

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 2 / 2026, Vol. 13, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/05SATS226.pdf>

DOI: 10.15862/05SATS226 (<https://doi.org/10.15862/05SATS226>)

2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Хамитов, Р. Ф. Совершенствование технологии усиления глинистых грунтов оснований фундаментов с использованием винтовых свай / Р. Ф. Хамитов, А. О. Глазачев, А. Е. Папилин, Р. А. Марусин // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 2. — URL: <https://t-s.today/PDF/05SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/05SATS226.

For citation:

Khamitov R.F., Glazachev A.O., Papilin A.E., Marusin R.A. Improvement of the technology for strengthening clay soils in foundation bases using screw piles. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(2): 05SATS226. Available at: <https://t-s.today/PDF/05SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/05SATS226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 624.154; 624.138

Хамитов Руслан Фанирович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия

E-mail: khamitovgf@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0995-8260>

Глазачев Антон Олегович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия

Заведующий кафедрой «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»

Кандидат технических наук

E-mail: anton.glazachev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4036-3155>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=989565

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEZ-4308-2022>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56194737100>

Папилин Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия

Аспирант

E-mail: a.papilin90@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3150-0241>

Марусин Роман Александрович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия

Аспирант

E-mail: marusinr@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6201-6883>

Совершенствование технологии усиления глинистых грунтов оснований фундаментов с использованием винтовых свай

Аннотация. В статье рассматривается вопрос совершенствования технологии усиления глинистых грунтов оснований фундаментов с применением винтовых свай. Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки недорогих методов усиления оснований свай,

сложенных глинистыми грунтами с недостаточной несущей способностью при строительстве транспортной инфраструктуры. Традиционные методы инъекционного закрепления (предварительное закрепление через инъекторы с последующим погружением свай или закрепление после устройства свай) обладают недостатками: высоким расходом раствора, необходимостью дополнительных технологических операций, непредсказуемостью формирования зоны укрепления. В качестве рационального решения предложено использовать саму винтовую сваю в качестве инъектора. Для этого в стволе сваи выполняются отверстия, через которые под низким давлением (методом пропитки) подаётся укрепляющий состав в зоны грунтового основания, где развиваются максимальные напряжения. В работе использован метод зашелачивания глинистых грунтов водным раствором гидроксида натрия. Проведены натурные испытания на опытном полигоне. В сваи закачивалось различное количество раствора, а после набора прочности закрепленного грунта выполнялись статические испытания свай. Установлено, что наблюдается линейная зависимость роста несущей способности от объёма закачанного раствора. Определены формы зоны закрепления. Предложены аналитические формулы для расчёта требуемого объёма рабочего раствора с учётом пористости и степени влажности грунта. Отмечено дополнительное преимущество — щелочная среда в зоне закрепления предотвращает коррозию металла свай. Разработанная технология позволяет снизить расход материалов, исключить ряд операций (бурение, погружение и извлечение инъекторов), сократить стоимость и продолжительность работ, а также повысить коррозионную стойкость конструкций.

Ключевые слова: винтовые сваи; фундаменты; укрепление грунтов; зашелачивание; инъектирование; повышение несущей способности; транспортные сооружения

Введение

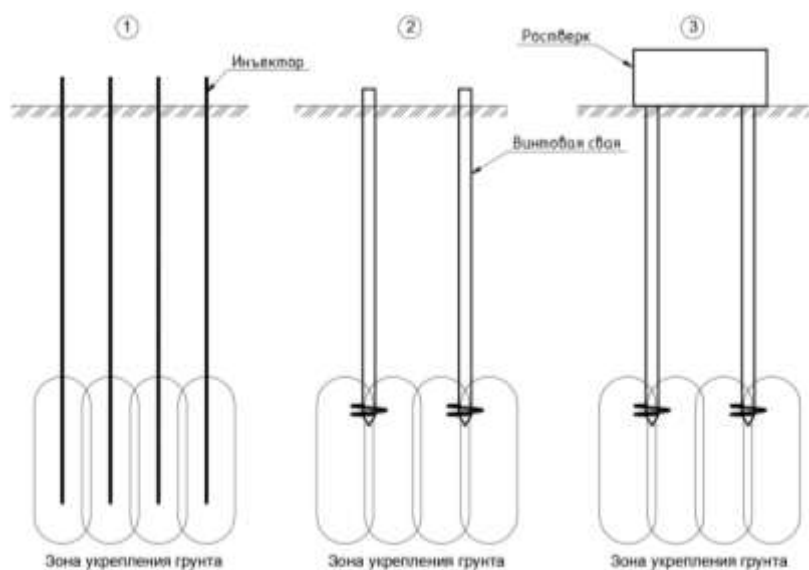
При строительстве транспортной инфраструктуры важной составляющей является применение технических решений, которые обеспечивают требуемую эксплуатационную надёжность, при этом должны быть экономически выгодными. В соответствии с приказом ГК «Автодор» № 517 от 20.12.2019 «Об утверждении Перечня современных технологий для внесения в технические задания на проектирование, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт и ремонт автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги» и искусственные сооружения на них», винтовые сваи рекомендуются в части стабилизации и укрепления грунтов слабых оснований (пункт 2.3). В нашей стране и за рубежом накоплен значительный опыт использования винтовых свай в качестве фундаментов для различных зданий и сооружений [1–5].

Использование винтовых свай в качестве фундаментов при строительстве искусственных сооружений в большинстве случаев является наиболее оптимальным решением. Например, при строительстве шумозащитных экранов, винтовые сваи имеют явное преимущество. В частности, по сравнению с буронабивными сваями, преимущества состоят: в более высокой скорости монтажа, не требуется технологический перерыв для набора прочности бетоном, возможность монтажа в любых погодных условиях и температурах, простота выполнения контроля качества работ. Подобное решение было реализовано на участке федеральной трассы М-5 вблизи города Уфы [6]. Первоначальный проект предполагал использование буронабивных свай с ленточным монолитным железобетонным ростверком сечением 500×500 мм. Сваи диаметром 350 мм длиной 3,0 м под экраны высотой 2,5–3,5 м и длиной 5,0 м под экраны высотой 5,0 м. В качестве альтернативы приняты однолопастные винтовые сваи диаметром ствола 133 мм с глубиной погружения 2,4 м для экранов высотой 2,5–3,5 м, а для экранов высотой 5,0 м применена однолопастная свая диаметром ствола 159 мм и глубиной погружения 3,0 м.

При строительстве сооружений, передающих более высокие нагрузки, таких как надземные пешеходные переходы, подпорные сооружения, мосты и путепроводы, требуются сваи большего диаметра и длины, вне зависимости от вида свай. Как правило, для подобных сооружений, при использовании винтовых свай, применяют многолопастные сваи с диаметром лопастей 500–1000 мм. Чтобы погрузить такие сваи, требуется высокопроизводительная техника типа УБМ-85 и мощнее. При этом для возможности восприятия сваей крутящего момента с использованием такой техники при погружении требуется диаметр ствола 219–530 мм. Тогда как для восприятия проектных нагрузок такое сечение является избыточным. Одним из вариантов решения данной проблемы может стать укрепление грунтов основания инъекционными методами, тогда не будет необходимости использовать лопасти и ствол больших диаметров. Следовательно, и оборудование для погружения потребуется с меньшим крутящим моментом. Такое решение позволит снизить стоимость самой сваи и работы по её погружению.

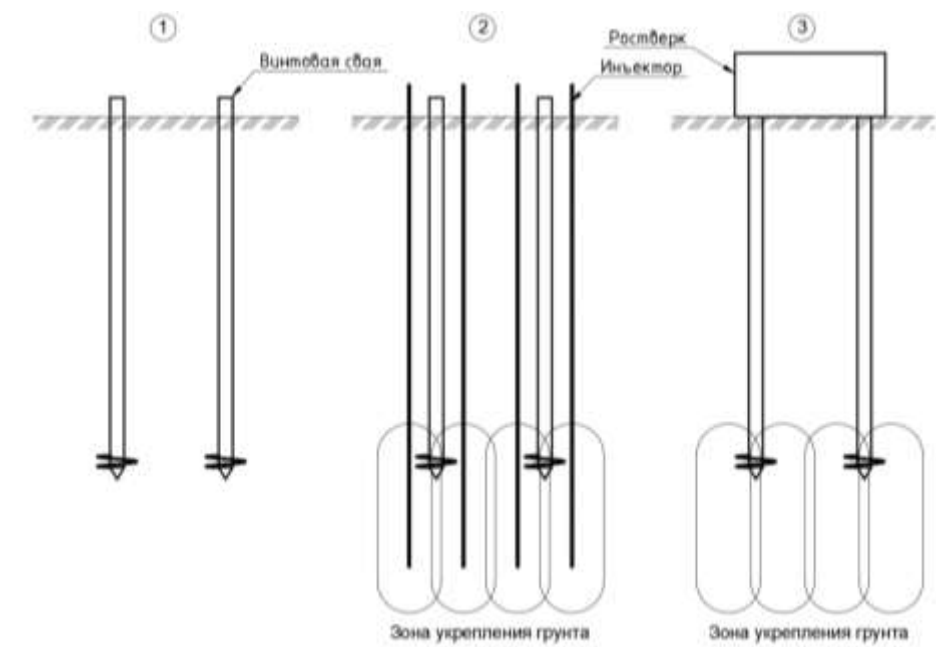
Существует два классических подхода укрепления грунтов основания свай: 1 — путем предварительного закрепления через заранее погруженные инъекторы на проектную глубину и последующим погружением свай (рис. 1); 2 — с предварительно погруженными винтовыми сваями и последующим погружением инъекторов и инъецированием раствора (рис. 2). Основным недостатком первого метода является необходимость погружения лопасти в укрепленный массив до проектной отметки, что приводит к увеличению крутящего момента. Это влечет за собой увеличение сечения ствола винтовой сваи. Недостатком второго метода является непредсказуемость формирования зоны укрепления. Вблизи сваи грунт уплотняется за счет внедрения ствола, а это приводит к тому, что фильтрация раствора от инъектора в эту зону очень слабая. Большая часть раствора будет уходить в неуплотненную зону. Общим недостатком этих двух методов является большой расход раствора, за счет сплошного закрепления массива в области нижних торцов свай.

Наиболее рациональным методом будет использование самой сваи в качестве инъектора. При этом можно выполнять закрепление только в тех зонах, где возникают наибольшие напряжения. Это достигается путем устройства отверстий в стволе сваи только в зонах, требуемых для закрепления.



1 — погружение инъекторов на проектную глубину с последующим закреплением; 2 — погружение винтовых свай в зону закрепленного грунта; 3 — объединение свай ростверком

Рисунок 1. Основные этапы устройства фундамента с предварительно усиленным основанием (составлено авторами)



1 — Погружение винтовых свай; 2 — погружение иньекторов на проектную глубину с последующем закреплении;
3 — объединение свай ростберком

Рисунок 2. Основные этапы устройства фундамента с усилением основания после устройства свай (составлено авторами)

Этот метод имеет ряд преимуществ: требуется существенно меньшее количество раствора, за счет меньшей зоны закрепления; отсутствует необходимость выполнения ряда технологических операций (бурение скважин под иньекторы, погружение и извлечение иньекторов); не требуются затраты на производство иньекторов. Предлагаемым методом можно закреплять грунты с применением любых составов. Всё зависит только от области применения используемых растворов. Что касается песчаных грунтов, то необходимость их закрепления возникает в редких случаях, т. к. они имеют достаточно хорошие механические характеристики. В большинстве случаев требуется повышение несущей способности для оснований, сложенных глинистыми грунтами. Как известно, тяжело решаемой проблемой в строительной практике является иньекционное закрепление глинистых грунтов, в частности слабых водонасыщенных. Особенно это актуально для водопропускных сооружений и мостов, т. к. строительство ведется на пойменных территориях и приходится сталкиваться со слабыми грунтами, расположенными в верхней толще. Также могут встречаться различные грунты со специфическими свойствами, такие как насыпные или просадочные.

Из всех методов закрепления глинистых грунтов наиболее эффективным является зашелачивание [7; 8]. Данная технология была научно обоснована Ф. Е. Волковым и другими исследователями МГУ [9; 10]. Волков Ф. Е. развивал технологию зашелачивания глинистых грунтов всю оставшуюся жизнь, работая в научно-исследовательском институте ГУП институт БашНИИстрой, г. Уфа [11]. При определении теоретической направленности своих исследований Ф. Е. Волков исходил из идей, которые высказывались ранее М. М. Филатовым, Е. М. Сергеевым и др. Затем последовательно развивались С. Д. Воронковичем [12–18], Р. И. Злочевской [19], Т. Г. Макеевой, [20], Е. Н. Самариным [21–23] с участием Ф. Е. Волкова и оформились в виде мнения: «Решение проблемы искусственного изменения горных пород в нужном для человека направлении должно включать в себя изучение взаимодействия между минералами и вводимыми в породу растворами на кристаллохимическом уровне и базироваться на изучении природного процесса литогенеза с целью искусственного воспроизводства. Это направление можно рассматривать как геохимическую инженерию, где на атомно-молекулярном уровне, с

учетом природных аналогов, реализуется синтез искусственных соединений и материалов на их основе в целях улучшения физико-механических свойств слабых, структурно-неустойчивых грунтов. Синтез вяжущих происходит непосредственно в породе за счет ее собственных ресурсов, извлекаемых из минеральных составляющих грунта в условиях щелочной среды.» Метод защелачивания внедрен Ф. Е. Волковым на многих объектах, основаниями фундаментов которых являются глинистые грунты [24–28]. В разное время и другими исследователями была подтверждена эффективность защелачивания глинистых грунтов [29–33]. Применением защелачивания глинистых грунтов при решении проблем в дорожном строительстве активно занимаются исследователи из университета СибАДИ [34–38].

В рамках совершенствования технологии укрепления грунтов основания, с использованием винтовых свай в качестве иньектора были проведены исследования. Для этого были выполнены натурные испытания винтовых свай на опытном полигоне. В рамках исследования решались следующие задачи:

- анализ влияния количества закаченного рабочего раствора на изменение несущей способности закрепленного основания;
- определение границ зоны и формы закреплённого массива грунта.

1. Методика проведения исследований

На опытном полигоне были погружены 8 винтовых свай двух типов: однолопастные и двухлопастные. Ствол применяемых свай выполнен из трубы диаметром 76 мм. Лопасты выполнены из листа толщиной 6 мм и диаметром 200 мм. Все сваи были длиной 1,64 м и погружались в грунт на глубину 1,5 м. Установка свай в плане выполнялась в два ряда с шагом между сваями 1,5 м. Расстояние между рядами также составило 1,5 м. Общий вид используемых свай представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Общий вид опытных винтовых свай (фото автора)

Конструкция сваи имела специальный оголовок, в который встроен штуцер для возможности подачи раствора в полость сваи (рис. 4). Верхний торец ствола был заглушен пластиной для обеспечения герметичности. К этой пластине приваривался отрезок трубы с монтажным отверстием для возможности погружения. В зоне расположения лопастей были выполнены по три отверстия, расположенных под углом 120 градусов. У однолопастных свай отверстия выполнялись только под нижней лопастью, а у двухлопастной также и под верхней. Отверстия располагались таким образом, чтобы обеспечивать подачу раствора в активную зону опирания лопасти (рис. 5). Подача раствора подавалась низким давлением, таким образом, чтобы происходило заполнение свободного порового пространства.



Рисунок 4. Оголовок сваи (фото автора)



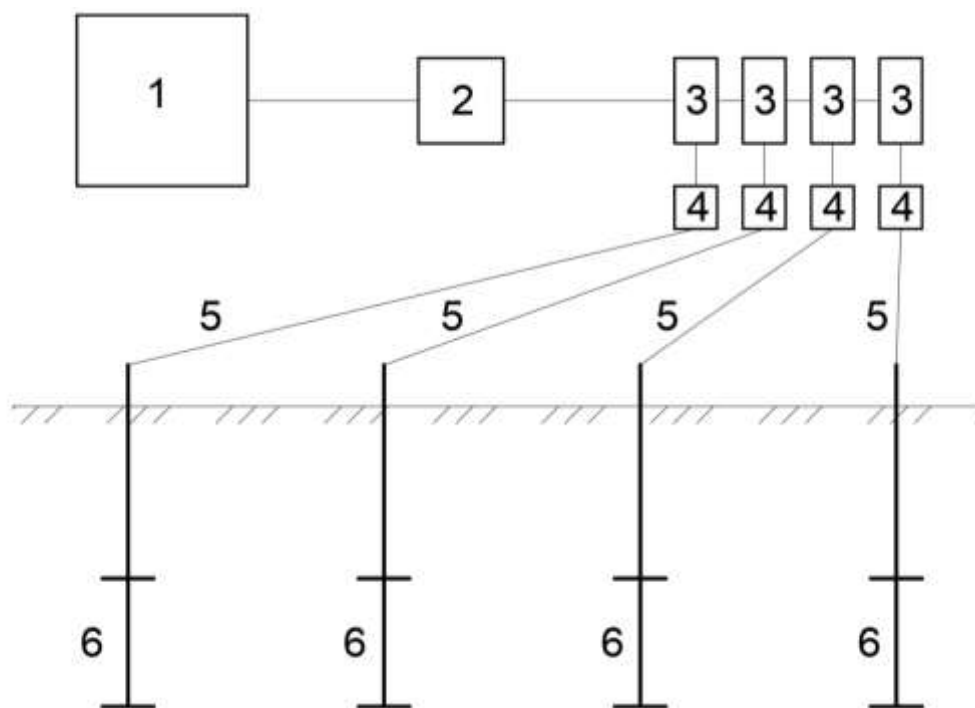
Рисунок 5. Отверстия в стволе сваи для подачи раствора (фото автора)

Толщина почвенно-растительного грунта составляла 0,5 м. Основание в пределах глубины погружения, представлено тугопластичным суглинком со следующими физико-механическими характеристиками:

- природная плотность грунта 1,76 г/см³;
- коэффициент пористости 0,80;
- влажность 0,17;
- степень влажности 0,59;
- модуль деформации 6,9 МПа;
- угол внутреннего трения 18 град;
- удельное сцепление 17 кПа.

Для закрепления грунта применялся водный раствор гидроксида натрия с рабочей концентрацией 2,5 н. Раствор предварительно изготавливался в емкости объемом 1 м³. Заранее в эту емкость заливался требуемый объем холодной воды, а затем порциями засыпался гидроксид натрия в сухом виде. Для перемешивания раствора использовался погружной насос, который работал вхолостую, т. е. подавал раствор в эту же емкость. Выделение тепла при растворении подняло температуру рабочего раствора до 46°C.

После полного растворения гидроксида натрия этим же насосом выполнялась подача раствора в сваи. Контроль количества раствора, подаваемого в каждую сваю, выполнялся с использованием расходомеров с точностью до одного литра. Технологическая схема укрепления основания винтовых свай представлена на рисунке 6, а общий вид процесса зашелачивания — на рисунке 7.



1 — емкость с рабочим раствором; 2 — насос; 3 — кран; 4 — расходомер; 5 — шланг для подачи раствора; 6 — винтовая свая

Рисунок 6. Технологическая схема укрепления основания винтовых свай (составлено авторами)



Рисунок 7. Общий вид процесса подачи раствора (фото автора)

В ходе проведения исследований было определено, что наиболее удобным расположением кранов и расходомеров является не на каждой свае в отдельности, а на отдельно расположенном стенде. К стенду подходит основная магистраль подачи рабочего раствора из емкости. Затем через разветвитель, к которому параллельно подключены краны с расходомерами, раствор распределяется через шланги к сваям. Каждому расходомеру присваивается свой номер. В журнале фиксируется номер расходомера и номер сваи, к которому он подключен. Это позволяет одному человеку контролировать скорость подачи требуемого объема в каждую сваю и фиксировать результат в журнале производства работ. Одним недостатком этого, который проявился при выполнении исследований, является необходимость дополнительного контроля возможности выхода рабочего раствора на поверхность по боковой поверхности ствола свай. Во время исследований у двух свай часть раствора вышла на поверхность. Установить, какое количество этого раствора не было использовано для укрепления грунта, не удалось, т. к. это выяснилось после подачи всего требуемого объема раствора.

2. Результаты исследований

После технологического перерыва длительностью 28 суток, за который происходил набор прочности укрепленного грунта, были проведены статические испытания всех свай. По итогам закрепления в каждую сваю было закачено разное количество раствора. При этом по одной свае из каждого типа (однолопастная и двухлопастная) оставили без закрепления грунта. Результаты испытаний представлены в таблице и рисунке 8.

Как видно из полученных результатов, у однолопастных свай прослеживается линейная зависимость роста несущей способности от количества закаченного раствора для всех испытываемых свай. Что касается двухлопастных, то две сваи, обозначенные маркерами в виде черных треугольников, не использовались для анализа, т. к. не было возможности определить, сколько раствора удалось закачать в основание, а сколько вышло на поверхность. По оставшимся двум точкам тоже построен график с линейной зависимостью, однако сделать окончательный вывод по этому графику не представляется возможным.

Таблица

Результаты статических испытаний свай

Маркировка свай <i>Pile marking</i>	Конструкция свай <i>Structure of a pile</i>	Количество раствора, л <i>Amount of solution, l</i>	Несущая способность, кН <i>Load-bearing capacity, kN</i>
I-I	Однолопастная <i>Single-blade pile</i>	51	26
I-II		96	35
I-III		113	42
I-IV		0	10
II-I	Двухлопастная <i>Two-blade pile</i>	56	52
II-II		220	40
II-III		229	62
II-IV		0	23

Составлено авторами

Можно только предполагать, что зависимость будет тоже линейной. Следует отметить, что для обоих случаев должен быть предел роста несущей способности, который будет определяться прочностью укрепленного массива грунта на сжатие.

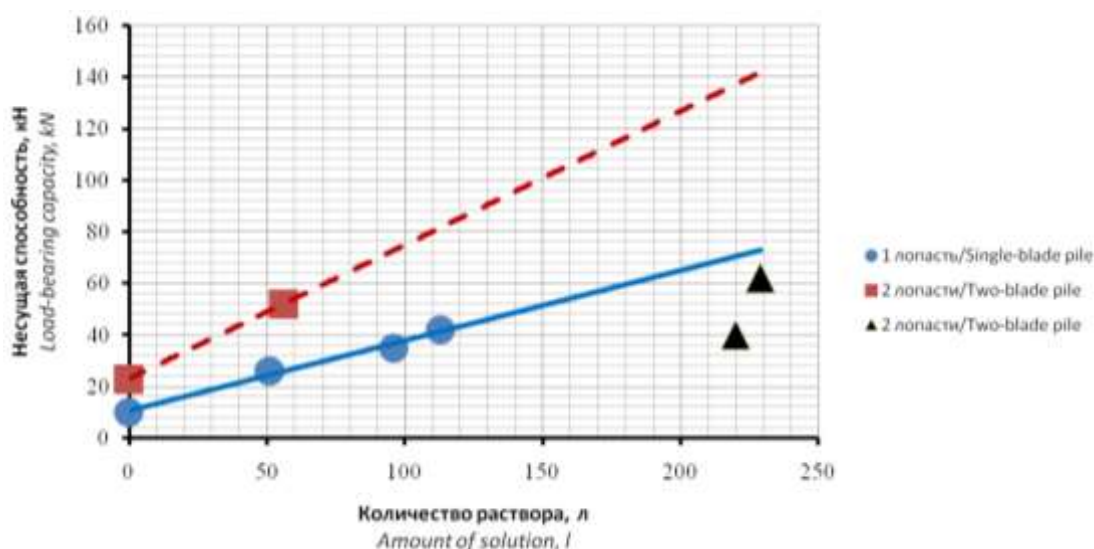


Рисунок 8. График зависимости несущей способности винтовых свай от количества раствора (составлено авторами)

Для оценки формы и границ области закреплённого грунта в основании свай через год были откопаны две сваи (однолопастная и двухлопастная). Откопка грунта выполнялась вручную таким образом, чтобы траншея вскрывала сечение, расположенное в плоскости, проходящей через ось свай. Таким образом, удалось определить границы зоны закрепления (рис. 9). У однолопастной сваи, с определенной степенью допущения, форму закреплённого массива можно описать сферой. Форму закреплённого массива у двухлопастной сваи можно описать цилиндром, у которого на верхнем и под нижним основанием имеются две полусферы.

Одним из важных технологических параметров является определение количества требуемого рабочего раствора для создания проектного объема закреплённого массива грунта. С учетом объема пор в грунте и степени водонасыщения, при ранее высказанных допущениях о форме закреплённого массива, количество требуемого рабочего раствора (m^3) можно определить по формулам:

- для однолопастной сваи

$$V_p^I = \frac{4}{3} \pi r^3 n (1 - S_r); \quad (1)$$

- для двухлопастной сваи

$$V_p^2 = \pi r^2 n \left(h + \frac{4}{3} r \right) \cdot (1 - S_r), \quad (2)$$

где:

π — математическая константа;

r — радиус зоны закрепления, м;

h — расстояние между верхней и нижней лопастью, м;

n — пористость грунта, д.е.;

S_r — коэффициент фодонасыщения (степень влажности), д.е.

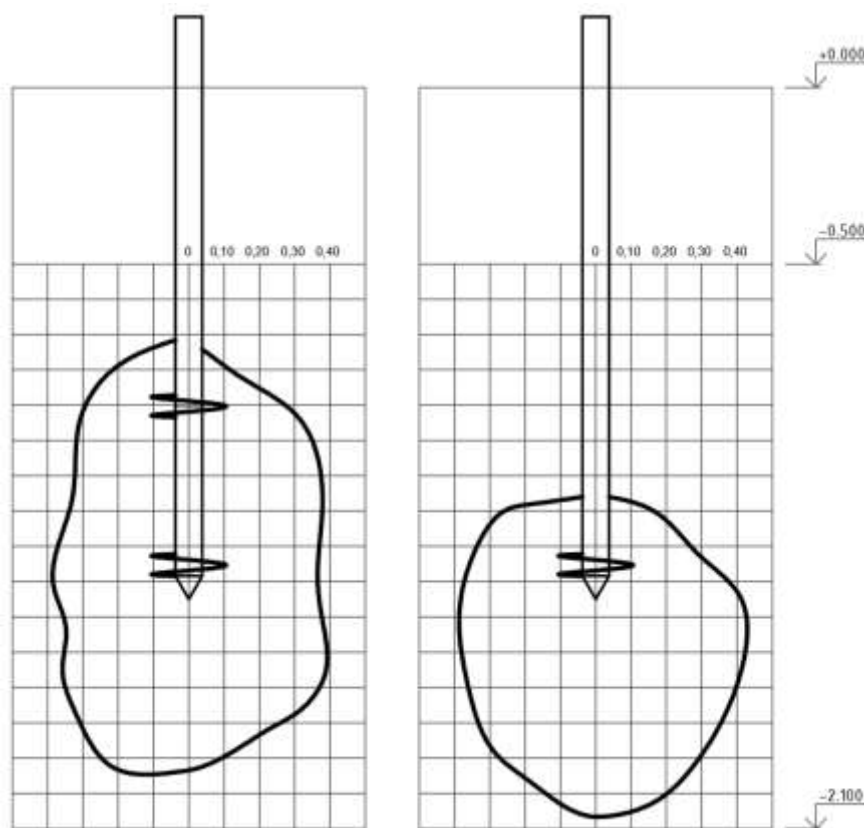


Рисунок 9. Область закреплённого грунта в основании свай II–I и I–I (составлено авторами)

В формулах 1 и 2 единица означает достижение максимального водонасыщения при закреплении, т. е. $S_r = 1$. В реальных условиях это значение редко достигает единицы, т. к. имеются закрытые поры, а также с учетом низкого давления подачи рабочего раствора не все свободные поры полностью заполняются. Для глинистых грунтов при степени влажности свыше 0,85 грунт уже может считаться водонасыщенным. Однако точно определить, какое будет значение при закреплении, весьма сложно, поэтому с запасом в сторону надежности принято значение полного водонасыщения в пределах закрепленного массива.

После откопки сваи были извлечены для осмотра. В обоих случаях та часть сваи, которая находилась в зоне закрепленного грунта, не была подвержена коррозии (рис. 10). Это связано с щелочной средой в области закрепления, что и создало условия для остановки коррозионных процессов. Вышерасположенная часть сваи имела поверхностный налет из продуктов коррозии металла. У обеих свай верхняя граница зоны закрепления массива грунта была расположена на высоте одного диаметра лопасти (200 мм).



Рисунок 10. Общий вид откопанных свай: слева I–I и справа II–I (фото автора)

Заключение

Выполненные исследования показали, что предлагаемая технология усиления глинистых грунтов оснований фундаментов защелачиванием, с использованием винтовых свай, имеет ряд преимуществ.

1. Винтовые сваи можно использовать как иньектор, выполнив отверстия в зонах, где необходимо улучшить характеристики грунта основания. Это позволяет закреплять грунт только в тех зонах, где возникают наибольшие напряжения. При этом достигается наибольшая эффективность расхода рабочего раствора.
2. Оптимизируется технологический процесс закрепления и его трудоемкость, за счет исключения определенного количества операций (бурение скважин, погружение и извлечение иньекторов). Снижаются расходы на материалы за счет исключения иньекторов и уменьшения расхода рабочего раствора.
3. Сокращение стоимости и продолжительности работ по закреплению грунтов позволяет ускорить ввод объекта в эксплуатацию, что повышает конкурентоспособность.
4. Закрепленный массив грунта обеспечивает дополнительную защиту конструкций от коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Polishchuk A.I. Engineering Method of Calculating the Settlement of Two-Bladed Screw Pile in Clayey Soil / A.I. Polishchuk, F.A. Maksimov // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2018. — Т. 54, № 6. — С. 377–383. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35516260>. — DOI: [10.1007/s11204-018-9484-6](https://doi.org/10.1007/s11204-018-9484-6). — EDN: [OYPQFZ](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35516260). (дата обращения: 12.04.2026).
2. Полищук А. И. Совершенствование конструкции винтовых свай для фундаментов временных зданий / А. И. Полищук, Ф. А. Максимов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2016. — № 4. — С. 37–40. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27330545>. — EDN: [XABYAB](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27330545). (дата обращения: 12.04.2026).
3. Алексеев А. Г. Опыт применения многолопастных винтовых свай в пылевато-глинистом грунтовом основании / А. Г. Алексеев, С. Г. Безволев, П. М. Сазонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2018. — № 6. — С. 14–20. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36956371>. — EDN: [YWZHNB](https://elibrary.ru/item.asp?id=36956371). (дата обращения: 12.04.2026).
4. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства / В. Н. Железков. — СПб.: Прагма, 2004. — 124 с. — URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_736027/. (дата обращения: 12.04.2026).
5. Perko H.A. Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation / H.A. Perko. — Хобокен: John Wiley & Sons, 2009. — 528 с. — URL: https://books.google.ru/books/about/Helical_Piles.html?id=3u6hS4rMUX4C. (дата обращения: 12.04.2026).
6. Опыт разработки эффективных решений фундаментов для шумозащитных экранов с применением винтовых свай / А. О. Глазачев, С. Ю. Павлов, И. Г. Овчинников [и др.] // Транспортные сооружения. — 2024. — Т. 11, № 4. — URL: <https://t-s.today/PDF/07SATS424.pdf>. — DOI: [10.15862/07SATS424](https://doi.org/10.15862/07SATS424). — EDN: [OREDVF](https://t-s.today/PDF/07SATS424.pdf). (дата обращения: 12.04.2026).
7. Волков Ф. Е. Роль растворов едкой щелочи в процессе формирования микроструктуры грунтобетона / Ф. Е. Волков // Строительные материалы. — 2003. — № 10. — С. 44–46. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9558256>. — EDN: [IBEGIN](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9558256). (дата обращения: 12.04.2026).
8. Волков Ф. Е. Укрепление водонасыщенных глинистых грунтов растворами гидроксида натрия высоких концентраций / Ф. Е. Волков // Инженерная геология. — 2012. — № 4. — С. 51–59. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26109377>. — EDN: [VZJDKB](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26109377). (дата обращения: 12.04.2026).
9. Авторское свидетельство № 804685 А1 СССР, МПК E02D 3/12, C09K 17/00. Способ укрепления лессового грунта: № 2717678: заявл. 25.01.1979; опубл. 15.02.1981 / Ф. Е. Волков, С. Д. Воронкевич, Р. И. Злочевская; заявитель Научно-исследовательский институт промышленного строительства. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40009987>. — EDN: [RXILVI](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40009987). (дата обращения: 12.04.2026).
10. Авторское свидетельство № 1521830 А1 СССР, МПК E02D 3/12. Способ укрепления грунта: № 4330471: заявл. 18.11.1987; опубл. 15.11.1989 / Ф. Е. Волков, Е. Н. Самарин; заявитель Уфимский научно-исследовательский и конструкторский институт промышленного строительства. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40719009>. — EDN: [UVWEVG](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40719009). (дата обращения: 12.04.2026).

11. Пятидесятилетний путь института "БашНИИстрой" – история становления и развития строительной науки Республики Башкортостан. Сообщение 3. Становление и развитие научного направления "Грунтоведение и искусственные основания / Ф. Е. Волков, Л. Н. Гера, З. З. Самигуллина, А. И. Габитов // Башкирский химический журнал. — 2005. — Т. 12, № 3. — С. 119–122. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26067577>. — EDN: [VYLJBD](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26067577). (дата обращения: 12.04.2026).
12. Voronkevich S. D. Engineering geochemistry: Problems and applications / S. D. Voronkevich // Applied Geochemistry. — 1994. — Т. 9, № 5. — С. 553–559. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31098435>. — DOI: [10.1016/0883-2927\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0883-2927(94)90017-5). — EDN: [XOMIKW](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=31098435). (дата обращения: 12.04.2026).
13. Воронкевич С. Д. Химическое закрепление лессовых грунтов оснований: новые подходы и методы решения / С. Д. Воронкевич, Т. Т. Абрамова, Н. А. Ларионова [и др.] // Инженерная геология: теория, практика, проблемы. — Москва: МГУ, 1993. — С. 52–71. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1260549/>. (дата обращения: 12.04.2026).
14. Руководство по лабораторной оценке строительных свойств глинистых грунтов при взаимодействии с щелочными и кислыми растворами / С. Д. Воронкевич, Р. С. Зиангиров, Р. И. Злочевская [и др.]. — М.: Стройиздат, 1987. — 36 с. — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293768/4293768283.pdf>. (дата обращения: 12.04.2026).
15. Воронкевич С. Д. О щелочной обработке грунтов в инженерных и экологических целях / С. Д. Воронкевич, Н. А. Ларионова, Е. Н. Самарин // Сергеевские чтения. — М.: Изд-во "ГЕОС", 2002. — Вып. 4. — С. 18–23. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/3511123/>. (дата обращения: 12.04.2026).
16. Воронкевич С. Д. Исследование механизма взаимодействия лессовых грунтов и их компонентов со щелочными растворами / С. Д. Воронкевич, Н. А. Ларионова, Е. Н. Самарин // Сергеевские чтения. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития. — М.: Изд-во "ГЕОС", 2004. — Вып. 6. — С. 31–34. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1242928/>. (дата обращения: 12.04.2026).
17. Воронкевич С. Д. Особенности взаимодействия компонентов лессовых грунтов со щелочными растворами / С. Д. Воронкевич, Н. А. Ларионова, Е. Н. Самарин // Инженерная геология массивов лессовых грунтов: труды Международной научной конференции. — М.: МГУ, 2004. — С. 123–124. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1242882/>. (дата обращения: 12.04.2026).
18. Воронкевич С. Д. Опыт физико-химического моделирования сильнощелочных аномалий в глинистых грунтах / С. Д. Воронкевич, Е. Н. Самарин // Геохимия техногенеза: тезисы докладов II Всесоюзного совещания, Минск, 2–4 апреля 1991. — С. 53–55. — URL: <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/1463314/>. (дата обращения: 12.04.2026).
19. Взаимодействие глинистых и лессовых пород с концентрированными щелочными растворами. Часть 1. Химическое преобразование состава пород / Р. И. Злочевская, Ф. Е. Волков, Т. Г. Макеева [и др.] // Инженерная геология. — 1990. — № 2. — С. 33–51. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1417581/>. (дата обращения: 12.04.2026).

20. Особенности фильтрации и динамической сорбции щелочных растворов в глинистых грунтах / Т. Г. Макеева, Р. И. Злочевская, Ф. Е. Волков [и др.] // Инженерная геология. — 1994. — № 2. — С. 85–103. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1417552/>. (дата обращения: 12.04.2026).
21. Самарин Е. Н. К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла / Е. Н. Самарин, С. Д. Воронкевич, Н. А. Ларионова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2001. — № 2. — С. 149–157. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1240372/>. (дата обращения: 12.04.2026).
22. Самарин Е. Н. Современные инъекционные материалы и их использование для улучшения свойств грунтов / Е. Н. Самарин // Геотехника. — 2012. — № 4. — С. 4–12. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18354803>. — EDN: [PLRCTP](#). (дата обращения: 12.04.2026).
23. Samarin E.N. The influence of real kaolinite structure on kinetics of its inter-action with alkaline solutions at 250C / E.N. Samarin, V.G. Shykov, Z.A. Krivosheeva // Proceeding of the 7th Euroclay conference, Dresden, Germany, August 26–30, 1991. — Greifswald, 1991. — Т. 3. — С. 915–920. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1463098/>. (дата обращения: 12.04.2026).
24. Волков Ф. Е. Укрепление текучепластичного суглинка основания столбчатых фундаментов технологической этажерки отделения производства фенола и ацетона раствором гидроксида натрия / Ф. Е. Волков, А. А. Гера // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций, Москва, 26–29 ноября 2019 года. — Москва: Геомаркетинг, 2019. — С. 436–441. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41891141>. — EDN: [GSTLYH](#). (дата обращения: 12.04.2026).
25. Волков Ф. Е. Повышение несущей способности мягкопластичного суглинка основания плитного фундамента многоэтажного жилого дома защелачиванием / Ф. Е. Волков, А. А. Гера // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций, Москва, 26–29 ноября 2019 года. — Москва: Геомаркетинг, 2019. — С. 50–56. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41891075>. — EDN: [OBJBSS](#). (дата обращения: 12.04.2026).
26. Волков Ф. Е. Подготовка глинистого основания фундаментной плиты пристраиваемого здания к существующему корпусу методом защелачивания / Ф. Е. Волков, А. А. Гера // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, Москва, 11–14 декабря 2018 года. — Москва: ООО «Геомаркетинг», 2018. — С. 65–71. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37120400>. — EDN: [PQDZEL](#). (дата обращения: 12.04.2026).
27. Волков Ф. Е. Использование метода защелачивания для укрепления водонасыщенных аллювиальных суглинков основания многоэтажного жилого дома / Ф. Е. Волков // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 23–24 марта 2015 года. Том Выпуск 17. — Москва: Российский университет дружбы народов, 2015. — С. 117–124. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23847229>. — EDN: [UBWBRD](#). (дата обращения: 12.04.2026).

28. Волков Ф. Е. Стабилизация осадок строящихся зданий методом зашелачивания / Ф. Е. Волков, А. А. Гера // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 10. — С. 63–67. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24370332>. — EDN: [UNHRWP](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24370332). (дата обращения: 12.04.2026).
29. Larionova N. A. Chemical grouting of subsidence loess by sodium silicate solutions with low weight ratio / N. A. Larionova, E. N. Samarin, S. D. Voronkevich, T. T. Abramova // Geotechnical Special Publication, New Orleans, LA, 15–18 February 2012. — New Orleans, LA, 2012. — С. 1968–1971. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21897758>. — DOI: [10.1061/9780784412350.0171](https://doi.org/10.1061/9780784412350.0171). — EDN: [SLEXIP](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21897758). (дата обращения: 12.04.2026).
30. Макеева Т. Г. Закономерности миграции щелочных растворов высоких концентраций в глинистых грунтах / Т. Г. Макеева, Р. И. Злочевская, В. А. Трофимов // Геоэкология. — 1995. — № 2. — С. 80–85. — URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/1417534/>. (дата обращения: 12.04.2026).
31. Ларионова Н. А. Многообразие состава лёссовых грунтов и методы улучшения их свойств / Н. А. Ларионова // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: материалы научно-практической конференции, Москва, 13–14 апреля 2017 года. — Москва: Геомаркетинг, 2017. — С. 267–273. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30505488>. — EDN: [ZROIPZ](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30505488). (дата обращения: 12.04.2026).
32. Использование метода зашелачивания для укрепления водонасыщенных грунтов основания резервуара / А. А. Гера, Н. В. Гера, Р. А. Харисов [и др.] // Глобальный научный потенциал. — 2015. — № 8(53). — С. 66–70. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24356798>. — EDN: [UMZZRF](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24356798). (дата обращения: 12.04.2026).
33. Патент № 2800910 С1 Российская Федерация, МПК E02D 3/12. Способ закрепления слабых водонасыщенных лёссовых и глинистых грунтов: № 2022129024: заявл. 08.11.2022; опубл. 31.07.2023 / Р. Р. Хасанов, И. Ф. Кантемиров, М. У. Гизулин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54340130>. — EDN: [GOZSMS](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54340130). (дата обращения: 12.04.2026).
34. Шестаков В. Н. Особенность контроля прочности грунтов основания фундаментов, укрепленных способом управляемого зашелачивания / В. Н. Шестаков, И. В. Шестаков, А. В. Шидин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, 03–04 декабря 2020 года. — Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. — С. 600–604. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44737411>. — EDN: [KMWXQN](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44737411). (дата обращения: 12.04.2026).
35. Шестаков В. Н. Перспективная технология обеспечения прочности и комплексной устойчивости эксплуатируемого земляного полотна из глинистых грунтов / В. Н. Шестаков, И. В. Шестаков // Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог, Москва, 16–17 декабря 2015 года. — Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

- (МАДИ), 2015. — С. 207–212. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39551105>. — EDN: [NORWDJ](#). (дата обращения: 12.04.2026).
36. Семашкин К. В. Обоснование конструктивно-технологических параметров противофльтрационного экрана эксплуатируемых подтопленных насыпей дорог / К. В. Семашкин, В. Н. Шестаков // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки: материалы международной научно-практической конференции, Омск, 15–16 декабря 2014 года. Том Книга 1. — Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2014. — С. 121–127. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22724719>. — EDN: [RFOMAW](#). (дата обращения: 12.04.2026).
37. Самойленко А. Б. Нанотехнология ликвидации пучинообразования глинистых грунтов земляного полотна управляемым защелачиванием / А. Б. Самойленко, В. Н. Шестаков // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2013. — № 3(31). — С. 87–92. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19032658>. — EDN: [QAMUFB](#). (дата обращения: 12.04.2026).
38. Патент № 2407859 С1 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, C09K 17/00. Способ ликвидации пучинообразования дорожной конструкции управляемым защелачиванием грунта: № 2009121985/03: заявл. 08.06.2009; опубл. 27.12.2010 / А. Б. Самойленко, В. М. Глушков, В. Н. Шестаков; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)". — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37709463>. — EDN: [TJCTFN](#). (дата обращения: 12.04.2026).

Khamitov Ruslan Fanirovich

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
E-mail: khamitovgf@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0995-8260>

Glazachev Anton Olegovich

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
E-mail: anton.glazachev@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4036-3155>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=989565
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AEZ-4308-2022>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56194737100>

Papilin Aleksandr Evgenevich

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
E-mail: a.papilin90@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3150-0241>

Marusin Roman Aleksandrovich

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
E-mail: marusinr@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6201-6883>

Improvement of the technology for strengthening clay soils in foundation bases using screw piles

Abstract. The article addresses the issue of improving the technology for stabilizing clayey soils in foundation bases using screw piles. The relevance of the topic stems from the need to develop cost-effective methods for stabilizing pile bases composed of clayey soils with insufficient bearing capacity in the construction of transport infrastructure. Traditional methods of injection stabilization (preliminary soil stabilization via injectors followed by pile installation, or stabilization after pile installation) have several drawbacks: high solution consumption, the need for additional technological operations, and unpredictability in the formation of the stabilization zone. As a rational solution, it is proposed to use the screw pile itself as an injector. To achieve this, holes are made in the pile shaft, through which a stabilizing solution is supplied under low pressure (using the impregnation method) into the areas of the soil base where maximum stresses develop. The study employed the method of alkalization of clay soils using an aqueous sodium hydroxide solution. Full-scale tests were conducted at a pilot site. Different volumes of the solution were injected into the piles, and after the treated soil gained sufficient strength, static pile load tests were performed. It was found that there is a linear relationship between the increase in load-bearing capacity and the volume of the injected solution. The shapes of the stabilization zone were determined. Analytical formulas were proposed to calculate the required volume of the working solution, taking into account the porosity and moisture content of the soil. An additional advantage was noted: the alkaline environment in the stabilization zone prevents corrosion of the pile metal. The developed technology allows for reducing material consumption, eliminating a number of operations (drilling, insertion and removal of injectors), lowering the cost and duration of the work, as well as improving the corrosion resistance of the structures.

Keywords: helical piles; foundations; soil stabilization; alkalization; injection; load-bearing capacity improvement; transportation structures