

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 2. С. 226–233.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28 (2): 226–233.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.154.5

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-2-226-233>

EDN: CYXNIF

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ПРИ ПОМОЩИ ПНЕВМОВЗРЫВОВ

Дмитрий Геннадьевич Самарин, Владимир Леонидович Устюжанин
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Широко известен негативный факт меньшей несущей способности буронабивной сваи по грунту в сопоставлении с несущей способностью забивной сваи. Несущая способность последней может быть на порядок больше буронабивной сваи. Такая разница объясняется тем, что в процессе погружения забивной сваи в околосвайном пространстве формируется уплотненная зона, которая приводит к условному увеличению площади опирания сваи. Таким образом, разработка технологий устройства буронабивных свай с формированием уплотненной околосвайной зоны грунта, безусловно, является актуальной задачей.

Цель. Основной целью представленной работы является описание пневмоимпульсного способа устройства буронабивных свай, который позволяет формировать камуфлетные уширения свайного тела с уплотненным околосвайным грунтом.

Результаты. На основании комплексного анализа недостатков существующих способов устройства буронабивных свай с камуфлетными уширениями предлагается новый высокоэффективный способ устройства камуфлетных уширений буронабивных свай в различных грунтовых условиях.

Ключевые слова: буронабивная свая, камуфлетное уширение, разрядно-импульсная технология, электрохимический взрыв, пневмоимпульсная технология, пневмоимпульсный генератор, пневмовзрыв

Для цитирования: Самарин, Д.Г., Устюжанин, В.Л. Способ изготовления буронабивных свай при помощи пневмовзрывов // Вестник Томского государственного

ного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 2. С. 226–233. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-2-226-233>. EDN: CYXHIF

ORIGINAL ARTICLE

MANUFACTURE OF BORED PILES USING PNEUMATIC PULSE TECHNIQUE

Dmitrii G. Samarin, Vladimir L. Ustyuzhanin

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Undesired lower soil-bearing capacity of a bored pile against a driven pile is widely known. The bearing capacity of the latter can be an order of magnitude higher than that of the bored pile. This difference is explained by the fact that during the immersion of the driven pile, a compacted zone is formed in the surrounding space, which leads to a conditional increase in the pile support area. Thus, the development of bored pile technologies with the formation of a compacted zone in the surrounding soil, is an urgent task.

Purpose: The purpose of this work is to describe a pneumatic pulse technique for constructing bored piles, which allows forming a blast-enlarged base in the pile and compacted soil zone in its surrounding space.

Research findings: Based on a comprehensive analysis of existing methods of constructing bored piles with blast-enlarged bases, a new highly efficient method is proposed for constructing bored piles in different soil conditions.

Keywords: bored pile, blast-enlarged base, explosive technique, electric discharge technique, electrochemical explosion technique, pneumatic pulse technique, pneumatic pulse generator, pneumatic explosion

For citation: Samarin, D.G., Ustyuzhanin, V.L. Manufacture of Bored Piles using Pneumatic Pulse Technique. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28 (2): 226–233. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-2-226-233>. EDN: CYXHIF

Известно, что несущая способность буронабивных свай значительно уступает аналогичному показателю забивных свай. Причина такого различия заключается в формировании уплотненной зоны вокруг забивной сваи в процессе ее погружения, что существенно увеличивает условную площадь опирания сваи на грунт основания. Несущая способность последней может быть на порядок больше, чем у буронабивной сваи.

Существуют различные способы повышения несущей способности буронабивной сваи. Одними из эффективных являются способы, направленные на создание камуфлетных уширений, устраиваемых в результате действия в материале ствола сваи точечной импульсной нагрузки. При этом увеличивается диаметр сваи и в околоствойном пространстве формируется уплотненная зона.

Известны способы устройства камуфлетного уширения буронабивных свай при помощи энергии взрыва взрывчатых веществ [1, 2]. В пробуренную скважину устанавливают заряд взрывчатого вещества (ВВ) и заполняют ее бетонной смесью. Затем производят подрыв заряда ВВ. Вследствие взрыва ВВ генерируемая им взрывная волна и давление образующихся газов раздвигают стенки скважины и создают полость в грунте. Бетонная смесь выдавливает

взрывные газы и заполняет полость. В результате образуется камуфлетное уширение свай с областью уплотненного околосвайного грунта.

Технология увеличения несущей способности свай при помощи взрывчатых веществ не требует значительного повышения трудоемкости работ. Однако эта технология имеет существенные недостатки:

- сложность работы со взрывчатыми веществами;
- риск оставления невзорвавшихся зарядов в свае;
- возможность осуществления только разового взрывного воздействия;
- опасность расхищения взрывчатых веществ.

Наибольшее распространение в области применения свай с камуфлетными уширениями получили способы их устройства при помощи разрядно-импульсных технологий (РИТ) [3].

Основными операциями при устройстве свай-РИТ являются: устройство в грунте скважины; подача в скважину твердеющего электропроводного материала, например бетонной смеси; установка в свайное тело инвентарного электрического разрядника, подключенного к высоковольтному импульсному источнику электрического питания (ГИТ), возбуждение в твердеющем материале свайного тела электрических разрядов.

Производство высоковольтных разрядов в бетонной смеси приводит к возникновению в ней парогазовой полости (ППГ) с избыточным давлением, которое передается через твердеющий материал на стенки скважины. В результате этого по стенкам скважины наносится гидравлический удар, способный совершать механическую работу. Благодаря этой механической работе происходит уширение ствола свайного тела, уплотнение околосвайного грунта и, соответственно, повышение несущей способности свай.

Способ формирования камуфлетных уширений свай по технологии устройства свай-РИТ достаточно эффективен в слабых водонасыщенных грунтах, что объясняется их пониженными прочностными характеристиками. Здесь возможность создания при помощи энергии электрических разрядов последовательных серий гидравлических ударов приводит к формированию развитых камуфлетных уширений буронабивных свай. Однако в относительно прочных грунтах, особенно глинистых, имеющих наибольшее распространение, получение камуфлетных уширений буронабивных свай требуемых размеров, обеспечивающих эффективный рост несущей способности свай по грунту, становится достаточно трудной задачей. Причина этому – значительные потери запасаемой энергии разряда.

Кроме того, следует отметить, что технология устройства свай-РИТ требует использования дорогой специально подготовленной бетонной смеси с гарантией сохранения ее высокой подвижности на протяжении всего периода времени устройства свай.

Также следует отметить, что способ устройства свай при помощи разрядно-импульсных технологий является достаточно небезопасным при работе с большими токами.

Известен способ устройства камуфлетных уширений свай, основанный на применении электрохимического взрыва (ЭХВ) [4]. Способ основан на комбинированной технологии создания импульса давления за счет электрического

разряда и химической реакции специальных составов, вводимых в разрядный промежуток рабочих электродов. Способ устройства свай-ЭХВ включает устройство скважины, подачу в скважину твердеющего электропроводного материала, погружение в свайное тело инвентарного электрического разрядника и подачу в межэлектродное пространство экзотермической смеси. После погружения разрядника до проектной отметки при помощи электрического разряда осуществляют подрыв экзотермической смеси. В результате электрохимического взрыва в зоне действия динамической нагрузки образуется парогазовая полость (ППГ), избыточное давление от которой передается на стенки скважины, создавая камуфлетное уширение с уплотненной зоной околосвайного грунта. Однако подача экзотермической смеси в межэлектродное пространство для выполнения последовательной серии электрохимических взрывов значительно усложняет технологический процесс.

Комплексный анализ существующих методов устройства буронабивных свай при помощи взрывчатых веществ, разрядно-импульсных технологий и электрохимического взрыва (т. е. методов, основанных на использовании взрывных нагрузок для создания уширений свай) показывает, что в качестве источника взрывных нагрузок может быть предложен пневмовзрыв, создаваемый пневмоимпульсным генератором. При этом предлагаемый пневмоимпульсный способ устройства буронабивных свай (свай-ПИТ) [5] лишен вышеописанных недостатков.

Способ изготовления свай-ПИТ включает перечисленные ниже операции.

На первом этапе осуществляется устройство скважины 1 на проектную глубину (рис. 1).

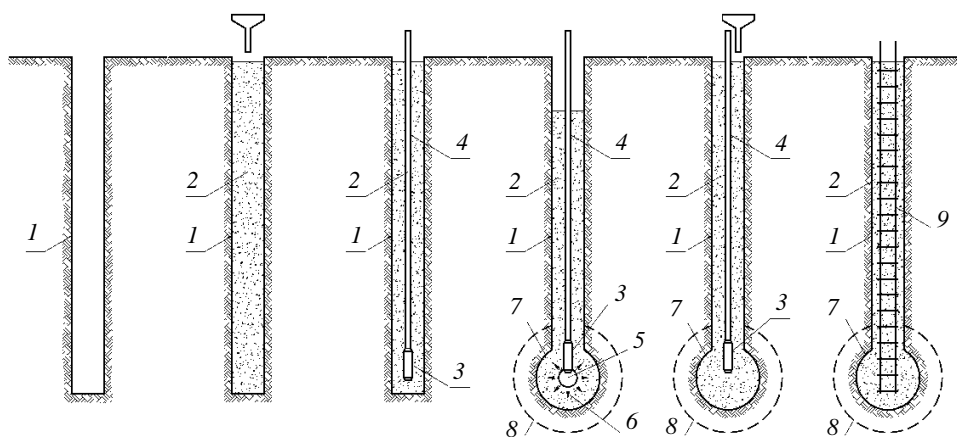


Рис. 1. Схема устройства свай-ПИТ:

1 – скважина; 2 – твердеющий материал свай; 3 – пневмоимпульсный генератор; 4 – штанга с системой подачи сжатого воздуха; 5 – газовая полость; 6 – гидравлические удары в твердеющем материале; 7 – камуфлетное уширение; 8 – зона уплотненного околосвайного грунта; 9 – арматурный каркас

Fig. 1. Schematic of pneumatic pulse technique:

1 – borehole; 2 – hardening pile material; 3 – pneumatic pulse generator; 4 – rod with compressed air supply system; 5 – gas cavity; 6 – hydraulic shocks in the hardening material; 7 – blast-enlarged base; 8 – compacted soil zone around the enlarged base; 9 – reinforcement frame

На втором этапе формируется свайное тело путем заполнения скважины твердеющим материалом 2.

На третьем этапе производят погружение в образованное свайное тело источника гидравлических ударов – пневмоимпульсный генератор 3, соединенный с системой питания через подающий рукав высокого давления 4. Питание сжатым газом (воздухом) осуществляется от компрессора высокого давления (на рис. 1 не показан).

На четвертом этапе выполняют формирование камуфлетных уширений сваи 7 – при помощи пневмоимпульсного генератора с установленного положения производится многократный импульсный ввод в свайное тело объемов сжатого газа (воздуха) 6. От каждого импульса сжатого газа создается гидравлический удар, воздействие от которого через твердеющий материал свайного тела передается на стенки скважины. За счет развития деформаций околосвайного грунта происходит образование полости с локальной уплотненной зоной грунта 8. Образованная полость заполняется осевшим твердеющим материалом свайного тела.

При необходимости формирования нескольких камуфлетных уширений по высоте свайного тела (рис. 2) осуществляется перемещение пневмоимпульсного генератора вдоль свайного тела и создание при его помощи повторных импульсов давления.

На пятом этапе осуществляется извлечение пневмоимпульсного генератора и установка арматурного каркаса 9.

Последовательность указанных операций может быть и иная, не выходящая за рамки описываемого способа устройства сваи. Например, после устройства скважины вначале производят установку пневмоимпульсного генератора, а уже затем заполняют скважину твердеющим материалом. Также до заполнения скважины твердеющим материалом допустимо устанавливать и арматурный каркас, поскольку его наличие не влияет на работу пневмоимпульсного генератора.

Эффективность технологии устройства буронабивных свай-ПИТ обусловлена рядом факторов.

Объем и давление запасаемого рабочего тела в пневмоимпульсном генераторе может достигать значительных величин. Так, энергия одиночного импульса пневмовзрыва при устройстве свай-ПИТ соизмерима с энергией одиночного взрыва в сваях-ВВ. При этом существует возможность производить серию пневмовзрывов.

В отличие от технологии РИТ, где происходят значительные потери запасаемой энергии при ее транспортировке по кабелю к месту разряда и преобразовании в полезную, в технологии ПИТ энергия сжатого газа (воздуха) не требует преобразования и запасается непосредственно в точке производства импульсов.

Для формирования уширений в буронабивных сваях большого диаметра по пневмоимпульсной технологии требуется увеличить энергию импульса. Это осуществляется за счет выполнения простой операции по увеличению объема рабочего тела. В сваях-РИТ из-за больших потерь энергии это сделать довольно проблематично.

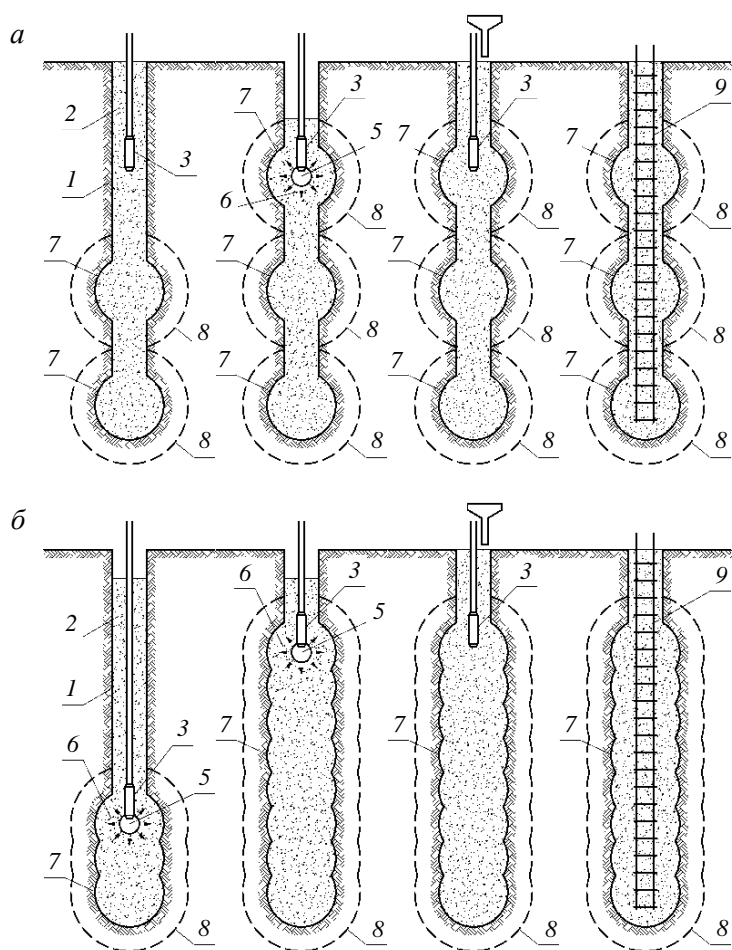


Рис. 2. Схема устройства свай-ПИТ с многоместными камуфлетными уширениями: *а* – с разреженными многоместными уширениями; *б* – с непрерывными многоместными уширениями

Fig. 2. Schematic of pneumatic pulse piles with sparse (*a*) and continuous (*b*) multi-seat enlarged bases

На основании вышеизложенного можно выделить следующие основные преимущества представленных буронабивных свай-ПИТ:

- большой объем рабочего тела в единичном импульсе;
- большая энергоемкость единичного импульса;
- многоимпульсное воздействие;
- отсутствие значимых потерь энергии и высокий КПД при производстве пневмовзрывов;
- легкая масштабируемость энергии пневмовзрывов.

Таким образом, предлагаемая пневмоимпульсная технология устройства буронабивных свай позволяет экономичным, надежным и безопасным способом добиться эффективного роста несущей способности буронабивных свай в различных грунтовых условиях.

Выводы

На основании вышеизложенного можно констатировать, что задача повышения несущей способности буронабивных свай эффективно решается предлагаемым нами пневмоимпульсным способом их устройства (свай-ПИТ).

Выполненный сравнительный анализ показал, что существующие технологии (с применением ВВ, РИТ и ЭХВ) имеют существенные недостатки – от рисков при работе со взрывчатыми веществами до высоких потерь энергии.

К несомненным достоинствам способа устройства буронабивных свай при помощи пневмовзрывов можно отнести высокую энергоэффективность, технологичность, безопасность и возможность создания свай-ПИТ с заданными параметрами уширения.

Свай-ПИТ открывают новые возможности для устройства экономичных и надежных свайных фундаментов и рекомендуются к практическому применению в строительстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из буронабивных свай и опор-колонн* / НИИСП Госстроя УССР. Киев : Будівельник, 1985. 80 с.
2. *Указания по проектированию, устройству и приемке фундаментов из буронабивных свай*. РСН-263-74. Киев : НИИСП, 1974. 136 с.
3. *Бахолдин, Б.В., Джантимиров, Х.А.* Новые электроразрядные технологии в геотехническом строительстве // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1998. № 5. С. 47–52.
4. *Джантимиров, Х.А., Крастелев, Е.Г., Крючков, С.А., Нистратов, В.И., Смирнов, П.В.* Геотехническая технология на основе электрохимического взрыва и оборудование для ее реализации // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 5. С. 17–21.
5. *Патент № 2654097* Российская Федерация, МПК E02D 5/44 (2006.01). Способ изготовления свай : № 2017118933 : заявл. 31.05.2017 : опубл. 16.05.2018 / Самарин Д.Г., Устюжанин В.Л. 16 с.

REFERENCES

1. Design and construction recommendations for foundations from bored piles and column supports. Kiev: Budivelnik, 1985. 80 p. (In Russian)
2. Instructions on design, construction and acceptance of bored pile foundations. RSN-263-74. Kiev: RICP, 1974. 136 p. (In Russian)
3. *Baholdin, B.V., Dzhantimirov, H.A.* New Electric Discharge Technologies in Geotechnical Construction. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 1998 (5): 47–52 (In Russian)
4. *Dzhantimirov, H.A., Krastelev, E.G., Kryuchkov, S.A., Nistratov, V.I., Smirnov, P.V.* Geotechnical Technology and Equipment Based on Electrochemical Explosion. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2005 (5): 17–21 (In Russian)
5. *Samarin, D.G., Ustjuzhanin, V.L.* Method of Pile Manufacturing. Russ. Fed. Patent N 2654097. 2018. 16 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Самарин Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sdgsamara@mail.ru

Устюжанин Владимир Леонидович, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, uv177@mail.ru

Authors Details

Dmitrii G. Samarin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sдgsamara@mail.ru

Vladimir L. Ustyuzhanin, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, uv177@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.01.2026
Одобрена после рецензирования 03.02.2026
Принята к публикации 18.02.2026

Submitted for publication 27.01.2026
Approved after review 03.02.2026
Accepted for publication 18.02.2026