению ее несущей способности за счет создания под ее нижним концом контролируемого грунтополимерного уширения [5 – 8].

Создание грунтополимерного элемента под пятой сваи происходит за счет нагнетания двухкомпонентной пенполиуритановой смолы. В последние несколько лет применение расширяющихся смол для закрепления грунтов основания на территории Российской Федерации получило значительное распространение [9 – 12]. Способность смолы увеличиваться в объеме и пропитывать грунтовое околосвайное пространство дает инструмент, при помощи которого за счет варьирования количества закачиваемого состава можно закреплять скопившийся буровой шлам и влиять на величину сопротивления сваи по грунту вдавливающей статической нагрузке [7 – 8].

Методика полевого (натурного) эксперимента и его результаты

С целью оценки изменения несущей способности буровых свай за счет устройства грунтополимерного уширения под их пятой была выполнен серия полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой на опытной площадке, расположенной на второй надпойменной террасе р. Волга в одном из центральных районов г.Самары.

Инженерно-геологический разрез участка испытаний до глубины 8,0 м включал (сверху-вниз) один покровный слой (почва) и один инженерно-геологический элемент (рис. 1):

Слой 1 - почвенно-растительный слой, представлен повсеместно гумусированным песком, мощность слоя от дневной поверхности земли 0,4-0,6 м.

ИГЭ-1 - песок пылеватый средней плотности малой степени водонасыщения, с прослоями суглинка мягкопластичного толщиной 3,0-5,0 см. Встречен всеми скважинами с глубины 0,4-0,6 м до глубины 8,0 м, нижняя граница слоя не определена. Мощность вскрытого элемента составляла 7,4-7,6 м.

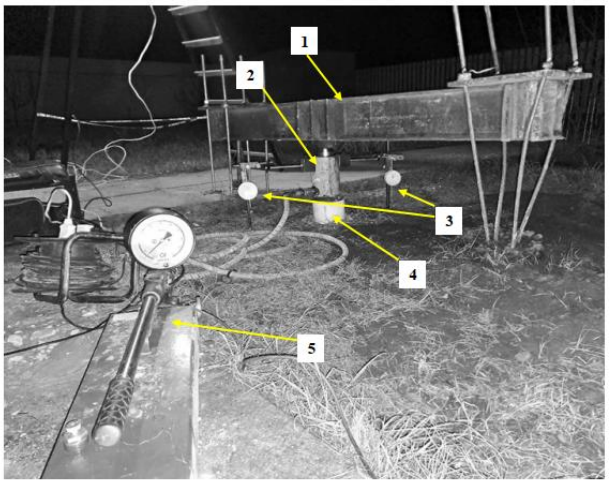
Физико-механические характеристики ИГЭ-1 представлены в таблице 1.

Всего на опытной площадке было изготовлено 5 буровых железобетонных свай, включая 4 опытных и 1 контрольную. Геометрические характеристики свай представлены в таблице 2.

При устройстве свай во время закачивания смолы под пяту и в течение 1 часа после инъецирования за высотным положением голов свай велось геодезическое наблюдение. Проведение мониторинга было вызвано необходимостью выявления возможного подъема сваи под действием давления, развиваемого в ходе расширения смолы. Несмотря на небольшую длину свай (1,7 м) и глубину расположения области уширения, вертикальные перемещения сваи в ходе мониторинга выявлены не были.

Испытание свай статической вдавливающей нагрузкой на опытной площадке проводилось в соответствии с методикой ГОСТ 5686-2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» [13]. Испытательное оборудование показано на фотографии (рис. 2). За частное значение предельного сопротивления сваи F_u вдавливающей нагрузке была принята нагрузка, под воздействием которой испытуемая свая получила осадку, равную 20 мм.

В ходе испытаний осадка каждой сваи была доведена до величины 40 мм. По результатам проведенных работ были построены графики зависимости осадки от нагрузки для каждой исследуемой сваи (рис. 3).



Полученные в ходе статических испытаний данные по предельным нагрузкам на испытуемые сваи и сравнительный анализ увеличения значения несущей способности свай с грунтополимерным уширением по сравнению с контрольной буровой сваей без уширения показаны в таблице 3.

Анализ результатов полевого эксперимента позволил выявить определенную зависимость между количеством инъецируемого в грунт вещества и несущей способностью сваи по грунту. Как видно из графика (рис. 4) увеличение количества закачиваемой смолы под пяту обеспечивает линейное возрастание несущей способности буровой сваи.

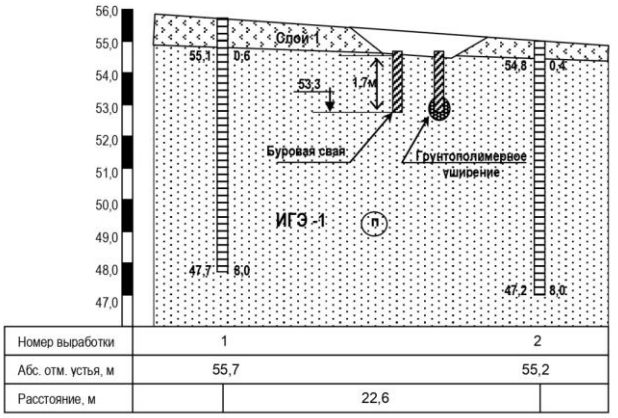


Рис.1. Геологический разрез опытной площадки

Таблица 1
Расчётные и нормативные значения физико-механических характеристик ИГЭ-1

Наименование показателей		Буквенное обозначение	Единицы измерения	ИГЭ-1
Влажность природная		W	%	12,9
Гранулометрический состав	2-1 мм	d	%	0,0
	1-0,5 мм			0,0
	0,5-0,25 мм			14,9
	0,25-0,1 мм			47,8
	менее 0,1 мм			37,3
Число пластичности		I_P	%	-
Показатель текучести при естественной влажности		I_L	д.е.	-
Плотность частиц грунта		ρ_s	г/см^3	2,67
Плотность грунта	норм.	ρ	г/см^3	1,72
	при α=0,95	$\rho_{0,95}$	г/см^3	1,71
	при α=0,85	$\rho_{0,85}$	г/см^3	1,72
Плотность сухого грунта		ρ_d	г/см^3	1,53
Коэффициент пористости		e_o	д.е.	0,750
Степень влажности		S_r	д.е.	0,44
Удельное сцепление	норм.	$C_н$	кПа	12
	при α=0,95	$C_{0,95}$	кПа	9
	при α=0,85	$C_{0,85}$	кПа	10
Угол внутреннего трения	норм.	$\varphi_н$	град.	27
	при α=0,95	$\varphi_{0,95}$	град.	25
	при α=0,85	$\varphi_{0,85}$	град.	26
Модуль деформации		$E_{ст}$	МПа	19,8

Таблица 2
Геометрические характеристики опытных свай

Номер сваи	Длина, м	Диаметр ствола, м	Количество закаченной смолы, кг	Расчетный диаметр уширения, м
1 (контрольная)	1,7	0,15	-	-
2 (опытная)	1,7	0,15	1	0,21
3 (опытная)	1,7	0,15	3	0,30
4 (опытная)	1,7	0,15	6	0,37
5 (опытная)	1,7	0,15	9	0,43

Рис. 2. Испытание опытной сваи статической вдавливающей нагрузкой: 1 – упорная балка, 2 – домкрат, 3 – индикаторы перемещения, 4 – опытная свая, 5 – маслостанция

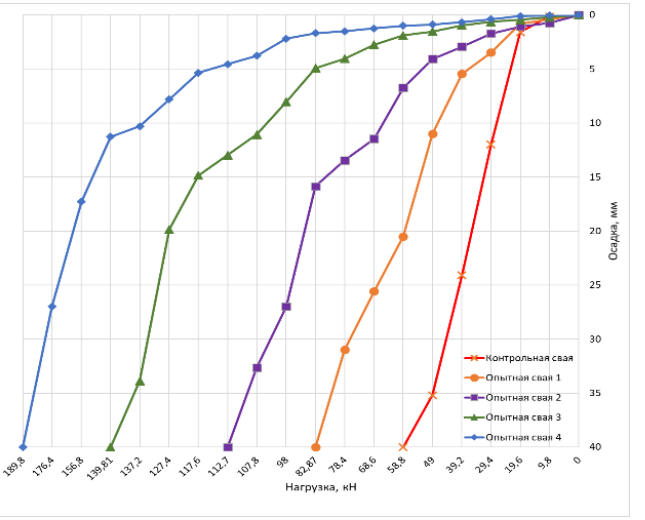


Рис. 3. Графики зависимости осадок свай от нагрузки

Таблица 3
Результаты испытания свай статической вдавливающей нагрузкой

Номер сваи	Предельная нагрузка на сваю, кН	Несущая способность сваи, кН	Прирост несущей способности, %
1	58,9	35,8	-
2	78,5	58,8	64,2
3	107,9	90,2	152,0
4	132,4	129,1	260,6
5	176,6	158,8	352,2

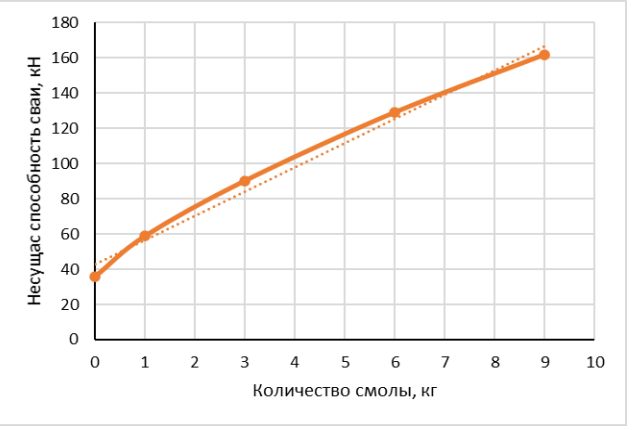


Рис. 4. График зависимости несущей способности буровой сваи от количества закачиваемой смолы

При этом стоит отметить, что изменение удельной несущей способности, т.е. увеличение сопротивления сваи, которое способен обеспечить каждый дополнительный 1 кг расширяющейся смолы, снижается по мере увеличения количества закачиваемого материала. Снижение эффективности объема закачиваемой смолы представлено на графике (рис. 5).

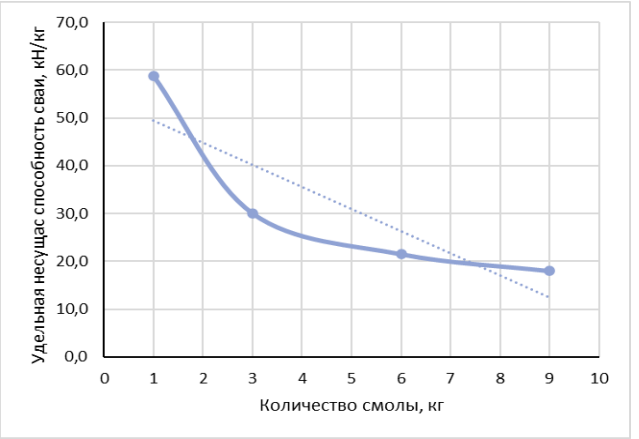


Рис. 5. График зависимости удельной несущей способности буровой сваи от количества закачиваемой смолы

Таким образом, по данным анализа графика зависимости удельной несущей способности буровой сваи от количества закачиваемой смолы (рис. 5) можно сделать вывод о том, что в общую работу со сваей вступает лишь часть закрепленного объема грунта.

Для подтверждения факта образования грунтополимерного уширения под пятой буровой сваи в полевых условиях была выполнена экскавация экспериментальной сваи № 5 (рис. 6). В уровне пяты сваи были отобраны пробы грунта естественного сложения и грунта, закреплённого расширяющейся смолой, для последующего определения их физико-механических характеристик.

В результате экскавации сваи был подтвержден факт образования грунтополимерного уширения под пятой (рис. 7). При визуальном осмотре уширения установлено, что оно имеет форму близкую к шарообразной. Длина окружности уширения составила 110 см, что соответствует диаметру 350 мм.



Рис. 6. Общий вид шурфа вдоль ствола сваи

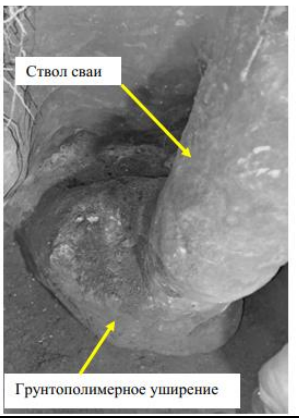


Рис. 7. Общий вид уширения под пятой сваи

Результаты замеров коррелируются с теоретическим расчетом, который представлен в статье авторов, посвященной лабораторным исследованиям эффективности использования пенополиуретановой смолы для упрочнения дисперсных грунтов. По результатам расчетов предполагаемый диаметр грунтополимерного уширения должен был составить 430 мм. Погрешность расчета составляет 23 %, что является вполне допустимым значением.

При освидетельствовании пяты сваи из околосвайного пространства были отобраны пробы грунта методом режущего кольца [14] для последующего определения физико-механических характеристик. Из тела грунтополимерного элемента также были отобраны контрольные образцы-керны.

Результаты определения физико-механических характеристик грунта из околосвайного пространства и грунтополимерного уширения представлены в таблице 4.

Таблица 4
Физико-механические характеристики грунтов

Показатели	Грунта из околосвайного пространства	Грунтополимер
Плотность, г/см^3	1,72	1,87
Прочность на сжатие, МПа	-	3,2
Удельное сцепление, кПа	12	-
Угол внутреннего трения, град	27	-
Модуль деформации, МПа	19,8	83,1

Исследование прочностных характеристик закрепленного расширяющейся смолой грунта выполнялось в лабораторных условиях на контрольных образцах-цилиндрах, имеющих диаметр 6,8 см, высоту 8,0…13,0 см, в соответствии с ГОСТ 12248.2-2020 [15] (рис. 8). Нагружение образцов при испытании на одноосное сжатие проводилось в режиме с заданной скоростью деформирования (кинематический режим). Опыт велся до разрушения образца, т.е. до достижения максимального значения вертикальной нагрузки. При отсутствии видимых признаков разрушения испытание прекращалось при вертикальной деформации образца равной 15 % от его первоначальной высоты. По результатам испытаний фиксировалась величина максимальной нагрузки при разрушении F_m. Результаты испытаний прочности на одноосное сжатие представлены на рисунке 9.

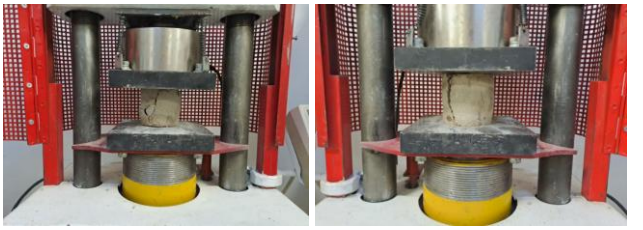


Рис. 8. Испытание на одноосное сжатие контрольных образцов грунта, закрепленного расширяющейся смолой

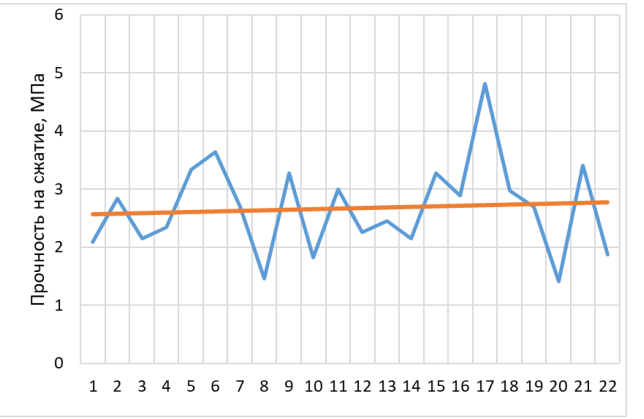


Рис. 9. Результаты определения прочности на одноосное сжатие

Полученные в ходе исследования величины прочности на одноосное сжатие грунтополимера находятся в диапазоне 1,5…4,8 МПа, среднее значение составляет 2,7 МПа. Прочность на сжатие с доверительной вероятностью 0,95 достигает 1,9 МПа.

Определение деформационных характеристик закрепленного грунта проводилось в соответствии с ГОСТ 28985-91 [16] на приборе ПСН-0.16.10М (рис. 10). По результатам испытаний были построены графики зависимости горизонтальных и вертикальных деформаций образцов от вертикального давления (рис. 11).



Рис. 10. Определение деформационных характеристик грунтополимера на приборе ПСН-0.16.10М

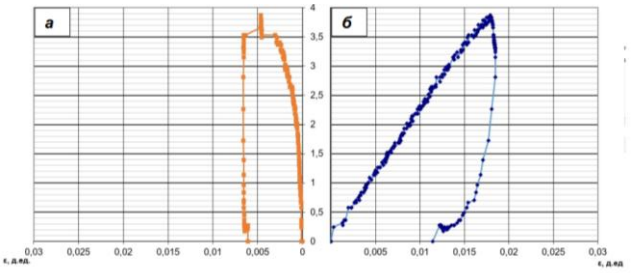


Рис. 11. Характерные графики зависимостей:
а) горизонтальных деформаций от вертикального давления;
б) вертикальных деформаций от вертикального давления

Величина модуля деформации E_δ определялась по нагрузочным ветвям зависимостей (***P-ε***). Значения модуля упругости E_y и коэффициента Пуассона ν находились по разгрузочным ветвям зависимостей (***P-ε***).

Результаты определения деформационных характеристик представлены в таблице 5.

Таблица 5
Результаты определения деформационных характеристик

Номер опыта	Модуль деформации, МПа	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона, д.ед
1	74,5	146,7	0,08
2	110,2	242,5	0,08
3	67,1	131,5	0,18
4	80,8	135,0	0,23
5	105,3	189,5	0,11
6	121,4	199,2	0,06
Среднее значение с доверительной вероятностью 0,85	81,5	150,7	0,09

Выводы

1. Применение расширяющейся смолы на основе пенополиуритана предоставляет возможность формировать под нижним концом буровой сваи закрепленную область грунта, тем самым устранить негативный фактор наличия бурового шлама. При этом образуемый грунтополимерный элемент будет иметь прогнозируемые форму и размеры.

2. Образуемое под нижним концом сваи грунтополимерное уширение обладает достаточными прочностными свойствами для того, чтобы включиться в общую работу с телом сваи и обеспечить прирост ее несущей способности по грунту.

3. Повышение количества закачиваемой смолы под нижний конец сваи способствует приросту несущей способности сваи, но при этом эффективность снижается по мере увеличения количества закачиваемого материала

4. Предложенное техническое решение позволяет уменьшить трудоемкость и материалоемкость работ при устройстве буровых свай за счет уменьшения их длины, но при этом без потери их несущей способности. С практической точки зрения – это актуально и целесообразно, особенно при реконструкции зданий и усилении фундаментов.

Литература

1. Мангушев Р.А. и др. Современные свайные технологии. – М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 2010. – 235 с.
2. Еремин В.Я., Еремин А.В., Сарафанов Н.В., Буданов А.А. Некоторые проблемы качества буровых свай / Труды Международной научно-технической конференции (3-5 октября 2006 г.,Уфа) // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях. Том 1. – Уфа, 2006. – С.85-96.
3. Дзагов А.М. Технологические аспекты устройства буронабивной сваи и их влияние на несущую способность сваи / А.М. Дзагов // Геотехника. – 2017. – № 2. – С. 24-41.
4. Дзагов А.М. О влиянии качества зачистки уширения скважины на несущую способность буронабивной сваи / А.М. Дзагов, В.А. Китайкин, Р.И. Чернов // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2016. – № 4. – С. 31-36.
5. Мальцев А. В. Карпов А.А. Анализ и обоснованный выбор эффективного способа повышения несущей способности буровой сваи / А.В. Мальцев, А.А. Карпов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : Сборник статей 82-ой Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 14–18 апреля 2025 года. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2025. – С. 174-186. – EDN KFCWRB.
6. Мальцев А.В. Карпов А.А. Результаты исследований по устройству уширения нижнего конца буровой сваи из грунтополимера / А.В. Мальцев, А.А. Карпов // Теория и практика фундаментостроения: Сборник тезисов докладов XV Международного симпозиума по реологии грунтов, посвященного 95-летию КГАСУ и 60-летию кафедры "Основания, фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология", Казань, 04–06 июня 2025 года. – Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. – С. 90. – EDN TOJVUJ.
7. Мальцев А.В. Карпов А.А. Об устройстве грунтополимерного уширения пяты буровой сваи / А.В. Мальцев, А.А. Карпов // Градостроительство и архитектура. – 2025. – Т. 15, № 2(59). – С. 4-11. – DOI 10.17673/Vestnik.2025.02.01. – EDN XCWPAU.
8. Патент № 2856670 Российская Федерация, МПК E02D 5/46 (2006.01). Способ изготовления буровой сваи с грунтополимерным уширением: № 2025113038: заявл. 17.05.2025: опубл. 24.02.2026 / А. А. Карпов ; заявитель ООО "Роспатент". Бюл. № 6. — 5 с. — Текст: непосредственный.
9. Будовой А. А. Стабилизация грунтовых оснований и подъем фундаментных конструкций методом химического домкрата с помощью расширяющейся полиуретановой смолы / А. А. Будовой // Технологии бетонов. – 2025. – № 4(201). – С. 53-56. – EDN CKAYAD.
10. Soil stabilization and foundation restoration using an expandable polyurethane resin / M. M. Sabri, K. G. Shashkin, E. Zakharin, A. V. Ulybin // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No. 6(82). – P. 68-80. – DOI 10.18720/MCE.82.7. – EDN YZNUUX.
11. Нуждин М.Л. Усиление насыпных грунтов инъецированием расширяющейся геополимерной смолы / М.Л. Нуждин, Л.В. Нуждин // 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. 618-629. – EDN TIMVSQ.
12. Корешков А.А. Стабилизация грунтовых оснований и подъем фундаментных конструкций методом химического домкрата с помощью расширяющейся полиуретановой смолы / А.А. Корешков // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях: материалы Общероссийской научно-практической конференции, Москва, 14 марта 2025 года. – Москва: Геомаркетинг, 2025. – С. 55-62. – EDN RROBIS.
13. ГОСТ 5686-2020. Грунты. Методы полевых испытаний сваями // Дата введения 2021-01-01 / Разработан НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, АО «НИЦ «Строительство». – Москва: Стандартинформ, 2020 - 46 с. - Текст: непосредственный.
14. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик // Дата введения 2016-04-01 / Разработан ОАО «ПНИИИС». – Москва: Стандартинформ, 2019 - 27 с. - Текст: непосредственный.
15. ГОСТ 12248.2-2020. Грунты. Определение характеристик прочности методом одноосного сжатия // Дата введения 2021-06-01 / Разработан НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, АО «НИЦ «Строительство». – Москва: Стандартинформ, 2020 - 8 с. - Текст: непосредственный.
16. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии // Введён в действие постановлением Гос. комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 24 апреля 1991 года №563 / Дата введения 1992-07-01. – Москва: ИПК издательство Стандартов, 2004 - 11 с. - Текст: непосредственный.

Field studies of a bored pile with a soil-polymer widening under its lower end

Maltsev A.V., Karpov A.A.
Samara State Technical University

JEL classification: L61, L74, R53

This paper presents data from an experimental study of a proprietary technical solution designed to increase the soil-bearing capacity of a bored pile by creating a soil-polymer bulb beneath its base using injected two-component expanding polyurethane resin. It describes and presents the results of a field experiment investigating the increase in soil-bearing capacity achieved by forming a controlled and predictable soil-polymer bulb under the pile toe. An analysis is conducted on how the bearing capacity of the bored pile changes with the soil-polymer bulb as the volume of injected expanding resin is increased. Data are provided from the verification of the soil-polymer bulb's formation—confirmed via excavation—along with results regarding the physical and mechanical properties of the soil-polymer material. Based on deformation test results, graphs illustrating the relationship between horizontal and vertical sample deformations and vertical pressure have been plotted. Based on the results obtained during the research, affirmative conclusions were made about the effectiveness of the proposed technical solution for installing a soil-polymer widening under the heel of a bored pile.

Keywords: bored pile, pile bearing capacity, expanding polymer resins, injection of polymer resins into soil, soil-polymer expansion under the lower end of the pile, physical and mechanical properties of soil-polymer, field (natural) experiment

References

1. Mangushev R.A. et al. Modern Pile Technologies. – Moscow: Publishing House of the Association of Civil Engineering Universities, 2010. – 235 p.
2. Eremin V.Ya., Eremin A.V., Sarafanov N.V., Budanov A.A. Some issues regarding the quality of bored piles / Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (October 3–5, 2006, Ufa) // Problems of Soil Mechanics and Foundation Engineering in Complex Soil Conditions. Volume 1. – Ufa, 2006. – p. 85–96.
3. Dzagov A.M. Technological aspects of bored pile construction and their influence on pile bearing capacity / A.M. Dzagov // Geotekhnika. – 2017. – No. 2. – p. 24–41.
4. Dzagov A.M. On the influence of the quality of borehole base enlargement cleaning on the bearing capacity of a bored pile / A.M. Dzagov, V.A. Kitaikin, R.I. Chernov // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov (Soil Mechanics and Foundation Engineering). – 2016. – No. 4. – p. 31–36.

5. Maltsev A.V., Karpov A.A. Analysis and justified selection of an effective method for increasing the bearing capacity of a bored pile / A.V. Maltsev, A.A. Karpov // Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction and Construction Technologies: Collection of Papers of the 82nd All-Russian Scientific and Technical Conference, Samara, April 14–18, 2025. – Samara: Samara State Technical University, 2025. – p. 174–186. – EDN KFCWRB.
6. Maltsev A.V., Karpov A.A. Research results on the construction of a soil-polymer bulb at the base of a bored pile / A.V. Maltsev, A.A. Karpov // Theory and Practice of Foundation Engineering: Collection of abstracts from the XV International Symposium on Soil Rheology, dedicated to the 95th anniversary of KGASU and the 60th anniversary of the Department of Soil Mechanics, Foundations, Structural Dynamics, and Engineering Geology, Kazan, June 4–6, 2025. – Kazan: Kazan State University of Architecture and Engineering, 2025. – p. 90. – EDN TOJVUJ.
7. Maltsev A.V., Karpov A.A. On the construction of a soil-polymer bulb at the base of a bored pile / A.V. Maltsev, A.A. Karpov // Urban Planning and Architecture. – 2025. – Vol. 15, No. 2(59). – p. 4–11. – DOI 10.17673/Vestnik.2025.02.01. – EDN XCWPAU.
8. Patent No. 2856670 Russian Federation, IPC E02D 5/46 (2006.01). Method for manufacturing a bored pile with a soil-polymer bulb: No. 2025113038: filed May 17, 2025: published Feb. 24, 2026 / A. A. Karpov; applicant: Rospatent LLC. Bulletin No. 6. — 5 p. — Text: direct.
9. Budovoy A. A. Stabilization of soil foundations and lifting of foundation structures using the chemical jacking method with expanding polyurethane resin / A. A. Budovoy // Concrete Technologies. – 2025. – No. 4(201). – p. 53-56. – EDN CKAYAD.
10. Soil stabilization and foundation restoration using an expandable polyurethane resin / M. M. Sabri, K. G. Shashkin, E. Zakharin, A. V. Ulybin // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No. 6(82). – p. 68-80. – DOI 10.18720/MCE.82.7. – EDN YZNUUX.
11. Nuzhdin M. L. Reinforcement of fill soils by injecting expanding geopolymer resin / M. L. Nuzhdin, L. V. Nuzhdin // Deep Foundations and Geotechnical Challenges of Territories: Proceedings of the III All-Russian Conference with International Participation, Perm, May 29–31, 2024. – Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2024. – p. 618-629. – EDN TIMVSQ.
12. Koreshkov A. A. Stabilization of soil foundations and lifting of foundation structures using the chemical jacking method with expanding polyurethane resin / A. A. Koreshkov // Study of Hazardous Natural Processes and Geotechnical Monitoring during Engineering Surveys: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, March 14, 2025. – Moscow: Geomarketing, 2025. – p. 55-62. – EDN RROBIS.
13. GOST 5686-2020. Soils. Field pile testing methods // Date of introduction: 2021-01-01 / Developed by N.M. Gersevanov NIIOSP, JSC "SIC 'Construction'". – Moscow: Standartinform, 2020 – 46 p. – Text: direct.
14. GOST 5180-2015. Soils. Laboratory methods for determining physical characteristics // Date of introduction: 2016-04-01 / Developed by JSC "PNII-IS". – Moscow: Standartinform, 2019 – 27 p. – Text: direct.
15. GOST 12248.2-2020. Soils. Determination of strength characteristics by the uniaxial compression method // Date of introduction: 2021-06-01 / Developed by N.M. Gersevanov NIIOSP, JSC "SIC 'Construction'". – Moscow: Standartinform, 2020 – 8 p. – Text: direct.
16. GOST 28985-91. Rocks. Method for determining deformation characteristics under uniaxial compression // Put into effect by the Resolution of the USSR State Committee for Product Quality Control and Standards No. 563 dated April 24, 1991 / Date of introduction: 1992-07-01. – Moscow: IPK Standards Publishing House, 2004 – 11 p. – Text: direct.