

УДК 624.138.24

Ю. И. Харин^а, С. И. Махова^б

^а *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ОПТИМАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВОЛГОГРАДЕ

Рассмотрены проблемы строительства многоэтажных зданий в сложных грунтовых условиях Волгограда. На примере опыта строительства зданий на суперсваях по разрядно-импульсной технологии компанией ООО «МПО РИТА» в Москве и Тунисе оценивается экономическая целесообразность применения этого высокотехнологичного метода при строительстве жилых зданий в Волгограде.

Ключевые слова: проблемные грунты Волгограда, буронабивные сваи, сваи по разрядно-импульсной технологии, свая вытеснения Fundex.

В настоящее время в Волгограде строительство жилых зданий характеризуется, прежде всего, введением точечной застройки зданиями повышенной этажности в уже сложившуюся структуру города. Значительно реже появляются небольшие жилые кварталы, состоящие из групп домов. Жилые здания повышенной этажности за последние годы появились во всех районах города, а также в спутнике Волгограда г. Волжском. Особенно интенсивно ведется жилищное строительство в Центральном, Дзержинском и Ворошиловском районах. Следует отметить, что с 2024 г. в Волгограде запретили строить жилые здания высотой более 24 этажей.

Как правило, многоэтажные здания возводят на плитных, свайных, или плитно-свайных фундаментах. Инженерно-геологические условия на территории Волгограда достаточно сложные, что связано с распространением так называемых особых грунтов [1—4].

Первым от поверхности горизонтом являются техногенные грунты, по преимуществу насыпные и намывные. Вследствие высокой неоднородности в качестве естественного основания для плитных фундаментов они не используются, хотя сроки их самоуплотнения давно исчерпаны. При свайном варианте фундаментов эти грунты полностью прорезаются сваями, которые опираются на слабосжимаемые грунты.

К просадочным грунтам относятся в первую очередь покровные лессовые породы, широко распространенные на водораздельных пространствах и склонах. Кроме того, просадочными являются погребенные лессовые породы ательского горизонта. Оба типа лессовых грунтов проявляют просадочность при замачивании.

Набухающие грунты представлены древними глинами майкопской свиты палеогена. Другим типом набухающих пород являются глины хвалынского горизонта.

К слабым грунтам так же относятся озерно-аллювиальные глины и суглинки бекетовского горизонта, обладающие высокой пористостью, влажностью, сжимаемостью и крайне низкой прочностью. Вполне понятно, что все

перечисленные специфические грунты не могут использоваться в качестве оснований плитных фундаментов без искусственного укрепления грунтов.

В настоящее время строительство новых жилых зданий происходит в условиях существующей окружающей застройки. Поэтому вполне понятно, что в Волгограде в основном используются буронабивные сваи диаметром 0,6...1,5 м и глубиной погружения 16...30 м [1, 5]. В этих же источниках приведены результаты статических испытаний свай на разных объектах.

В Волгограде важнейшим опорным слоем для свай являются песчано-алевритовые породы мечеткинской свиты палеогена. Толща этих пород имеет своеобразный вещественный состав и относится к типу пород с жесткими связями. Они представляют разновидности, промежуточные между песками и песчаниками, образуя гамму пород разнообразной прочности. Причем песчаники играют среди них подчиненную роль и залегают в виде караваев или маломощных пластов толщиной в несколько десятков сантиметров, которые обычно называют плитами. Наиболее характерный пример наблюдается на инженерно-геологических разрезах под строительство школы в Кировском районе Волгограда [1, 5].

Кроме того, среди изученных грунтов в Волгограде в качестве опорных слоев для свай предпочтительны глины киевской свиты палеогена, пески ергенинской свиты неогена, пески хазарской свиты.

Волгоградские геотехники пока не применяли новейшие достижения в области свайных фундаментов. В начале 1990-х гг. геотехника получила новый вид свай с повышенной несущей способностью по грунту — сваи-РИТ. Их особенностью является динамическое уплотнение грунтов в околосвайном пространстве посредством электроимпульсных разрядов больших напряжений в жидком бетоне в стволе сваи (рис. 1). Появилась возможность уплотнять слабые грунты не только *на* глубине, но и *по* глубине, а также увеличить несущую способность свай без существенного увеличения их размеров [6—11].

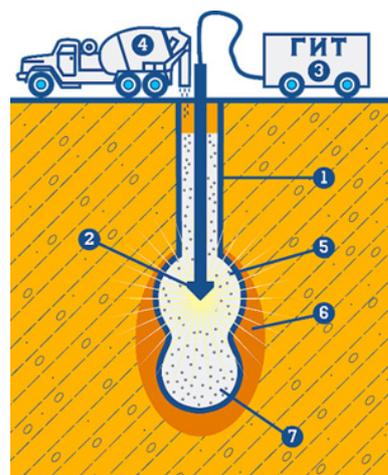


Рис. 1. Сущность разрядно-импульсной технологии устройства сваи-РИТ:
1 — ствол скважины до обработки; 2 — штанга с электродами; 3 — ГИТ (генератор импульсных токов); 4 — бетононасос; 5 — зона цементации грунта; 6 — зона уплотнения грунта; 7 — ствол сваи после обработки электровзрывами

Суть разрядно-импульсной технологии заключается в следующем. После заполнения свайной скважины мелкозернистым бетоном или цементным раствором в ствол скважины на всю глубину опускается жесткая штанга с элект-

тромами. Затем производится серия высоковольтных электрических разрядов. Возникает электрогидравлический эффект, в результате которого формируется тело сваи в этом месте в виде галтели с уплотнением окружающего сваю грунта.

При первоначальном диаметре скважины в 200...350 мм ее диаметр может быть увеличен более чем в 2...3 раза в результате обработки серией разрядов в зависимости от энергии обработки, физико-механических свойств грунтов и гидрогеологических условий площадки. Окружающие сваю грунты уплотняются, снижается пористость в зоне воздействия ударного импульса. Для слабых водонасыщенных грунтов процесс консолидации происходит практически «мгновенно», как и в случае динамической консолидации при уплотнении грунтов сверхтяжелыми трамбовками [12].

Импульс высоковольтного электрического разряда воздействует на бетон малые доли секунды, поэтому динамическое воздействие на рядом стоящие здания пренебрежимо мало. Процесс адиабатический, поэтому жидкий бетон не успевает нагреваться. При импульсе напряжением в 10 кВ в жидком бетоне возникает давление более 108 Па. Изготовленные по этой технологии сваи получили сокращенное наименование — сваи-РИТ [7, 10].

Российская компания «МПО РИТА» применяет сваи-РИТ в России и за рубежом [9, 13—15]. Компания успешно выполнила за прошедшие годы фундаменты из свай-РИТ под сотни зданий и сооружений, в т. ч. свайные основания РИТ под несколько десятков зданий высотой в 30...45 этажей в Москве.

Для наглядности преимуществ свай-РИТ приведем сравнение их несущей способности со сваями, выполненными по наиболее прогрессивной европейской технологией Fundex.

Технология по изготовлению буронабивных свай Fundex разработана одноименной голландской компанией. В процессе бурения скважины происходит уплотнение грунта вокруг сваи, что позволяет повысить несущую способность сваи по боковой поверхности, это особенно актуально в условиях слабых грунтов (рис. 2).



Рис. 2. Устройство свай диаметром 350 мм по технологии Fundex

Устройство буронабивных свай по технологии Fundex осуществляется с помощью раскатчика. При изготовлении сваи происходит уплотнение грунта по глубине в горизонтальном направлении. В этом случае можно считать, что уплотнение происходит при статической нагрузке.

На строительстве жилого комплекса в г. Химки, Московской области, на ул. Родионова, 5 под одной отдельной секцией шестнадцатиэтажного здания выполнены сваи по технологии Fundex, диаметром 350 мм и длиной 15 м. Под соседней секцией того же здания — сваи-РИТ, диаметром 300 мм и длиной 13,5 м. Для сравнения результатов работы свай проведены испытания статической вдавливающей нагрузкой (рис. 3).

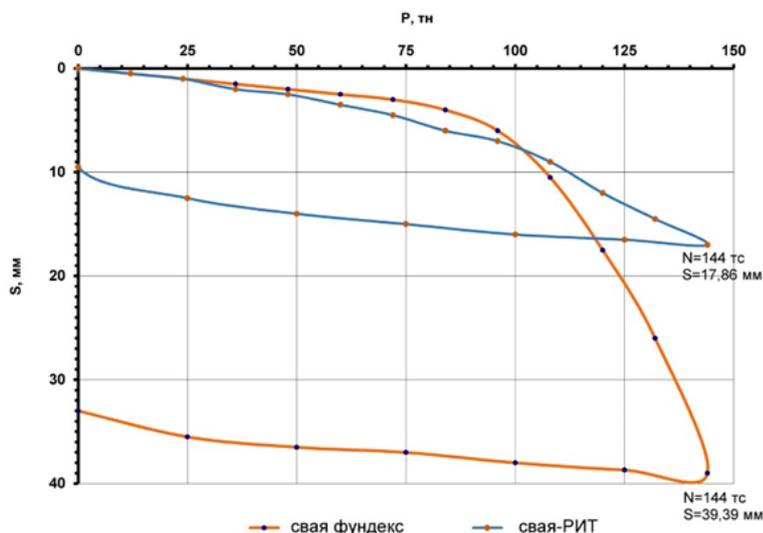


Рис. 3. Совмещенный график результатов испытаний свай Fundex 350 мм длиной 15 м и сваи-РИТ 300 мм длиной 13,5 м статической вдавливающей нагрузкой 144 тс по ГОСТ 5686—94

Сопоставление результатов испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой наглядно показывает существенное увеличение жесткости грунтового основания вокруг сваи-РИТ по сравнению со сваями, изготовленными по технологии вытеснения. Свая вытеснения Fundex при нагрузке 100 т «проваливается», а грунт и свая-РИТ продолжают работать практически в упругой стадии. После снятия нагрузки остаточная осадка сваи-РИТ в 3 раза меньше чем сваи вытеснения. Преимущество сваи-РИТ неоспоримо.

Рассмотрим опыт применения сваи-РИТ в условиях слабых грунтов прибрежных районов Туниса. Характерной особенностью инженерно-геологического строения прибрежных территорий Туниса является наличие в разрезе слабых водонасыщенных грунтов большой мощности от поверхности до глубины 30...60 м, имеющих большую пористость, сжимаемость и низкую прочность. Инженерно-геологические разрезы в основном представлены водонасыщенными глинами, суглинками, истыми отложениями и песками. Отмечается горизонтальность напластований грунтов (параллельная слоистость). В верхних слоях до глубин 25...30 м наблюдаются чередования глинистых, истых и песчаных грунтов, в основном рыхлых, средней плотно-

сти. Прослой песчаных грунтов имеют среднюю мощность (толщину слоя) порядка 1,5 м.

При использовании традиционных буронабивных свай диаметром $D = 800 \dots 1200$ мм эти прослой не являются «опорой», где сваи могут получить существенную добавку к несущей способности под пятой сваи или по ее боковой поверхности. Остановить такие сваи на прослоях песка толщиной H нельзя из условия на продавливание слоя (правило Geuze $3D < H$), поэтому в таких грунтах в Тунисе сваи устраивают на глубину 40...50 м и более.

В случае применения свай-РИТ такие прослой из песчаных грунтов служат достаточно надежной основой [14—16].

Совместная тунисско-российская фирма RITA Foundations, работая на тунисском рынке, выполнила свайные основания из свай-РИТ под одиннадцать зданий. Всего изготовлено более 4 тыс. свай-РИТ по технологии полого проходного шнека СФА. Бурение скважин диаметром 320 мм осуществлялось за один проход до глубины 22 м. Мелкозернистый бетон заливался в скважину мощным компрессором непосредственно через полый шнек. В этом случае нет необходимости использовать бентонит при бурении и изготовлении свай. При такой организации работ удавалось изготавливать от 12 до 18 свай-РИТ за рабочую смену. На каждом объекте в обязательном порядке проводились испытания свай вертикальной статической нагрузкой (по французским нормам)¹ [17, 18].

Во всех случаях на всех объектах Туниса сваи-Рит показали высокую несущую способность. Даже при нагрузках, почти вдвое превышавших расчетные, не был достигнут предел пропорциональности (разрушающей нагрузки), что говорит о высокой надежности свай-РИТ в таких слабых грунтах большой мощности.

В качестве примера рассмотрим изготовление свай-РИТ под одиннадцатизэтажное здание с двумя подвальными этажами Zen Immobiliere в районе Lус II столицы Туниса. Инженерно-геологическими изысканиями до глубины 60,0 м не были вскрыты коренные породы. На всю глубину распространялись слабые илистые глины. Лишь до глубины 19,0 м встречаются слои песчано-глинистых грунтов ограниченной мощности и относительно высокой плотности. Тунисские геотехники предложили остановить буронабивные сваи диаметром 800, 900, 1000 и 1200 мм на отметке 40,0 м. В таблице приведены значения несущей способности свай в зависимости от их диаметров, количество свай, определенных местной проектной организацией. Удельная несущая способность свай:

$$P_{уд} = N/V,$$

где N — несущая способность свай, т; V — объем свай, м³.

В таблице для более полного сравнения добавлены характеристики буронабивных свай, выполненных во Вьетнаме в схожих инженерно-геологических условиях [19].

¹ NF P 94-150-1. Essai statique de pieu isolé sous un effort axial. Norme Française. AFNOR. 1999. P. 28.

Fascicule 62 — Titre V du CCTG “Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil”. P. 45.

Значения несущей способности свай в зависимости от диаметров

Тунис в районе Лус II					Вьетнам		
Традиционные буронабивные сваи					РИТ сваи	Хошимин	
Диаметр свай, мм	800	900	1000	1200	320	1000	1000
Длина свай, м	39	39	39	39	10	25	55
Несущая способность, N , т	300	405	420	538	100	160	220
Объем свай, V , м ³	20,0	25,4	31,4	45,2	1,0	20,0	43,0
Удельная несущая способность, $P_{уд}$	15,0	15,9	13,4	11,9	100,0	8,0	5,0
Количество свай, шт.	62	37	21	31	370	—	—

Из таблицы можно сделать вывод, что удельная несущая способность 1 м³ залитого бетона свай по технологии РИТ на данном участке строительства в 6...8 раз больше, чем свай больших размеров, выполненных по традиционной технологии.

На этом объекте тунисско-российская фирма RITA Foundations изготовила запроектированные 370 свай-РИТ за один месяц. На практически аналогичном соседнем объекте конкуренты изготавливали основание из 156 традиционных буронабивных свай диаметром от 800 до 1200 мм и длиной 40 м три месяца. Принимая во внимание, что для таких случаев фирма RITA Foundations рассчитывала основание как свайно-плитное, с передачей 25...30 % нагрузки от всего здания через фундаментную плиту на грунт, экономия от перехода на сваи-РИТ составила 160...170 %, поскольку благодаря РИТ-обработке межсвайного пространства, грунт уплотняется и увеличивается модуль деформаций [15].

Со времени изготовления свайных оснований под первые здания в прибрежных районах Туниса прошло более 15 лет. Мониторинг состояния зданий показывает, что дополнительных осадок у этих объектов не наблюдается.

Отметим, что в геологии Туниса часто встречаются переслои, маломощные пласты толщиной 40...60 см повышенной прочности. Это окаменелые песчаники иногда со следами ракушечников. Аналогичные довольно тонкие, но очень прочные плиты встречаются в инженерно-геологических разрезах в Волгограде [1, 5].

Для обычных буронабивных свай данные пласты, кроме проблем при бурении, ничего не дают. Но учитывая уникальность РИТ-технологии, эти слои можно включать в работу кустов свай. Под таким жестким пластом проводится РИТ-обработка, создание дополнительного уплотненного сферического объема грунта, а потом операция осуществляется непосредственно над пластом. В этом случае данный пласт жестко включен в работу свай.

На рисунке 4 показан один из инженерно-геологических разрезов при изысканиях для строительства общеобразовательной школы в Волгограде в Кировском районе. На всех разрезах представлены типичные для Волгограда жесткие пласты разной толщины и протяженности. Из рисунка ясно видно, как, благодаря РИТ-технологии, эти очень прочные пласты можно включить в работу свай-РИТ.

Накопленный опыт применения свай-РИТ и выполненные научные исследования по взаимодействию свай-РИТ с окружающим грунтом позволили разработать ТР 50-180-06 «Технические рекомендации по проектированию и

устройству свай-РИТ для зданий повышенной этажности и сооружений 1-го (повышенного) уровня ответственности» (утв. Правительством Москвы 6.05.2006) и включить свай-РИТ в основной документ по расчетам свай СП 50-102—2003².

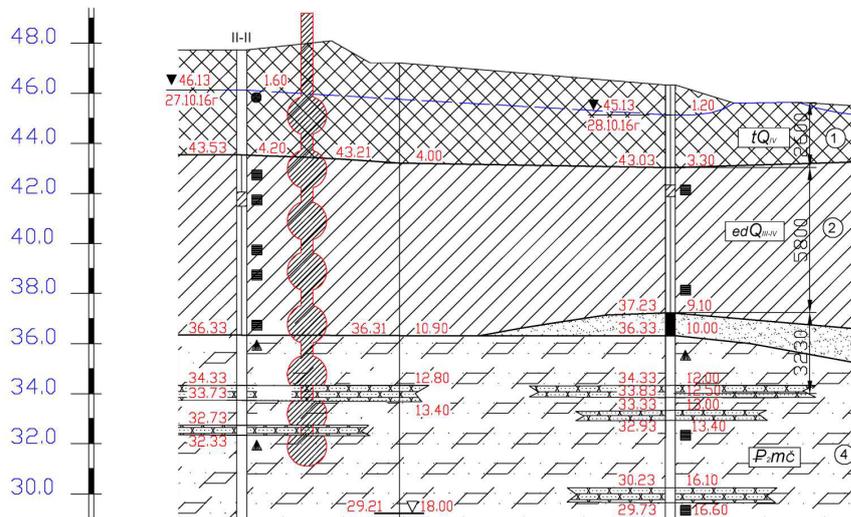


Рис. 4. Инженерно-геологический разрез по линии II-II

Разрядно-импульсная технология позволяет изготавливать геотехнические конструкции, в которые устраиваются сваи и анкера с повышенной несущей способностью, а также производить глубинное уплотнение грунтов в самых сложных условиях, где традиционные технологии малоэффективны. Необходимо отметить, что данная технология является экономически эффективной [8, 11].

Выводы

1. Высокая несущая способность свай, изготовленных по разрядно-импульсной технологии обусловлена следующими факторами:

- расширением ствола сваи;
- уплотнением грунта вокруг ствола и под пятой сваи;
- частичной цементацией грунта вокруг ствола.

2. Сопrotивление грунта под пятой сваи увеличивается в 1,5...2,0 раза, а на боковой поверхности — в 1,2...1,5 раз.

3. Особенно эффективны сваи-РИТ в слабых грунтах.

При замене буровых свай диаметром 600 мм на сваи-РИТ обеспечивается снижение стоимости свайного основания на 15...20 %, при замене свай 800 мм на сваи-РИТ — на 25...30 %, при замене свай 1000...1200 мм на сваи-РИТ — на 35...45 %.

² СП 50-102—2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. М. : Госстрой России, 2004. 82 с.

ТР 50-180-06. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи-РИТ). М. : ООО УИЦ «ВЕК», 2006. 68 с.

Например, при замене буронабивных свай диаметром 600...1000 мм длиной 45...60 м на свай-РИТ в основании строящегося цементного завода в п. Подгоренском Воронежской области компания ОАО «Евроцемент-групп» получило снижение затрат на устройстве свайного основания на сумму более 2,2 млрд руб.

4. Имеется положительный опыт использования свай-РИТ в свайно-плитных фундаментах зданий повышенной этажности в Москве, когда с одной стороны появляется возможность передавать большую нагрузку от фундаментной плиты на грунт, с другой стороны возможно снижение процента армирования этих плит, т. к. существенно увеличивается количество опор-свай.

5. Отличительной чертой применения свай РИТ, как при новом строительстве, так и при усилении существующих фундаментов, является возможность получения высокой несущей способности сваи при ее минимальном буровом диаметре и длине. Несущая способность свай с буровым диаметром 150...250 мм оказывается не меньше, чем у забивных свай сечением 300×300 мм той же длины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долганов А. П. Инженерно-геологическое обоснование строительства зданий повышенной ответственности в сложных природных условиях (на примере Волгограда): дисс... канд. геол.-мин. наук. Волгоград, 2010. 151 с.
2. Кузнецова С. В., Махова С. И. Инженерно-геологическое обоснование строительства на оползнеопасных участках берега Волги в Ворошиловском районе города Волгограда // Вестник ПНИПУ. Строительство и Архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 128—133.
3. Сняжков В. Н., Долганов А. П., Махова С. И. Песчано-алевритовые породы терригенно-кремнистой формации палеогена как важнейший фактор устойчивости сооружений на территории г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 13(32). С. 11—14.
4. Сняжков В. Н., Махова С. И., Долганов А. П. Инженерно-геологическая характеристика насыпных грунтов на территории Волгоградского мегаполиса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 15(34). С. 29—33.
5. Махова С. И., Сняжков В. Н., Долганов А. П. Сравнительный анализ сложных инженерно-геологических условий территории Волгоградского мегаполиса в связи с современным многоэтажным строительством // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 16(35). С. 46—48.
6. Еремин В. Я. Разрядно-импульсные технологии на стройках России // Стройклуб. 2002. № 1-2. С. 11—15.
7. Строительство на фундаменте знаний. М. : ООО «МПО РИТ», 2006. С. 58.
8. Еремин В. Я., Буданов А. А. Высотным зданиям — надежный фундамент // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 10(81). С. 65—67.
9. Кубецкий В. Л., Еремин В. Я. Применение свай-РИТ в фундаментах высотных зданий // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 240—245.
10. Еремин В. Я., Буданов А. А. Деформируемость песчаных грунтов при изготовлении свай по разрядно-импульсной технологии (РИТ) // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 150—163.
11. Еремин В. Я., Еремин А. В. Высотным зданиям — надежный фундамент. Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях // Труды международной конференции к 50-летию БашНИИСтроя. 2006. Т. 3. Уфа, 2006. С. 69—75.
12. Gambin M., Guinment P. Consolidation dynamique et construction en zones de décharge // Revue Française de Geotechnique. No. 14. Pp. 97—101.
13. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. On the use of RITA pile technique in Tunisia // Fourth International Conference on New developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Pp. 1—9.
14. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. Use of Recharge Impulse Technology in Deep Foundations Set-up // Advances in Engineering Research. Proceedings of the Second International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering. 2017. Vol. 102. Pp. 259—263.

15. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. Loaded Recharge Impulse Technology (RIT) Piles // Proceedings of the fourth international conference on geotechnical engineering. New Developments in Geomechanics and Georisk Hammamet (Tunisia). 2020. Pp. 95—97.
16. Bouassida W., Essaieb H., Bouassida M., Kharine Y. Shaft Capacity Assessment of Recharge Impulse Technology Piles // New Prospects in Geotechnical Engineering Aspects of Civil Infrastructures. Geo-China. 2018. Pp. 151—163.
17. Еремин В. Я., Знаменский В. В., Харин Ю. И., Юдина И. М. Результаты испытаний свай-РИТ вертикальной статической нагрузкой в условиях слабых грунтов прибрежной части г. Туниса // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 62—68.
18. Харин Ю. И., Отенна Х. Использование прессиометра Менара при расчете свай с вытеснением грунта // Перспективы науки. 2001. № 3. С. 185—190.
19. Kharin Y. Possibility of using RIT technology in the ground conditions of Vietnam // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 177. Pp. 30—36.

© Харин Ю. И., Махова С. И., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Харин Ю. И., Махова С. И. Оптимальные варианты применения свайных фундаментов в Волгограде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 45—53. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_45.

Об авторах:

Харин Юрий Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. механики грунтов и геотехники, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; 9651388552@mail.ru

Махова Светлана Ивановна — канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Yuriy I. Kharin^a, Svetlana I. Makhova^b

^a *Moscow State University of Civil Engineering*

^b *Volgograd State Technical University*

OPTIMAL OPTIONS FOR THE USE OF PILE FOUNDATIONS IN VOLGOGRAD

The problems of construction of multi-storey buildings in difficult ground conditions of Volgograd are considered. Using the example of the experience of building buildings on super piles using discharge pulse technology in Moscow and Tunisia, MPO RITA LLC evaluates the economic feasibility of using this high-tech technology in the construction of residential buildings in Volgograd.

Key words: problematic soils of Volgograd, bored piles, piles using discharge pulse technology, displacement pile “Fundex”.

For citation:

Kharin Yu. I., Makhova S. I. [Optimal options for the use of pile foundations in Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 45—53. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_45.

About authors:

Yuriy I. Kharin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russian Federation; 9651388552@mail.ru

Svetlana I. Makhova — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru