

Устройство полов в подвалах при реконструкции зданий на заторфованных территориях

УДК 69.059

Невзоров Александр Леонидович

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Инженерной геологии, оснований и фундаментов» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Архангельск); e-mail: a.nevzorov@narfu.ru

Никитин Андрей Викторович

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерной геологии, оснований и фундаментов» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Архангельск); e-mail: a.nikitin@narfu.ru

Саенко Юрий Викторович

Ассистент кафедры «Инженерной геологии, оснований и фундаментов» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Архангельск); e-mail: u.saenko@narfu.ru

Статья получена: 10.01.2019. Рассмотрена: 14.01.2019. Одобрена: 21.01.2019. Опубликовано онлайн: 26.03.2019. ©РИОР

Аннотация. Рациональным способом освоения подземного пространства для устройства подземных этажей является углубление подвалов с устройством полов. При наличии в основании торфа устройство полов является сложной технической задачей.

В статье представлены способы устройства полов для подземных этажей при реконструкции зданий на заторфованной территории г. Архангельска. В торфяных грунтах применяются буронабивные, забивные и вдавливаемые сваи длиной до 8 м. Из-за длительной консолидации торфа «плавающие» полы с опиранием на грунт не применяются. Результаты численного моделирования свай по программе *PLAXIS 3D* позволяют получить графики «нагрузка-осадка», близкие к данным натурных испытаний статической нагрузкой.

Ключевые слова: полы, реконструкция, торф, сваи, численное моделирование.

Особенностью инженерно-геологических условий г. Архангельска является практически повсеместное залегание слоя торфа толщиной несколько метров. Сверху торф перекрыт техногенными отложениями, представленными, как правило, мелким песком с включениями обломков кирпича, бетона, древесины и т.п. Торф подстилается озерно-ледниковыми отложениями малой мощности, представленными слабыми глинами. Ниже залегают ледниковые и морские суглинки, которые и служат несущим слоем для свайных фундаментов зданий.

Из-за длительной консолидации торфа, залегающего в основании зданий, пол в подвале

FLOOR CONSTRUCTION IN BASEMENTS OF RECONSTRUCTED BUILDINGS ON PEATY SOILS

Alexander Nevzorov

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Engineering Geology, Bases and Foundation, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk;
e-mail: a.nevzorov@narfu.ru

Andrey Nikitin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Geology, Bases and Foundation, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk;
e-mail: a.nikitin@narfu.ru

Yuriy Saenko

Assistant professor, Department of Engineering Geology, Bases and Foundation, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk; e-mail: u.saenko@narfu.ru

Manuscript received: 10.01.2019. **Revised:** 14.01.2019. **Accepted:** 21.01.2019. **Published online:** 26.03.2019. ©РИОР

Abstract. A practical way to utilize the underground space of buildings is deepening the basement. Where peat is found under the building basement, floor construction proves to be a challenging engineering problem.

The article describes several basement floor construction methods for building reconstruction on peaty soils in the city of Arkhangelsk. Peaty soils require bored, driven or jacked piles up to 8 m long. Due to continuous peat consolidation, “floating” floors resting on the ground cannot be used. Numerical simulation of piles in PLAXIS 3D software provides load-settlement curves closely correlating with the results of static load tests.

Keywords: basement, renovation, peat, piles, numerical simulation.

устраивается по плитам перекрытий, опирающимся на ростверки фундаментов несущих стен, хотя до 70-х гг. прошлого века пол мог устраиваться и «плавающим» — с опиранием на грунт. В технических подпольях полы отсутствуют, а по торфу обычно отсыпается слой песка небольшой толщины.

В последние годы ведется активное освоение подземного пространства существующих зданий, в том числе в историческом центре, застроенном 2–3-этажными каменными и деревянными зданиями. Подвалы и технические подполья углубляются и приспособляются для ведения хозяйственной деятельности, что требует технических решений по устройству полов при непрекращающихся деформациях торфа в основании. Как показывают наши наблюдения, даже спустя несколько десятилетий после возведения здания осадка торфа в его основании продолжается со скоростью 3–6 мм/год [1].

Завешивание плиты пола на забивные сваи в фундаментах зданий по причине отсутствия запаса по несущей способности, а также конструктивных и технологических ограничений, как правило, неосуществимо. Устройство «плавающих» полов обычно не устраивает собственника из-за перспективы развития осадки в течение многих лет и проблем с гидроизоляцией подвижного стыка плиты пола со сваями. Оптимальным решением при устройстве полов в подвалах реконструируемых зданий оказалось применение свай небольшого сечения длиной до 8 м.

Применялось несколько типов свай.

1. Бурунабивные сваи. Сваи диаметром до 220 мм изготавливались с помощью малогабаритного бурового станка, размещаемого в подвальном помещении после его углубления и подсыпки выравнивающего слоя песка. Сваи заглублялись ниже подошвы торфа на 4–6 м. Учитывая малую продольную устойчивость ствола и агрессивность грунтовой воды, они устраивались обычно с неизвлекаемой обсадной трубой.

При устройстве полов и фундаментов оборудования в промышленном здании весьма эффективными оказались сваи диаметром 350 мм, изготавливавшиеся по буросмесительной технологии [2]. Скважины проходились шнеком через слой торфа до кровли суглинков и за-

полнялись песком (рис. 1). После чего с помощью того же бурового станка песок в скважинах и глинистые грунты ниже их забоя на глубину до 6 м перемешивались с цементным раствором, нагнетаемым через буровые штанги. К сожалению, этот метод устройства свай оказался неприемлемым при углублении подвалов зданий из-за недостаточной мощности малогабаритных станков, размещаемых в подвале.

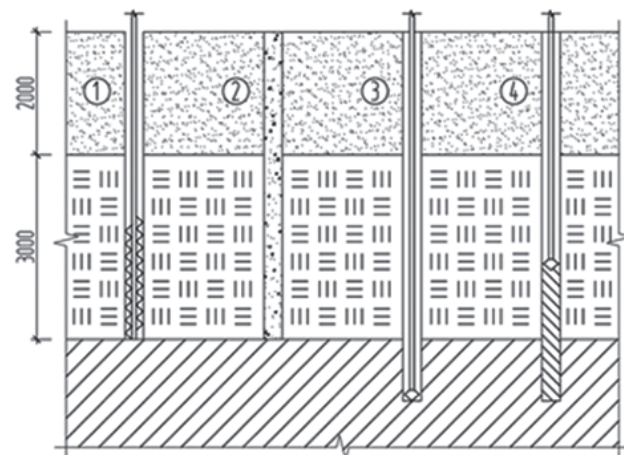


Рис. 1. Схема изготовления грунтоцементных свай:

1 — бурение скважины шнеком; 2 — заполнение скважины песком; 3 — погружение вращающегося бурового станка; 4 — подъем вращающегося бурового станка с одновременным перемешиванием грунта

2. Забивные сваи. Успешным оказался опыт погружения свай с помощью пневмомолота. Применялись трубчатые стальные сваи диаметром 220 мм, собираемые из отдельных секций длиной 1,5–2 м (рис. 2, 3). Применялся молот марки СО-166 массой 400 кг. На устройство одной сваи, включая заполнение трубы бетонной смесью, затрачивалось около 2 часов. Для проведения испытаний таких свай статической нагрузкой потребовалось конструирование специальных приспособлений для передачи нагрузки от домкрата на ригели цокольного перекрытия или ростверки существующего фундамента (рис. 4). Согласно техническому заданию проектной организации максимальная нагрузка на сваи при испытаниях составляла 300 кН.

Зависимость осадки забивных свай от нагрузки определена также путем численного моделирования в программном комплексе *PLAXIS 3D* с учетом размеров зон деформирования око-

лосвайного грунта и оценки изменения физико-механических свойств грунта в этих зонах. Определение несущей способности забивных свай методом численного моделирования включало последовательное решение двух задач.

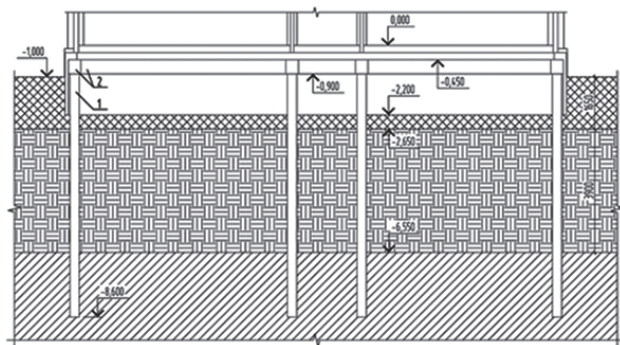


Рис. 2. Конструкция подземной части здания перед реконструкцией:
1 — железобетонная свая; 2 — ростверк

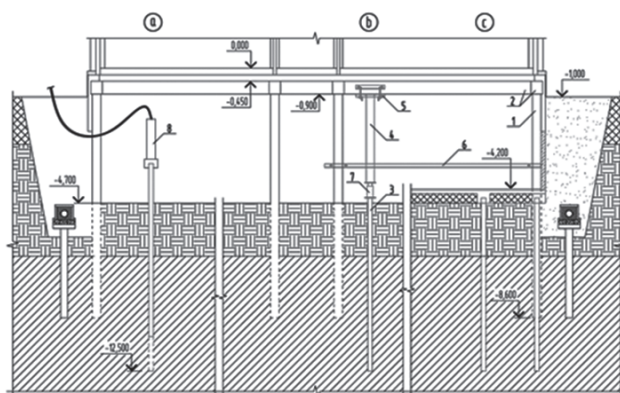


Рис. 3. Схема реконструкции подвала здания с применением свай, погруженных пневмомолотом:
1 — железобетонная свая; 2 — ростверк; 3 — испытанная свая; 4 — труба-упор; 5 — подвеска трубы; 6 — балка; 7 — домкрат; 8 — пневматический молот SO-166

Первая состояла в определении эффективных горизонтальных напряжений вдоль боковой поверхности сваи и эффективных вертикальных напряжений под нижним концом сваи после забивки. Определение напряжений велось на трехмерной модели размером в плане 10×10 м, в углу которой размещалась четвертая часть ствола сваи. Горизонтальные напряжения получали путем «раздвижки» плоскостей боковой поверхности на половину поперечного сечения ствола. Вертикальные напряжения под концом сваи определяли после перемещения элементов на 1 м вниз. Величины перемещений были подобраны для удовлетворительного совпадения

результатов с опытными данными различных авторов.



Рис. 4. Испытание забивных свай статической нагрузкой

Вторая задача заключалась в определении несущей способности свай. Размеры трехмерной модели и свойства сваи были аналогичны предыдущей задаче. Свойства грунтов задавались с использованием модели Мора — Кулона. Для глинистых грунтов задавалось недренированное состояние. Одометрический модуль деформации E_{oed} назначался переменным по мере удаления от сваи исходя из радиусов зон напряженного состояния. Коэффициент контакта «плита-грунт» R_{inter} принимался равным 0,67. На рис. 5 представлены результаты испытаний трех забивных свай статической нагрузкой и численного моделирования по программе *PLAXIS 3D*. Из рисунка видно, что результаты численного моделирования по программе *PLAXIS 3D* с использованием разработанного алгоритма достаточно тесно совпадают с экспериментальными данными.

Отсюда следует, что численное моделирование с достаточной точностью можно использовать для оценки несущей способности забивных свай.

3. Вдавливаемые сваи. Это классические сваи Мега диаметром 200–250 мм и длиной 5–10 м. Проблему при их устройстве, как и при статических испытаниях буронабивных и забивных свай, представляет обеспечение упора для гидравлического домкрата. И если несколько испытываемых свай можно разместить под риге-

лями или ростверками существующего фундамента, то при погружении нескольких десятков свай опора отсутствует. У плит цокольного перекрытия армирование выполнено из расчета нагрузки, действующей сверху, а не снизу. Кроме того, для предотвращения отклонения свай от вертикали, как правило, требуется проходка в торфе лидерных скважин.

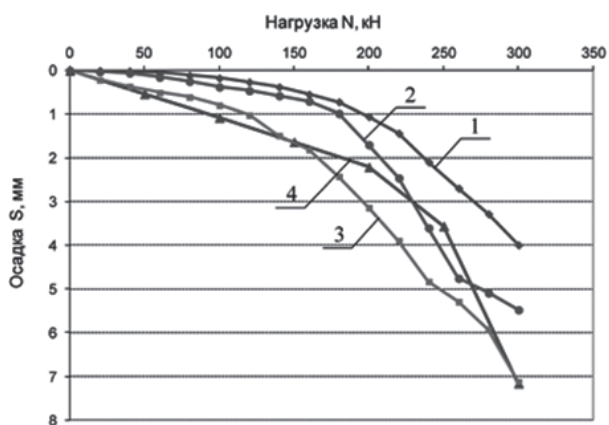


Рис. 5. Зависимость осадки свай от нагрузки: 1–3 — по данным статических испытаний; 4 — по результатам численного моделирования

Хорошо зарекомендовал себя способ с опережающим устройством железобетонной плиты пола (рис. 6).

Работы выполняются в следующем порядке: углубление помещения, отсыпка слоя песка, устройство бетонной подготовки, укладка гидроизоляции, изготовление монолитной железобетонной плиты. В точках расположения свай в плиту закладываются гильзы, а после набора бетоном прочности здесь поочередно устанавливается направляющая рама с гидроцилиндром. Рама крепится к плите анкерами. Достоинствами

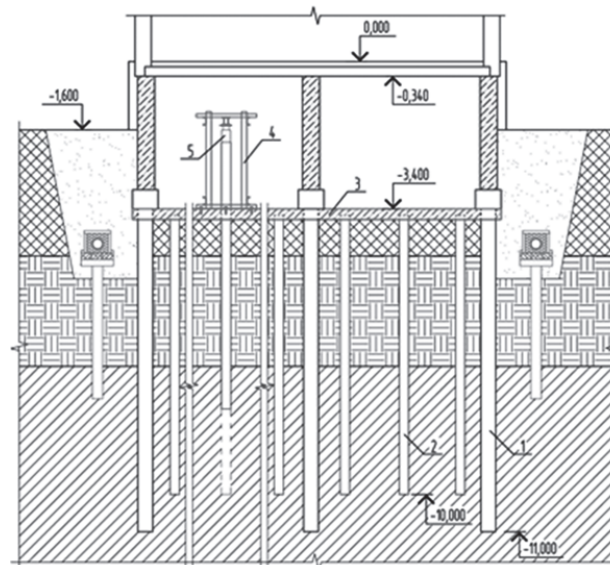


Рис. 6. Схема реконструируемого подвала здания с вдавливаемыми сваями:

1 — железобетонная свая; 2 — трубчатая свая; 3 — монолитная плита; 4 — упорная рама; 5 — гидравлический домкрат

метода являются контролируемое значение несущей способности каждой свай и ее предварительное напряжение. Последнее достигается благодаря креплению свай к плите под нагрузкой, т.е. без сброса давления в гидроцилиндре.

При проектировании несущая способность таких свай может определяться путем численного моделирования, его алгоритм описан выше.

Вывод. При наличии слоя торфа в основании реконструируемых зданий для устройства полов в подвалах могут применяться буронабивные, забивные и вдавливаемые трубчатые сваи; их несущую способность следует определять испытаниями статической нагрузкой или путем численного моделирования.

Литература

1. Невзоров А.Л. Город на болоте [Текст] / А.Л. Невзоров, А.В. Никитин, А.В. Заручевных. — Архангельск: Изд-во САФУ, 2012.
2. Nevzorov A.L., Aksenov S.E., Kozmin D.D. 2007. Experience of soil-cement piles structure in Archangelsk. International

conference on sustainability in the cement and concrete industry: 375–380. Norway: Lillehammer.

3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты [Текст].

References

1. Nevzorov A.L., Nikitin A.V., Zaruchevnykh A.V. 2012. *Gorod na bolote* [2012. A city in a swamp]. Arkhangel'sk: SAFU Publ.
2. Nevzorov A.L., Aksenov S.E., Kozmin D.D. 2007. Experience of soil-cement piles structure in Archangelsk. International

conference on sustainability in the cement and concrete industry: 375–380. Norway: Lillehammer.

3. SP 24.13330.2011. *Svaynye fundamenty* [Joint venture 24.13330.2011. Pile foundations].