

С. А. Рытов<sup>1</sup>, А. Н. Панфилов<sup>1</sup>, Т. Г. Рытова<sup>2</sup>, Б. Ю. Антонов<sup>3</sup>,  
Л. А. Максимова<sup>4, 5</sup>

## ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УСТРОЙСТВА СВАЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА (МИКРОСВАЙ) И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

<sup>1</sup> *Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Липецкая трубная компания «Свободный Союз», Липецк, Россия*

<sup>4</sup> *Российский университет транспорта, Москва, Россия*

<sup>5</sup> *Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия*

**Аннотация.** В статье выполнен анализ наиболее эффективных отечественных и зарубежных современных методов устройства микросвай в том числе с применением электроразрядной геотехнической технологии (ЭРТ), и трубчатых свай, изготавливаемых из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Показана тенденция развития методов устройства микросвай.

**Ключевые слова:** буроинъекционные сваи, технология устройства свай, микросваи, электроразрядная геотехническая технология, разрядно-импульсная технология РИТ, свайные трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ).

**Рытов Сергей Александрович**, кандидат технических наук, начальник центра исследования свайных фундаментов; e-mail: rytovsa@gmail.com; AuthorID: 868685.

**Панфилов Алексей Николаевич**, аспирант; e-mail: lab38@mail.ru.

**Рытова Татьяна Георгиевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; e-mail: rytovatg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8835-4393>; AuthorID: 856792.

**Антонов Борис Юрьевич**, заместитель генерального директора; e-mail: antonov\_by@svsokol.ru.

**Максимова Людмила Анатольевна**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики и естественных наук; e-mail: maximova\_ng@mail.ru; AuthorID: 14131.

**для цитирования:** Рытов С. А., Панфилов А. Н., Рытова Т. Г., Антонов Б. Ю., Максимова Л. А. Эффективные методы устройства свай малого диаметра (микросвай) и опыт их применения // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2024. № 2(60). С. 71–86. DOI: 10.37972/chgru.2024.60.2.006 EDN: CQOFMS

Статья опубликована на условиях лицензии *Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)*.

S. A. Rytov<sup>1</sup>, A. N. Panfilov<sup>1</sup>, T. G. Rytova<sup>2</sup>, B. Yu. Antonov<sup>3</sup>,  
L. A. Maksimova<sup>4, 5</sup>

## EFFECTIVE METHODS OF SMALL DIAMETER PILES (MICRO PILES) AND THE EXPERIENCE OF THEIR APPLICATION

<sup>1</sup>*Research, design, survey and design-technological Institute of Foundations and Underground Structures (NIIOSP) named after N.M. Gersevanov, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Lipetsk pipe company "Free Union Lipetsk, Russia*

<sup>4</sup>*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

<sup>5</sup>*I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia*

**Abstract.** The article analyzes the most effective domestic and foreign modern methods of micropiles, including those using electric discharge geotechnical technology (ERGT), and tubular piles made of high-strength cast iron with spherical graphite (HCG). The trend of development of microswire device methods is shown.

**Keywords:** drilling-injection piles, pile construction technology, microswitches, electric discharge geotechnical technology, discharge pulse technology of RET, pile pipes made of high-strength cast iron with spherical graphite (HCG).

**Sergey A. Rytov**, Candidate of Technical Sciences; e-mail: rytovsa@gmail.com; AuthorID: 868685.

**Alexey N. Panfilov**, Postgraduate Student; e-mail: lab38@mail.ru.

**Tatyana G. Rytova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; e-mail: rytovatg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8835-4393>; AuthorID: 856792.

**Boris Y. Antonov**, Deputy General Director; e-mail: antonov\_by@svsokol.ru.

**Lyudmila A. Maksimova**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor; e-mail: maximova\_ng@mail.ru; AuthorID: 14131.

**to cite this article:** Rytov S. A., Panfilov A. N., Rytova T. G., Antonov B. Yu., Maksimova L. A. Effective Methods of Small Diameter Piles (Micro Piles) and the Experience of Their Application // Vestn. Chuvash. Gos. Ped. Univ. im. I.Ya. Yakovleva Ser.: Mekh. Pred. Sost. 2024. No 2(60). p. 71–86. DOI: 10.37972/chgpu.2024.60.2.006 EDN: CQOFMS

*This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)*

**1. Состояние вопроса.** В строительной практике в последние годы при строительстве и реконструкции различных зданий и сооружений, магистральных трубопроводов, опор ЛЭП и мачт, усиления фундаментов, а так же для устройства подпорных стен в местах возможных оползней, укрепления склонов и откосов активно применяют сваи малого диаметра. Современное название свай, принятое в зарубежной литературе – “micropile” (микросваи). Термин “micropile” (микросваи) отражает характерные особенности такой разновидности свай, а именно:

- большая гибкость  $L/D = 80-120$ ;
- диаметр до 300 мм.

Объем применения свай малого диаметра существенно вырос. Обогатился опыт решения с их помощью сложных задач фундаментостроения. Разработаны новые технологические схемы устройства свай, создано новое отечественное и зарубежное оборудование, позволившее кардинально изменить ряд технологических операций и на этой базе резко повысить несущую способность свай. В данной статье рассмотрены наиболее эффективные современные технологии устройства свай.

К таким сваям можно отнести:

- (1) буроинъекционные сваи, которые являются разновидностью буронабивных свай [1–5];
- (2) свайные трубы, изготавливаемые из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) и погружаемые с помощью вибропогружателей или молотов [6–10].

Для свай из ВЧШГ мало исследован вопрос коэффициентов трения по боковой поверхности. Данные коэффициенты трения планируется уточнить при дальнейших исследованиях.

**2. Буроинъекционные сваи (микросваи).** Изготовление буроинъекционных свай производится в следующем порядке:

- бурение скважины (с креплением стенок или без);
- устройство уширения пяты механическим способом или трамбованием (при необходимости);
- погружение арматурного каркаса (несущего элемента);
- заполнение скважины бетоном или цементным раствором методом вертикально перемещающейся трубы;
- извлечение обсадной трубы (при ее наличии);
- инъекционная опрессовка ствола.

К наиболее эффективным способом изготовления свай обеспечивающих стремление к объединению выше указанных технологических операций в одну с обеспечением необходимого уровня качества и надежности, можно отнести использование буровых штанг, оставляемых в скважине в качестве трубчатой арматуры (рис. 1). Технология применяется в том числе при устройстве анкерных систем «Атлант».

Кроме того, применяется высокопрочная арматура винтового профиля для упрощения армирования микросвай (рис. 2, 3).

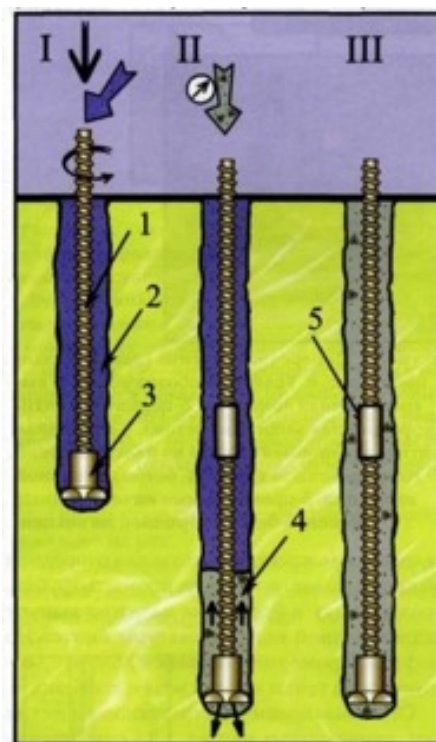


Рис. 1. Технологическая схема устройства микросвай.

I – Бурение скважины с промывкой; II – Замещение бурового раствора бетоном; III – микросвая.

1 – винтовая полая арматура, 2 – буровой раствор, 3 – буровая коронка, 4 – мелкозернистый бетон, 5 – муфта.

Для повышения несущей способности сваи применяют вторичную опрессовку через инъекционные трубки с клапанами.

Основные преимущества технологических схем, приведенных на рис. 1, 2 – уменьшение сроков устройства микросвай путем упрощения технологической схемы, снижение времени стыковки арматурного каркаса при применении муфт. Недостатки - армирование свай одиночным стержнем менее эффективно, чем пространственным каркасом. Кроме того, теряемое долото с экономической точки зрения менее выгодно.

В связи с тем, что при устройстве скважины грунт разуплотняется, такие сваи уступают другим видам и прежде всего забивным по показателю отношения расхода материала к несущей способности. Для снижения влияния технологии устройства скважины на несущую способность микросвай применяется

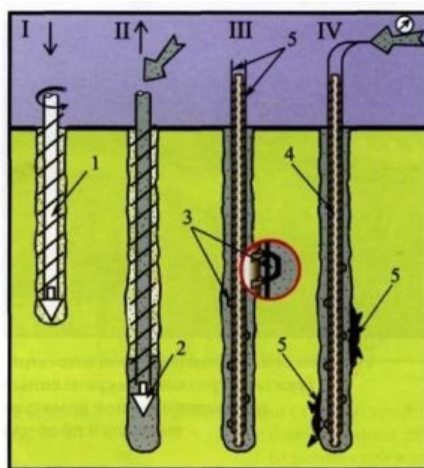


Рис. 2. Технологическая схема устройства микросвай сваи с применением арматуры винтового профиля.

I, II – бурение скважины и заполнение ее мелкозернистым бетоном; III – армирование арматурой винтового профиля; IV – инъекция мелкозернистого бетона через инъекционные трубки. 1 – шнек, 2 – клапан, 3 – инъекционный клапан, 4 – арматура с винтового профиля, 5 – трубки для инъекции.

электроразрядная геотехническая технология (ЭРГТ). В технической литературе данные сваи называются сваи РИТ. Технология основана на использовании энергии электрических разрядов в скважинах, заполненных мелкозернистым бетоном (рис. 3).

Данная технология создает ударные волны в твердеющем мелкозернистом бетоне, что позволяет уплотнить стенки скважины. Основное преимущества технологической схемы, приведенной на рис. 3 – снижение влияния технологии бурения скважины на несущую способность сваи за счет уплотнение околосвайного пространства.

Данная технология была применена для реконструкции с надстройкой многоквартирного жилого дома в г. Москва. По первоначальному варианту предусматривалось устройство буровых свай диаметром 600 и 800 мм под опоры надстройки вплотную к существующим конструкциям, и был практически не реализуем. НИИОСП выполнил анализ инженерно-геологических условий и предложил переход на буроинъекционные сваи.

Расчетная схема здания с учетом надстройки приведено на рис. 5.

Примыкание свай опор надстройки к существующему реконструируемому зданию показан на рис. 6.

Была выполнена оценка влияния свайных фундаментов опор надстройки на реконструируемое здание (рис. 7). Прогнозируемые деформации не превысили допустимых величин.

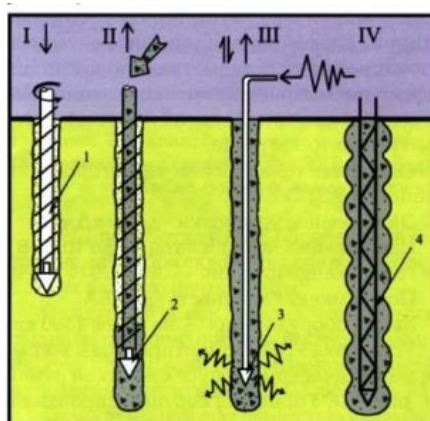


Рис. 3. Технологическая схема устройства свай РИТ.

I – Бурение; II - Заполнение скважины мелкозернистым бетоном; III – ЭРГТ обработка ствола сваи; IV – Погружение арматурного каркаса в твердеющий мелкозернистый бетон. 1 – шнек, 2 - клапан, 3 – излучатель для обработки по ЭРГТ, 4 – арматурный каркас.

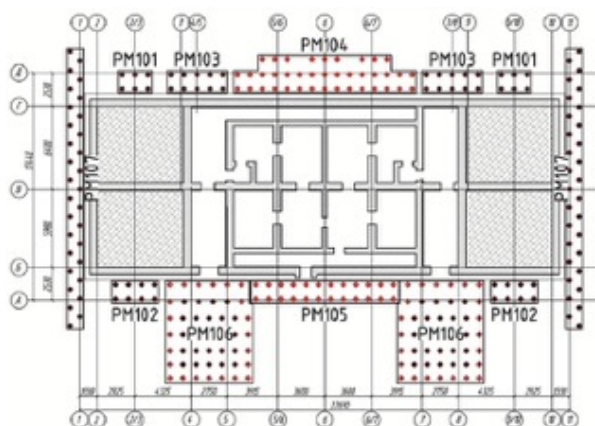


Рис. 4. План-схема свайных кустов под опоры надстройки (PM101-PM107). Серым показано надстраиваемое здание.

В процессе проведения работ был организован геотехнический мониторинг.

**3. Сваи из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ).** В строительной практике в связи с началом производства свайных труб из ВЧШГ, имеющих в своём составе шаровидный графит, начали применять сваи при устройстве фундаментов различного назначения.

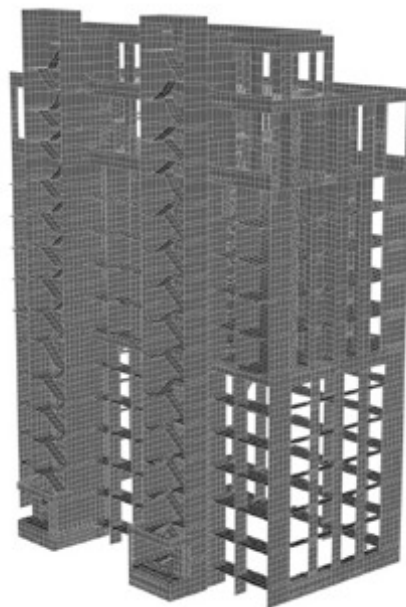


Рис. 5. Расчетная схема здания с учетом надстройки.

Сравнительные механические характеристики ВЧШГ и низко-углеродистой стали приведены в таблице 1.

Механические характеристики	Материал труб	
	Низко-углеродистая сталь	ВЧШГ
Предел прочности, МПа	320-410	$\geq 400$
Предел текучести, МПа	216-240	$\geq 300$

Таблица 1.

Небольшая скорость коррозии объясняется наличием тонкой пленки на поверхности, состоящей из оксидов и карбидов железа. В странах Европы сваи из ВЧШГ достаточно часто используются [6-7].

ООО «Свободный сокол» освоила изготовление свайных труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Данные сваи изготавливаются по ТУ 1461-079-90910065-2014 и соответствуют европейскому стандарту ONORM B 2567:2012. Свайные трубы имеют два размера: внешний диаметр, равный 118 или 170 мм, различную толщину стенки (7,6; 9,0; 10,6 мм) и мерную длину (без учета раструба), равную 5500 или 5900 мм. Необходимая общая проектная длина достигается за счет равнопрочного с основным сечением сопряжения свай через раструбное соединение (рис. 13).



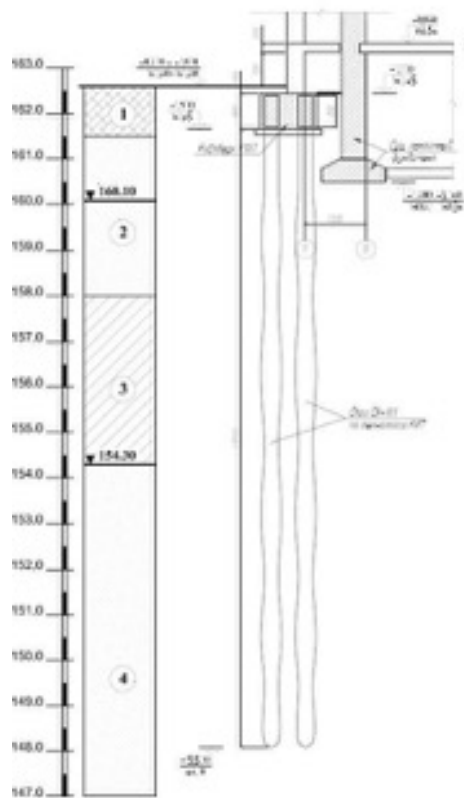


Рис. 6. Примыкание свай опор надстройки к существующему реконструируемому зданию.

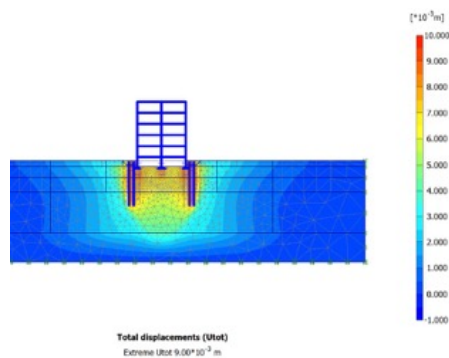


Рис. 7. Дополнительные осадки фундамента [м] реконструируемого здания от свайных фундаментов опор надстройки.

Существует два варианта погружения свай. Первый предполагает забивку свай с открытым нижним концом (рис. 14), а второй – с закрытым нижним



Рис. 8. Устройство монолитного ростверка под опоры надстройки.



Рис. 9. Частично возведенные конструкции надстройки.



Рис. 10. Полностью возведенные конструкции надстройки.

концом свайным башмаком (рис. 15) и последующим бетонированием. Вибропогружатели и сваедавливающие установки также могут быть применены для погружения трубчатых свай.

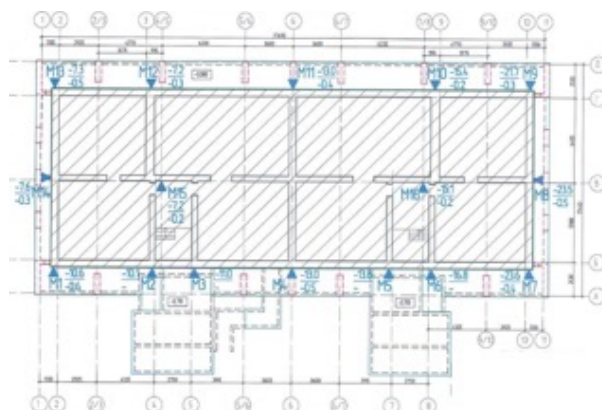


Рис. 11. План-схема марок для наблюдений за осадками фундаментов реконструируемого здания.

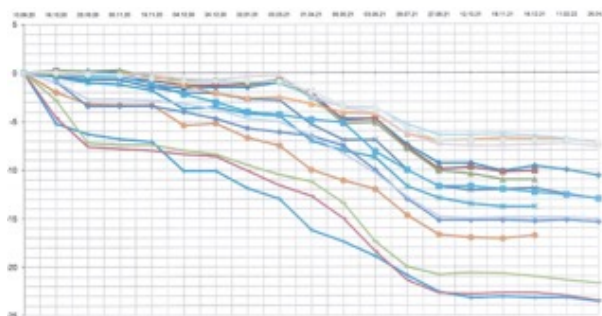


Рис. 12. График осадок фундаментов реконструируемого здания. По оси X – время, по Y – осадка в мм.

В случае применения бетонирования внутренней полости и затрубного пространства при забивке свай применяется башмак большего диаметра чем диаметр поперечного сечения трубы, а свайная труба в нижней части должна иметь отверстия для прохождения бетона в затрубное пространство. Для погружения свай может использоваться экскаватор с навесным оборудованием (высокочастотный гидравлический молот с адаптером под раструб сваи). В процессе забивки сваи гидромолотом в раструб забитой трубы устанавливается следующая свайная труба, и в процессе забивки создается жесткое неподвижное ее соединение за счет запрессовывания конуса в конус. В процессе чередования серии ударов гидромолота может подаваться в затрубное пространство мелкозернистый бетон для повышения несущей способности сваи по грунту и коррозионной стойкости. Затем устанавливаются опорные плиты и арматура для соединения с ростверком.

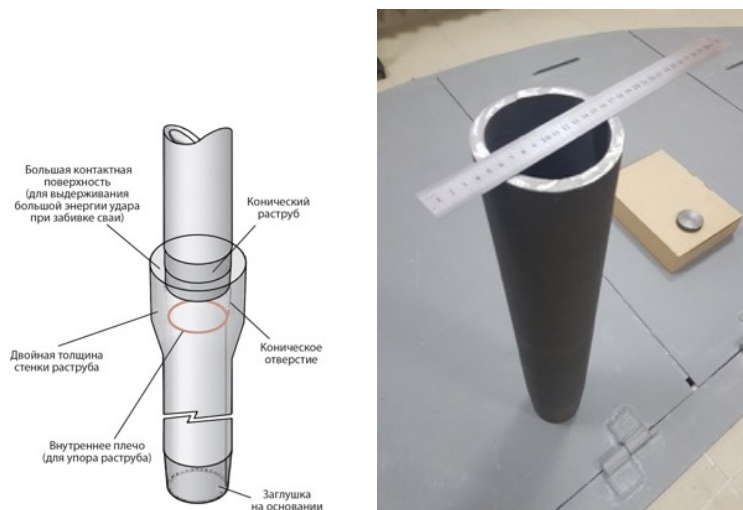


Рис. 13. Схема сопряжения свай. Фото фрагмента ствола свай.

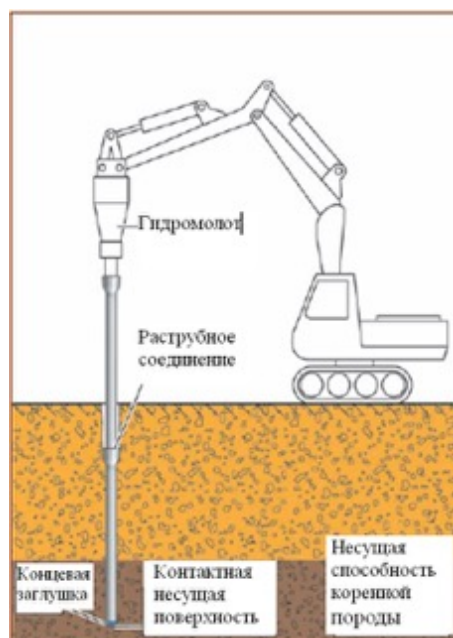


Рис. 14. Схема погружения свай с открытым нижним концом.

Основное преимущество таких свай - сокращение времени устройства свай за счет простоты монтажа и экономичность (стыковка труб за счет раструбного соединения, отсутствие отходов, возможность использования обычного легкого экскаватора для погружения свай); увеличенная несущая способность за счет

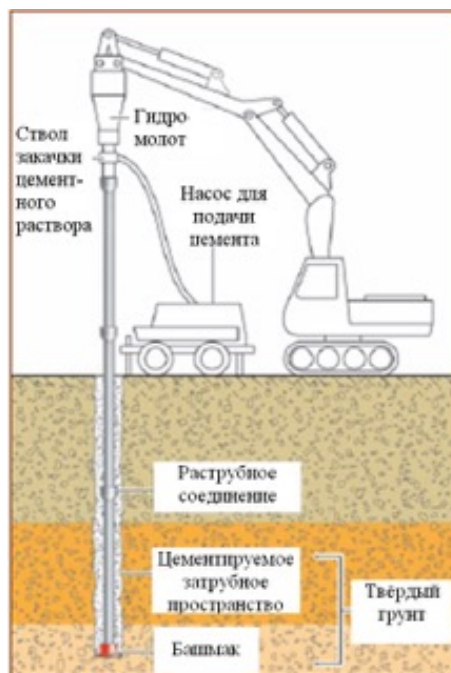


Рис. 15. Схема погружения сваи с закрытым нижним концом (со свайным башмаком).

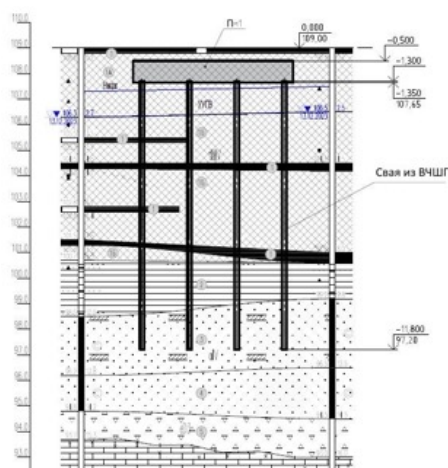


Рис. 16. Инженерно-геологический разрез под свайный фундамент под оборудование. Условные обозначения: Пм-1 – фундамент под оборудование, ИГЭ 1,1Б – насыпные грунты, ИГЭ 2 – глина полутвердая, ИГЭ 3,4 – песок средней крупности, средней плотности, ИГЭ 5 – щебенистый грунт, ИГЭ 6 – известняк. План свай приведен на рис. 17.



Показаны отличительные особенности технологий устройства буроинъекционных свай. В дальнейших исследованиях планируется усовершенствовать методику расчета свай ВЧШГ по грунту путем уточнения коэффициентов трения по боковой поверхности. Показана тенденция развития методов устройства микросвай.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад авторов.** Вклад авторов равноценен.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

### ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** The authors declare that they have no competing interests.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding.** This study was not supported by any external sources of funding.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рытов С.А. Метод расчета несущей способности буроинъекционных свай, выполняемых с применением электроразрядной технологии // Жилищное строительство. 2010. no. 2. P. 20–21.
- [2] Рытов С.А. Эффективность применения электроразрядных технологий для устройства геотехнических конструкций // Жилищное строительство. 2010. no. 5. P. 47–50.
- [3] Рытов С.А. Устройство буроинъекционных свай с применением электроразрядной технологии в различных грунтовых условиях : Диссертация кандидата технических наук / С.А. Рытов ; 05.23.02. Москва, 2009. P. 223.
- [4] Соколов Н.С. Опыт использования буроинъекционных свай // Мировые стратегии развития науки и образования в новой реальности: междисциплинарные исследования. Москва : Издательство "Научная парадигма 2024. P. 169–172.
- [5] Соколов Н.С. Использование электроразрядной технологии при усилении основания реконструируемого объекта // General question of world science. Collection of Scientific Papers based on the results of an XXII international scientific conference. Florence, 2024. P. 54–60.
- [6] Ефремов И.В., Антонов Б.Ю. Применение свайных труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // Фундаменты. 2023. no. 3 (13). P. 48–51.
- [7] Бабаев В.Н. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом - материал для производства свай // Проблемы строительного производства и управления недвижимостью: Материалы VI Международной научно-практической конференции. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. P. 211–220.
- [8] Уваров Л.А. Определение напряжений и высоты грунтового ядра в погруженной свае-оболочке // Морские инженерные изыскания и портовое гидротехническое строительство. 1989. P. 63–66.
- [9] Bohn C., Santos A.A., Frank R. Development of axial pile load transfer curves based on instrumented load tests // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2017. Vol. 143, no. 1. P. 04016081–1–04016081–15.
- [10] Hayden M. Pile HAY-Proof-System® (Pile H-P-S) - New Test Method for Static Load Test of Slender Piles // Proc. 11th ISM int. Workshop on Micropiles. Milan, 2011.

## REFERENCES

- [1] Rytov S.A. Method for calculating the insignificant abilities of drilled injection piles performed using electric discharge technology // Housing Construction. 2010. no. 2. P. 20–21.
- [2] Rytov S.A. Efficiency of using electric discharge technologies for the construction of geotechnical structures // Housing Construction. 2010. no. 5. P. 47–50.
- [3] Rytov S.A. Construction of drilled injection piles using electric discharge technology in various soil conditions : PhD Thesis / S.A. Rytov ; 05.23.02. Moscow, 2009. P. 223.
- [4] Sokolov N.S. Experience in using drilled injection piles // World strategies for the development of science and education in the new reality: interdisciplinary research. Moscow : Scientific Paradigm Publishing House, 2024. P. 169–172.
- [5] Sokolov N.S. The use of electric discharge technology in strengthening the base of a reconstructed object // General question of world science. Collection of Scientific Papers based on the results of an XXII international scientific conference. Florence, 2024. P. 54–60.
- [6] Efremov I.V., Antonov B.Yu. Application of pile pipes made of high-strength cast iron with nodular graphite // Foundations. 2023. no. 3 (13). P. 48–51.
- [7] Babaev V.N. High-strength cast iron with nodular graphite - a material for the production of piles // Problems of construction production and real estate management: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. Kemerovo : Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2020. P. 211–220.
- [8] Uvarov L.A. Determination of stresses and heights of the soil core in a submerged pile-shell // Marine engineering surveys and port hydraulic engineering. 1989. P. 63–66.
- [9] Bohn C., Santos A.A., Frank R. Development of axial pile load transfer curves based on instrumented load tests // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2017. Vol. 143, no. 1. P. 04016081–1–04016081–15.
- [10] Hayden M. Pile HAY-Proof-System® (Pile H-P-S) - New Test Method for Static Load Test of Slender Piles // Proc. 11th ISM int. Workshop on Micropiles. Milan, 2011.