

УДК 624.131.24

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2025-9-??-??>

С.С. ЗУЕВ¹, зам. ген. директора;
О.А. МАКОВЕЦКИЙ², д-р техн. наук

¹ АО «Нью Граунд» (614081, г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35)

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

Опыт устройства и испытаний грунтоцементных свай в просадочных грунтах

На протяжении ряда лет компанией «Нью Граунд» ведутся опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы по расширению области применения технологии струйной цементации в различных типах грунтовых оснований, разработке методов контроля и основных параметров качества выполняемых работ, для обеспечения в том числе жилищного строительства в юго-западной части РФ в условиях залегания массивов просадочных грунтов первого и второго типов. Производство работ по устройству грунтоцементных свай в просадочных грунтах твердой и полутвердой консистенции имеет ряд технологических особенностей по сравнению со слабыми водонасыщенными грунтами, и требует расширенных методов контроля качества конструктивных и технологических решений. В предлагаемых материалах описан опыт производства опытно-конструкторских работ по устройству и испытаниям грунтоцементных свай в просадочных грунтах второго типа.

Ключевые слова: просадочные грунты, грунтоцементные сваи, статические испытания.

Для цитирования: Зуев С.С., Маковецкий О.А. Опыт устройства и испытаний грунтоцементных свай в просадочных грунтах // *Жилищное строительство*. 2025. № 9. С. 00–00.
<https://doi.org/10.31659/0044-4472-2025-9-00-00>

Поступила в редакцию 00.00.2025 г.

Одобрена для публикации 00.00.2025 г.

S.S. ZUEV¹, Deputy General Director;

O.A. MAKOVETSKY², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ JSC “New Ground” (35, Kronshtadskaya Street, Perm, 614081, Russian Federation)

² Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Prospect, Perm, 614000, Russian Federation)

The Jet-Grouting Piles Construction and Testing in Collapsing Soils Experience

For a number of years the company New Ground has been providing research and development work to expand the scope of jet cementation technology in various soil types, to develop monitoring methods and basic quality parameters of work performed, including housing construction in the southwest of the Russian Federation in conditions of the first and second types collapsing soil. The jet-grouting piles construction in collapsing soils of solid and semi-solid consistency has a number of technological features compared to weak water-saturated soils, and requires advanced quality control methods for structural and technological solutions. The presented materials describe the experience of the development work production on the jet-grouting piles installation and testing in collapsing soils of the second type.

Keywords: collapsing soils, jet-grouting piles, static tests.

For citation: Zuev S.S., Makovetsky O.A. The jet-grouting piles construction and testing in collapsing soils experience. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2025. No. 9, pp. 00–00. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2025-9-00-00>

Received 00.00.2025 г.

Approved for publication 00.00.2025 г.

Широкое развитие жилищного строительства в юго-западной части Российской Федерации происходит в условиях залегания на площадках строительства значительных массивов просадочных грунтов первого и второго типов [1]. Для обеспечения эксплуатационной надежности зданий и сооружений в этих условиях, как правило рассматриваются два основных принципа (Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных ма-

кропористых грунтах. М.: Стройиздат, 1979. 271 с.): *первый* – ликвидация просадочных свойств просадочной толщи (замачиванием, уплотнением, закреплением или армированием) (Гольдштейн М.Н. Некоторые результаты новых исследований просадочных грунтов и способов строительства на них. Геотехника в строительстве. 1996. Вып. 1. С. 3–12), [2–4]; *второй* – прорезка просадочной толщи свайными конструкциями и их опирание на не просадочные слои

грунта (Абелев Ю.М. Изготовление грунтовых свай в лессовых грунтах. Строительная промышленность. 1936. № 4. С. 4–8), [5].

Одним из методов выполнения свайных фундаментных конструкций в таких грунтовых условиях является устройство грунтоцементных свай, выполняемых по технологии струйной цементации грунта [6, 7].

Производство работ по устройству грунтоцементных свай в грунтах твердой и полутвердой консистенции имеет ряд технологических особенностей по сравнению со слабыми водонасыщенными грунтами, и требует расширенных методов контроля качества конструктивных и технологических решений. В частности, требуется выполнение статических испытаний свай в условиях замачивания массива просадочной толщи грунтов.

На протяжении ряда лет компанией «Нью Граунд» ведутся опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы по расширению области применения технологии струйной цементации в различных типах грунтовых оснований, разработке методов контроля и основных параметров качества выполняемых работ, основные положения которых используются для разработки нормативной документации [8, 9]. В предлагаемых материалах описан опыт производства опытно-конструкторских работ по устройству и испытаниям грунтоцементных свай в просадочных грунтах второго типа.

Инженерно-геологические условия площадки и конструктивное решение фундаментов

Площадка строительства расположена в жилом районе «Левенцовский» г. Ростов-на-Дону (рис. 1). В геоморфологическом отношении исследуемая территория находится в пределах Понтического плато. В геолого-литологическом строении до глубины 30 м, принимают участие четвертичные техногенные, элювиальные и делювиальные отложения, представленные следующими разностями грунтов – комплекс верхнеплейстоцен-голоценовых (Q_{II-IV}) делювиальных (d); элювиальных (e) и техногенных (t) отложений представлен суглинками твердой и полутвердой консистенции и глинами твердой консистенции, сверху перекрытыми суглинками гумусированными и насыпными грунтами (рис. 2):

Слой 3 (d_{III}) Суглинок желто-бурый, от слабо макropористого до макropористого, твердый, со стяжениями и мучнистыми включениями карбонатов. Распространен повсеместно, залегает до глубин 1,5–11,3 м, мощность слоя 0,7–9,9 м. Обладает просадочными свойствами, относительная просадочность $\varepsilon_{sl}=0,051–0,077$, начальное просадочное давление $p_{sl}=180–185$ КПа. Суммарная просадка грунта при замачивании от собственного веса составляет

6–14,7 см, что позволяет отнести эту часть территории ко второму типу грунтовых условий по просадочности (рис. 3). Значение модуля деформации грунта природной влажности по результатам статического зондирования составляет 18,8 МПа. В качестве расчетных принимаются следующие значения модулей деформации: грунта природной влажности 17,8 МПа; водонасыщенного 11,2 МПа. Степень изменчивости сжимаемости суглинков вследствие замачивания равна 1,59.

Слой 4 (d_{III}) – суглинок бурый, плотный, твердый, с редкими включениями конкреций карбонатов. Распространен повсеместно, с глубины 1,5–5,5 м до глубины 3,7–10,7 м, мощность слоя 0,9–8 м, а также с глубины 4,1–11,5 м до глубины 10,5–14,3 м, мощность слоя 0,8–5,8 м. Слой 5 (d_{II}) – суглинок бурый, плотный, полутвердый, с редкими включениями конкреций карбонатов. Распространен повсеместно, залегает до глубин 15,4–24,8 м, мощность слоя 4,9–15 м.



Рис. 1. Жилой микрорайон Левенцовский в г. Ростов-на-Дону. Общий вид

Fig. 1. Leventsovsky residential district in Rostov-on-Don. General view

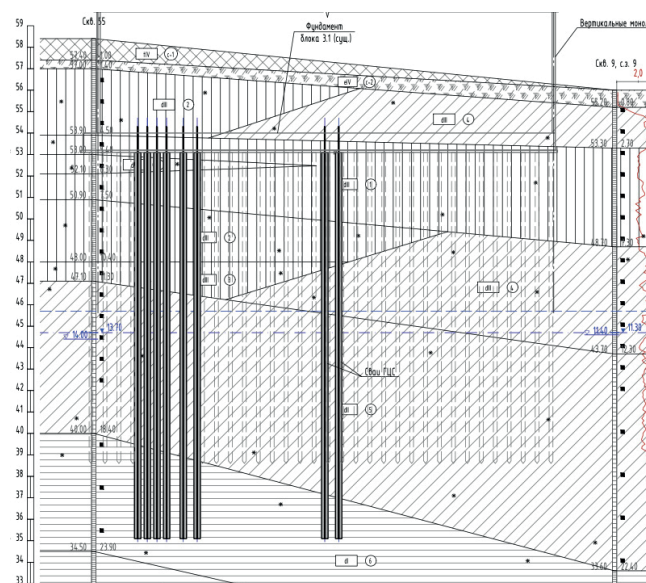


Рис. 2. Инженерно-геологические условия площадки строительства и конструктивное решение фундаментов

Fig. 2. Engineering and geological conditions of the construction site and the foundations structural solution

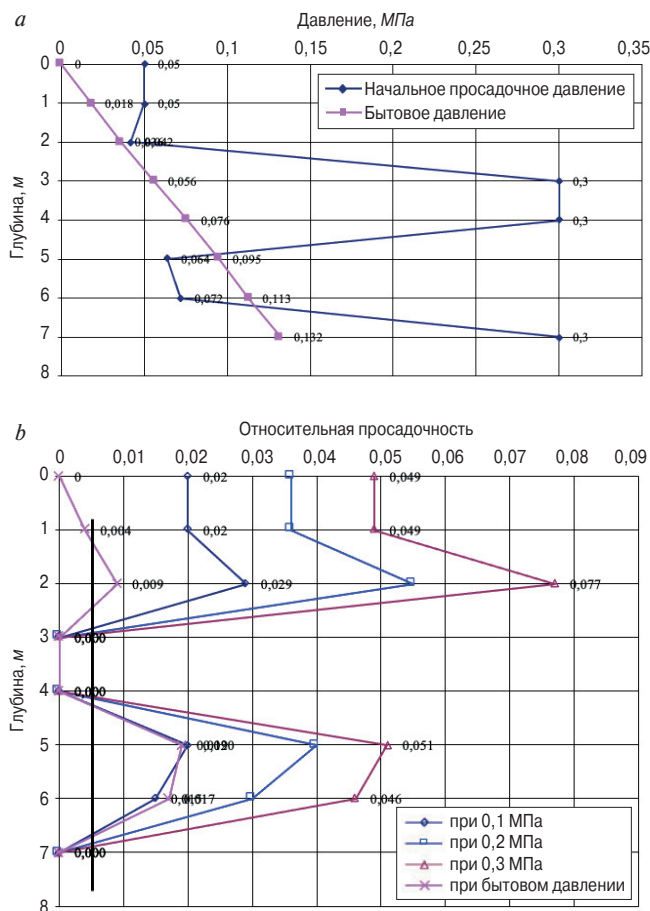


Рис. 3. Изменение бытового и начального просадочного давления по глубине (а); изменение относительной просадочности грунта по глубине (б)

Fig. 3. Change in household and initial subsidence pressure by depth (a); change in soil relative subsidence by depth (b)

Слой 6 (d_1) – глина бурая, плотная, твердая, с редкими включениями конкреций карбонатов. Распространена повсеместно, залегает до разведанных глубин 30 м, вскрытая мощность слоя 5,2–14,6 м.

Фоновая сейсмичность для сооружений нормального уровня, для массового строительства по карте ОСР-2015(А) для г. Ростов-на-Дону, согласно СП 14.13330.2018 «СНиП II-7–81* Строительство в сейсмических районах», составляет 6 баллов. По карте ОСР-2015 (В) сейсмичность составляет 6 баллов. Грунты по сейсмическим свойствам относятся ко 2 категории.

Рассматриваемое здание имеет 19 надземных и один подземный этажи. Размеры здания в плане 42,5×18,9 м, высота 69,1 м. Фундамент – монолитная железобетонная плита. Толщина плиты 0,9 м. Глубина заложения низа фундаментной плиты 4 м. Фундаментная плита подкреплена грунтоцементными сваями, выполняемыми через технологические отверстия в существующей фундаментной плите. Грунтоцементные сваи длиной 18 м, диаметром 0,6 м. Жесткость ствола сваи 34700 кН/м, допускаемая на-

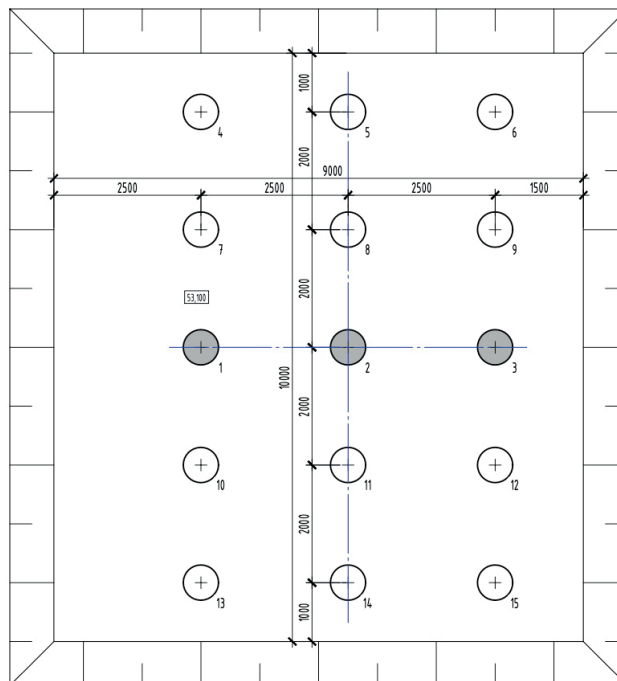


Рис. 4. Схема расположения опытных и анкерных свай
Fig. 4. Layout of experimental and anchor piles

грузка на сваю – 750 кН. Максимальная величина вертикального перемещения сваи 30 мм.

Технология выполнения грунтоцементных свай

Сваи устраиваются по однокомпонентной технологии струйной цементации грунтов «Jet grouting», основанной на использовании энергии струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания природного грунта с частичным его замещением цементным раствором. Закрепляющий раствор – цементный, с В/Ц=1, плотностью $\rho=1,51$ г/см³. Расход цемента 300 кг/п. м цементации. Цемент сульфатостойкий, класса не ниже 32.5 по ГОСТ 22266–2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия». Для ускорения схватывания предусмотрена добавка жидкого стекла в объеме 2% от массы цемента. Давление нагнетания раствора 40–45 МПа. Для исключения образования зазора между грунтоцементными сваями и фундаментом в связи с осадкой грунтобетона в процессе твердения предусмотрена опрессовка голов свай. Опрессовка производится через перфорированную часть армирующей трубы на участке длиной 1 м. Закрепляющий раствор – цементный, с В/Ц=0,8; плотностью $\rho=1,6$ г/см³. Данная технология выполнения грунтоцементных свай была впервые успешно применена компанией «Нью Граунд» при усилении фундаментов административного здания в Москве [10]. Проектные физико-механические характеристики грунтоцемента: прочность при одноосном сжатии $R_{stb}=5$ МПа, модуль деформации $E_{stb}=500$ МПа.

Опытно-производственные работы

Поскольку выполнение контроля при устройстве свай сквозь существующую фундаментную плиту сложно произвести в полном объеме, выполнены опытно-производственные работы в непосредственной близости от площадки строительства, на участке со сходными инженерно-геологическими условиями. В состав работ вошли следующие этапы: устройство опытных (три элемента) и анкерных (пятнадцать элементов) грунтоцементных свай (схема расположения элементов приведена на рис. 4); определение диаметров сформированных свай; определение сплошности ствола свай, прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента; испытание опытных

свай статической нагрузкой с замачиванием слоя просадочных грунтов.

Определение формы и размеров поперечных сечений выполненных грунтоцементных свай выполнялось в откопанном котловане. Контроль диаметров свай ГЦС выполнялся в откопанном котловане. Результаты замеров: опытная свая № 1 $\varnothing 500\text{--}550$ мм (указаны значения диаметров в противоположных направлениях); опытная свая № 2 $\varnothing 500\text{--}600$ мм (указаны значения диаметров в противоположных направлениях); опытная свая № 3 $\varnothing 550$ мм. Фотофиксация оголовков свай приведена на рис. 5.

Отбор кернов для определения прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента вы-



Рис. 5. Контроль поперечного сечения грунтоцементных свай

Fig. 5. Control of the jet-grouting piles cross-section

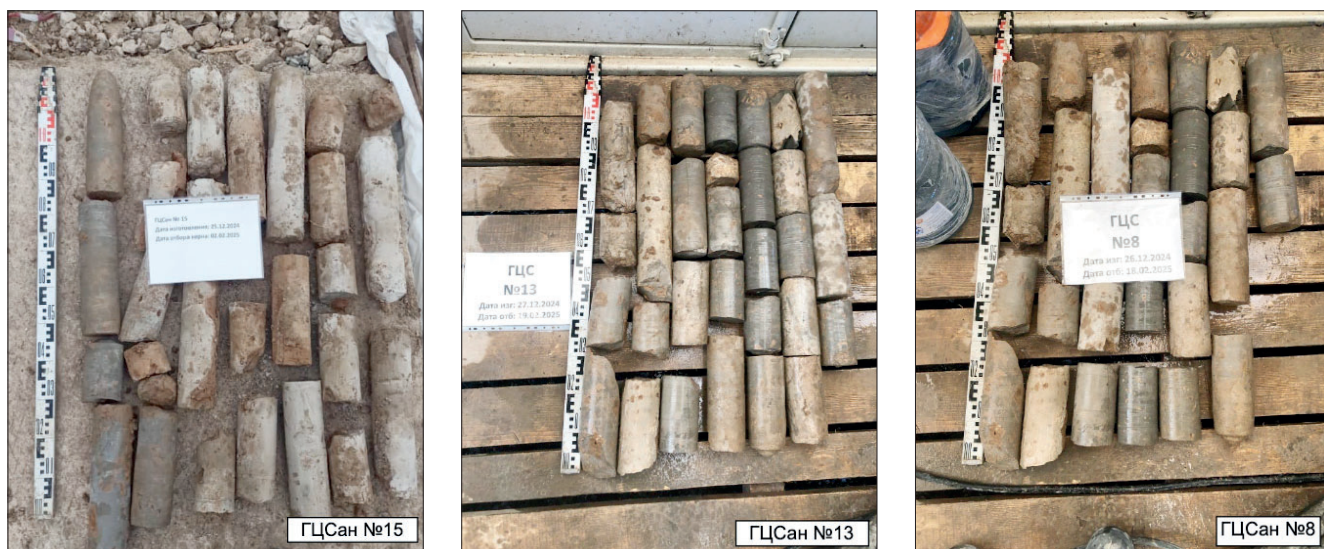


Рис. 6. Отобранные керны, для контроля сплошности ствола грунтоцементной сваи, определения механических характеристик грунтоцемента

Fig. 6. Selected kerns to control of the jet-grouting pile trunk continuity, to determine the cement mechanical characteristics

полнялся путем бурения опытных скважин в теле анкерных свай (№№ 8, 13, 15). Бурение велось колонковым способом со сплошным отбором керна (диаметр бурового инструмента 112 мм) с одновременной визуальной оценкой качества закрепления (сплошность и однородность). Результаты бурения опытных скважин: интервал абсолютных отметок, с которых выбурен керн – от 53,1 до 46,1 м, длина выбуренного керна 6,5–7,5 м, далее был зафиксирован выход бурового инструмента из тела сваи. Грунтобетон встречен на всем интервале отбора, выход керна составил ориентировочно 80–90%. Фотофиксация образцов выбуренного керна приведена на рис. 6.

Оценка прочности материала свай осуществлялась путем лабораторных испытаний образцов, отобранных из выбуренных кернов, в среднем по одному образцу с каждого погонного метра опытной скважины. Общее количество образцов составило 24 шт. Испытания проводились в независимой лаборатории ООО «ЮГ-ГЕОБУР», расположенной в ст. Ленинградская (Краснодарский край). Испытания образцов проводились в возрасте 56 сут. Определение предела прочности на сжатие (R_{stb}) и модуля упругости (E_{stb}) выполнялось в соответствии с требованиями ГОСТ 21153.2–84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии» и ГОСТ 28985–91 «Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии». Диапазон изменения величины прочности грунтоцемента при сжатии составил 8,2–11,3; среднее значение, определенное статистической обработ-

кой результатов, составило 9,23 МПа. Диапазон изменения величины модуля упругости грунтоцемента составил 880–930 МПа, среднее значение 915 МПа. Требуемые проектом величины прочности при сжатии и модуля деформации материала сваи обеспечены.

Ряд исследований показывают влияние режима замачивания просадочной толщи (скорости и направления фронта грунтового потока) на изменение физических и механических характеристик сжимаемой толщи под фундаментными конструкциями (Винников Ю.Л., Косточка Н.А. Влияние предварительного замачивания лессового массива на показатели сжимаемости грунта. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. № 1. С. 11–20; Юрченко С.Г., Будикова А.М. Методика расчета ожидаемой совместной деформации гидротехнических сооружений и их лессовых оснований с учетом области замачивания. Вестник ТГАСУ. 2008. № 2. С. 170–180; Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Кузьменко И.Ю. Особенности деформационного поведения замедленно-просадочных лессовых грунтов в основаниях инженерных сооружений при техногенном обводнении. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2016. № 3. С. 34–45). В связи с этим при проведении испытаний свай статической нагрузкой замачивание просадочных грунтов выполнялось в два этапа: этап 1 – интенсивное замачивание просадочных грунтов вокруг сваи № 3 (допускается по п. 4.7 ГОСТ 5686–2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» для определения влияния и эффективности технологии размыва); этап 2 – замачивание

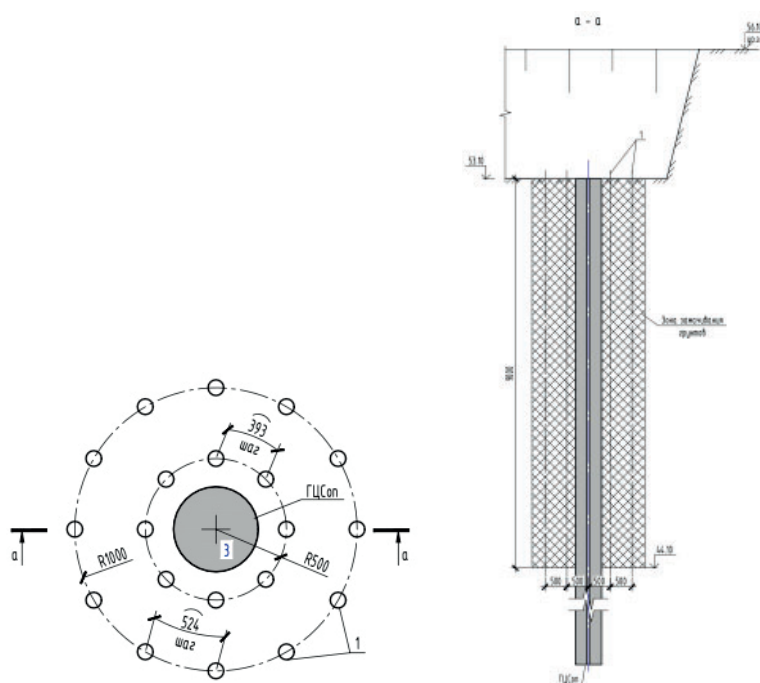


Рис. 7. Схема и общий вид процесса интенсивного замачивания массива просадочного грунта
Fig. 7. Scheme and general view of the collapsing soil mass intensive soaking process

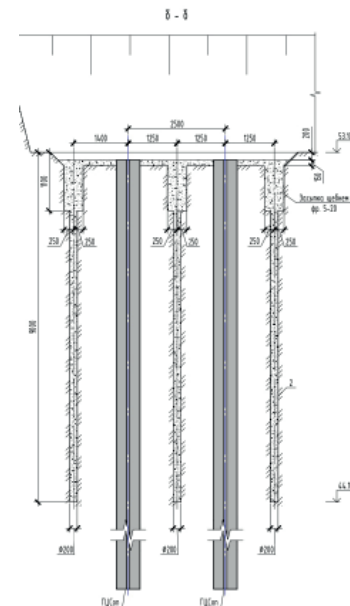
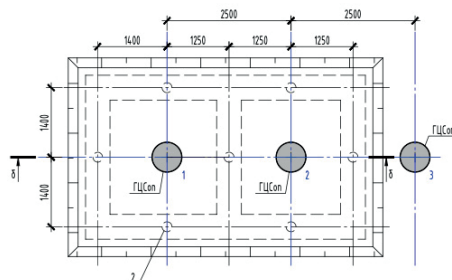


Рис. 8. Схема и общий вид процесса долговременного замачивания грунта
Fig. 8. Scheme and general view of the long-term soil soaking process

просадочных грунтов вокруг свай № 1, 2 по схеме, приведенной в приложении Г ГОСТ 5686–2020.

Интенсивное замачивание просадочных грунтов вокруг сваи № 3 производилось через сеть технологических скважин диаметром 112 мм путем нагнетания воды по технологии струйной цементации грунтов. Шаг скважин – до 500 мм; глубина зоны размыва – 9 м (из условия гарантированной прорезки толщи просадочных грунтов). Расход воды – 400 л/1 п. м скважины. Схема и общий вид выполняемых работ приведены на рис. 7.

Замачивание просадочных грунтов вокруг свай № 1, 2 выполнялось путем налива воды в предварительно откопанные вокруг свай траншеи глубиной 1,1 м; ширина траншей 0,5 м. Для обеспечения замачивания всей просадочной толщи в уровне дна траншей предусмотрено устройство дренажных скважин диаметром 200 мм. Глубина скважин – аналогично этапу 1. После бурения скважин и экскавации грунта траншеи засыпались щебнем фракции 5–20 мм. Замачивание выполнялось в течении 9 сут до достижения необходимого водонасыщения просадочных грунтов (степень влажности не менее 0,8). Общий вид испытательной площадки и схема выполнения замачивания приведены на рис. 8.

Испытания свай статической нагрузкой проводились в возрасте не ранее 28 сут после их устройства. Испытания свай проводились до разрушения свай или до достижения предельной нагрузки. Минимальная требуемая испытательная нагрузка на сваю составила 900 кН. Оборудование и приборы для проведения испытаний: опорная конструкция для восприятия реактивных сил, служащая упором для

гидравлического домкрата – металлические балки с анкерными сваями, расстояние от испытуемой сваи до анкерных свай 2 м; устройство для нагружения сваи – гидравлический домкрат ДУ200П150 с площадью плунжера 314 см², с контролем давления по манометру ТИ-У2; реперная система для измерения перемещений сваи с измерительными приборами: три индикатора часового типа ИЧ-50 с точностью измерения вертикальных перемещений 0,01 мм. Нагружение свай производилось ступенями по 90 кН, каждая ступень нагружения удерживалась до достижения условной стабилизации вертикальных перемещений сваи.

В ходе испытаний были получены следующие данные.

Опытная свая № 1: максимальная нагрузка при испытаниях – 1080 кН, при максимальной нагрузке произошло смещение пластин опорной конструкции; несущая способность сваи – 990 кН; осадка при нагрузке 990 кН – 15,01 мм.

Опытная свая № 2: максимальная нагрузка при испытаниях – 1080 кН, при максимальной нагрузке произошло смещение опорной плиты; несущая способность сваи – 990 кН, осадка при нагрузке 900 кН – 15,6 мм.

Опытная свая № 3: максимальная нагрузка при испытаниях – 630 кН, при максимальной нагрузке произошло смещение опорной плиты и разрушение оголовка сваи; несущая способность сваи – 540 кН, осадка при нагрузке 540 кН – 14,15 мм.

Общий вид испытательной установки и график испытания свай статической нагрузкой приведен на рис. 9.

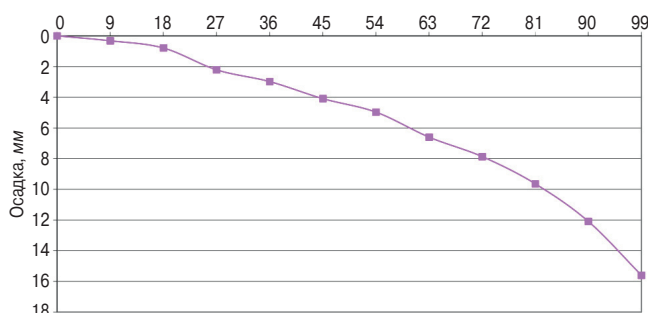


Рис. 9. Общий вид и график статических испытаний грунтоцементных свай

Fig. 9. General view and schedule of jet-grouting piles static tests

Заключение

Проведенные опытно-производственные работы подтвердили правильность выбранного конструкторского и технологического решений для обеспечения эксплуатационной надежности подземной части высотного здания, возводимой на грунтовом основании, сложенном массивом просадочных грунтов второго типа.

Технология струйной цементации грунта позволяет обеспечить в массиве твердых макропористых суглинков реализацию требуемого размера поперечного сечения и сплошность ствола грунтоцементной сваи на всем ее протяжении, что до проведения работ вызывало определенные сомнения.

Физические и механические характеристики грунтоцемента, полученные по результатам статистической обработки результатов лабораторных испытаний в 1,4–1,6 раза превышают требуемые проектные значения.

В ходе подготовки испытаний свай статической нагрузкой были опробованы два режима замачивания просадочной толщи. Отмечается, что использование режима интенсивного замачивания нецелесообразно, поскольку приводит к разрушению слоя грунта на контакте с материалом сваи, и в верхней зоне конструкция работает как свободная колонна, без взаимодействия с окружающим грунтом. Этим можно объяснить ее разрушение по материалу конструкции грунтоцементной сваи № 3 при нагрузках меньше проектных значений, хотя геометрические размеры сечения и механические характеристики материала были в пределах требуемых значениях.

Результаты испытаний грунтоцементных свай № 1, 2 в условиях медленного замачивания массива просадочного грунта до степени водонасыщения более 0,8 (что должно привести к развитию негативного трения по боковой поверхности сваи) показали, что свая обеспечивает проектную несущую способность, как по материалу, так и по грунту.

В связи с этим можно сделать вывод, что применение грунтоцементных свай, выполняемых по технологии струйной цементации грунта, может быть использовано при устройстве фундаментных конструкций в просадочных грунтах второго типа. Применение технологии струйной цементации грунта позволяет также выполнять усиление основания существующих железобетонных фундаментных плит, в случае развития неравномерных осадок и просадок грунтового основания. Это существенно расширяет возможности высотного строительства в сложных инженерно-геологических условиях.

Список литературы / References

1. Прокопов А.Ю., Ласун В.С. Оценка изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий в результате высотной застройки жилого района Левенцовский в Ростове на Дону // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2021. Вып. 1. С. 217–224. EDN: EMYFMM
1. Prokopov A.Yu., Lasun V.S. Assessment of changes in engineering, geological and hydrogeological conditions as a result of high-rise development of the Lev-entsovsky residential area in Rostov-on-Don. *Izvestiya TulGu. Nauki o Zemle*. 2021 Iss. 1, pp. 217–224. (In Russian). EDN: EMYFMM
2. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. М.: АСВ, 2012. 560 с.

2. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. Proektirovanie i ustroistvo osnovanii i fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Design and construction of foundations and foundations on subsidized soils]. Moscow: ASV, 2012. 560 p.
3. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A. Interaction of the artificial bases with Collapsing Soils. *Geotechnical Engineering in Urban Environments: Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007)*. Rotterdam: Millpress Science Publish. 2007, pp. 481–486.
4. Стешенко Д.М., Козубаль Я., Головань Р.Н., Абдураимова М.А., Зеленко А.А., Ревегук А.А. Применение комплексной технологии устройства фундаментов на просадочных грунтах при строительстве многоэтажного жилого дома в Ростове-на-Дону // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. Вып. 5 (116). С. 587–598. EDN: XQWEEH. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.5.587-598>
4. Steshenko D.M., Kozubal Ya., Golovan R.N., Abduraimova M.A., Zelenko A.A., Reveguk A.A. Application of complex technology of foundations on subsidized soils during the construction of a multi-storey residential building in Rostov-on-Don. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. Iss. 5 (116), pp. 587–598. (In Russian). EDN: XQWEEH. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.5.587-598>
5. Григорян А.А. Несущая способность и осадки буронабивных свай для высотного строительства на глинистых грунтах с учетом нового существа разрушения их оснований // *Вестник МГСУ*. 2012. № 4. С. 88–97. EDN: PABGNJ
5. Grigoryan A.A. Bearing capacity and precipitation of bored piles for high-rise construction on clay soils, taking into account the new nature of the destruction of their foundations. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 4, pp. 88–97. (In Russian). EDN: PABGNJ
6. Бройд И.И. Струйная геотехнология. М.: АСВ, 2004. 448 с. EDN: QNKJRT
6. Broyd I.I. Struinaya geotekhnologiya [Jet geotechnology]. Moscow: ASV, 2004. 448 p. EDN: QNKJRT
7. Moseley M.P. Ground improvement. London. 2004. 440 p. <https://doi.org/10.1201/9780203489611>
8. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp. 504–509. EDN: YUVLKN. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.726>
9. Зуев С.С., Маковецкий О.А. Закономерности изменения механических и фильтрационных свойств полускальных грунтов, модифицированных струйной цементацией // *Жилищное строительство*. 2024. № 9. С. 30-35. EDN: PBZKNG. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-9-30-35>
9. Zuev S.S., Makovetskiy O.A. Patterns of change in the mechanical and filtration properties of semi-basement soils modified by jet cementation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2024. No. 9, pp. 30–35. (In Russian). EDN: PBZKNG. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-9-30-35>
10. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Усиление фундаментов строящегося здания струцементными сваями на Рязанском проспекте в Москве // *Жилищное строительство*. 2014. № 9. С. 47–50. EDN: SMVCPL
10. Makovetskiy O.A., Zuev S.S. Strengthening the foundations of a building under construction with cement piles on Ryazansky Prospekt in Moscow. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 9, pp. 47–50. (In Russian). EDN: SMVCPL