

РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

А.А. ЧУРКИН, канд. техн. наук

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 12, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Высокая интенсивность работ по сооружению свайных фундаментов требует налаженной системы испытаний и контроля качества. Основные неразрушающие методы технической геофизики, применяемые для контроля сплошности бетона и глубины заложения свай, достаточно хорошо исследованы с научной и практической точек зрения. Переход к системе параметрического нормирования дал возможность зафиксировать ряд положений по применению данных методов в национальных стандартах. Сейсмоакустические методы и межскважинный ультразвуковой контроль получили свои стандарты ГОСТ Р 71039 и ГОСТ Р 72171, термометрический метод вошел в имеющий широкий охват ГОСТ Р 71733. Синхронный выход нескольких регламентирующих документов позволит специалистам-геофизикам расширить поле деятельности благодаря возможности выполнения комплексных работ.

Цель. Информирование инженеров-испытателей, проектировщиков и сотрудников надзорных организаций об актуальном состоянии нормативной регламентации неразрушающего контроля качества свайных фундаментов.

Материалы и методы. Описан комплекс геофизических методов, применяемых для контроля сплошности и длины свайных фундаментов. Указаны методы, разработанность которых позволила включить их в нормативные документы.

Результатом работы является систематизация информации об актуальном состоянии вопроса нормативной регламентации применения геофизических методов для неразрушающего контроля качества свай. На примере содержания стандартов для сейсмоакустического, ультразвукового, термометрического методов показаны возможные направления регламентации методов технической геофизики.

Выводы. Основные геофизические методы, применяемые при неразрушающем контроле качества свайных фундаментов, в настоящий момент получили необходимую регламентацию на уровне национальных стандартов. Обеспечена возможность накопления информации о возможностях и ограничениях вспомогательных методик обследования. Перспектива развития нормативной регламентации состоит в дальнейшей гармонизации стандартов с действующими сводами правил и ГОСТами и анализе эмпирического материала, который позволит дорабатывать документы при их пересмотре в будущем.

Ключевые слова: техническое регулирование, техническая геофизика, контроль качества, неразрушающий контроль, свайные фундаменты, испытания свай, сейсмоакустический метод, ультразвуковой метод, термометрический метод

Для цитирования: Чуркин А.А. Развитие нормативной регламентации неразрушающего контроля качества свайных фундаментов. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;47(4):104–117. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-104-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-104-117)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.08.2025

Поступила после рецензирования 22.09.2025

Принята к публикации 25.09.2025

DEVELOPMENT OF REGULATIONS FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PILE FOUNDATIONS

A.A. CHURKIN, Cand. Sci. (Engineering)

Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 12, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. Highly intensive work on the construction of pile foundations requires a well-established system of testing and quality control. The main non-destructive methods of technical geophysics used to monitor the integrity of concrete and depth of piles is sufficiently well studied from both a scientific and practical point of view. The transition to a parametric standardization system established a number of provisions for the application of these methods in national standards. Low strain impact testing methods and crosshole sonic logging received their own State Standard R 71039 and State Standard R 72171 standards; thermal integrity profiling was included in broad-scope State Standard R 71733. The simultaneous release of several regulatory documents will expand the field of geophysical activity due to the ability of performing complex work.

Aim. To inform test engineers, designers, and employees of supervisory organizations about the current state of regulatory framework on non-destructive testing of pile foundations.

Materials and methods. The paper describes a set of geophysical methods used to monitor the integrity and length of pile foundations. The methods developed sufficiently for including in regulatory documents are indicated.

Results. The performed work systematizes the information on the current state of regulatory framework on the use of geophysical methods for non-destructive testing of piles. The content of standards for low strain impact, crosshole sonic logging, and thermal integrity profiling testing is used to demonstrate possible directions for regulating methods of technical geophysics.

Conclusions. The main geophysical methods used in non-destructive testing of pile foundations have now received the necessary regulation in national standards. The possibility of accumulating information on the capabilities and limitations of auxiliary examination methods is provided. The prospects for developing regulatory frameworks lie in the further harmonization of standards with current codes and State Standards, including the analysis of empirical data to correct documents during future revisions.

Keywords: technical regulation, technical geophysics, quality control, non-destructive testing, pile foundations, pile testing, low strain impact testing, crosshole sonic logging, thermal integrity profiling

For citation: Churkin A.A. Development of regulations for non-destructive testing of pile foundations. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;47(4):104–117. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-104-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-104-117)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the study.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 21.08.2025

Revised 22.09.2025

Accepted 25.09.2025

Введение

Технологичность процесса и высокие темпы устройства свайных фундаментов требуют налаженной системы испытаний и контроля качества [1, 2]. Основные методы технической геофизики [3, 4], применяемые для контроля сплошности бетона и глубины заложения свай, – поверхностный сейсмоакустический и межскважинный ультразвуковой, достаточно хорошо исследованы с научной и практической точек зрения [5–11].

Переход к системе параметрического нормирования и связанные с ним изменения в работе с положениями нормативных документов [12–15] потребовали ряда связанных шагов по регламентации применения геофизики для контроля качества конструкций. Сейсмоакустический и ультразвуковой методы получили свои стандарты ГОСТ Р 71039-2023 [16] и ГОСТ Р 72171-2025 [17], фиксирующие ряд положений по их применению. Область применения документов установлена таким образом, чтобы оставалась возможность выполнения опытно-методических работ по решению специфических задач. Применение методов на практике часто позволяет изучать конструкции, подобные сваям по тем или иным параметрам [18–20].

На рис. 1 [6] представлена сравнительная диаграмма геофизических методов неразрушающего контроля свайных фундаментов, использующих различные по характеру физические принципы. Эти методы значительно различаются по распространенности, объему подготовительных работ и разрешающей способности. Курсивом даны методики, для которых в настоящий момент созданы нормативные документы. Можно заметить, что лучше всего разработан вопрос применения волновых методов.

Общие положения термометрического метода (thermal integrity profiling, TIP) отражены в ГОСТ Р 71733-2024 [21]. Последние научные исследования области применения и ограничений данной методики показывают, что сопровождавший введение метода в широкую практику в 2010-е годы ажиотаж был преждевременен – ограничения области применения метода требуют уточнения [22–24].

Синхронный выход нескольких регламентирующих документов позволит специалистам-геофизикам расширить поле деятельности с учетом возможностей комплекса полевых методов. Необходимость дальнейшего развития методов неразрушающего контроля свай обусловлена техническими сложностями, высокой стоимостью и ограниченной применимостью методов прямого контроля качества, поэтому можно рассчитывать на тот факт, что и другие методы, перечисленные на рис. 1, получат развитие, с дальнейшим включением в нормативы.

В рамках настоящего материала будут обозначены особенности регулирования применения геофизических методов и описан ряд деталей разработанных документов.



Рис. 1. Методы неразрушающего контроля качества свай (с изменениями, из [6]), сгруппированные согласно используемым физическим принципам

Fig. 1. Methods of non-destructive pile testing (with modifications from [6]) in accordance with used physical principles

Методы исследования

Действующими нормативно-техническими документами обязательного и добровольного применения (СП 45.13330.2017 [25], СП 47.13330.2016 [26], СП 120.13330.2022 [27], СП 122.13330.2023 [28] и др.) установлена необходимость использования геофизических методов для решения следующих задач: проведение инженерно-геологических изысканий, обследование сооружений и строительных конструкций, контроль качества строительства, научно-техническое сопровождение строительства. Применительно к обследованию свайных фундаментов это в первую очередь исследование состояния уже изготовленной конструкции – на этапе выходного контроля либо в рамках оценки технического состояния сооружения.

Чтобы определить комплекс необходимых нормативных мер, коротко опишем путь нормативного регулирования неразрушающего контроля свай в последние годы. Вопросы назначения испытаний свай активно обсуждались в сообществах специалистов в минувшее десятилетие [1–3]. Упоминания методов и указания на определение объемов исследований уже содержались в текстах профильных сводов правил. На практике это приводило к ситуациям, в которых от органов технического надзора, проектировщиков и обследователей требовалось учитывать результаты геофизики в своей работе. На российском рынке появилось оборудование отечественного производства, позволяющее выполнять комплекс исследований (за исключением метода испытаний свай с волновой теорией удара).

Для отдельных методов группами специалистов разрабатывались документы уровня стандартов организаций (СТО) [2], предварительных национальных стандартов (например, ГНСТ 804-2022 [29]), методические руководства. Этапным является «Руководство по контролю

качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы» [30], выпущенное в 2021 году, от которого можно вести отсчет появления современной нормативной документации по контролю сплошности свай [14].

Как отмечается в [3], основным направлением нормативного развития для методов технической геофизики является создание на основе существующих методик полноценных инженерно-геофизических технологий. Для этого необходимо решение нескольких задач [4]: определение применимости теоретических моделей; разработка специализированных методов обработки; построение интерпретационных моделей; наличие специализированных аппаратных и программных комплексов; подготовка нормативной и методической документации для процедуры исследования.

С учетом описанной выше специфики можно предложить следующую схему регламентации геофизического метода (рис. 2), опирающуюся на три направления:

- разработка документов, регламентирующих работу специалиста в полевых и камеральных условиях;
- уточнение области применения метода за счет его включения в документы, отвечающие за назначение объемов исследований;
- разработка рекомендаций и указаний по работе с результатами геофизики.

Рассмотрим подробнее реализацию первого направления на примере новейших нормативных документов.

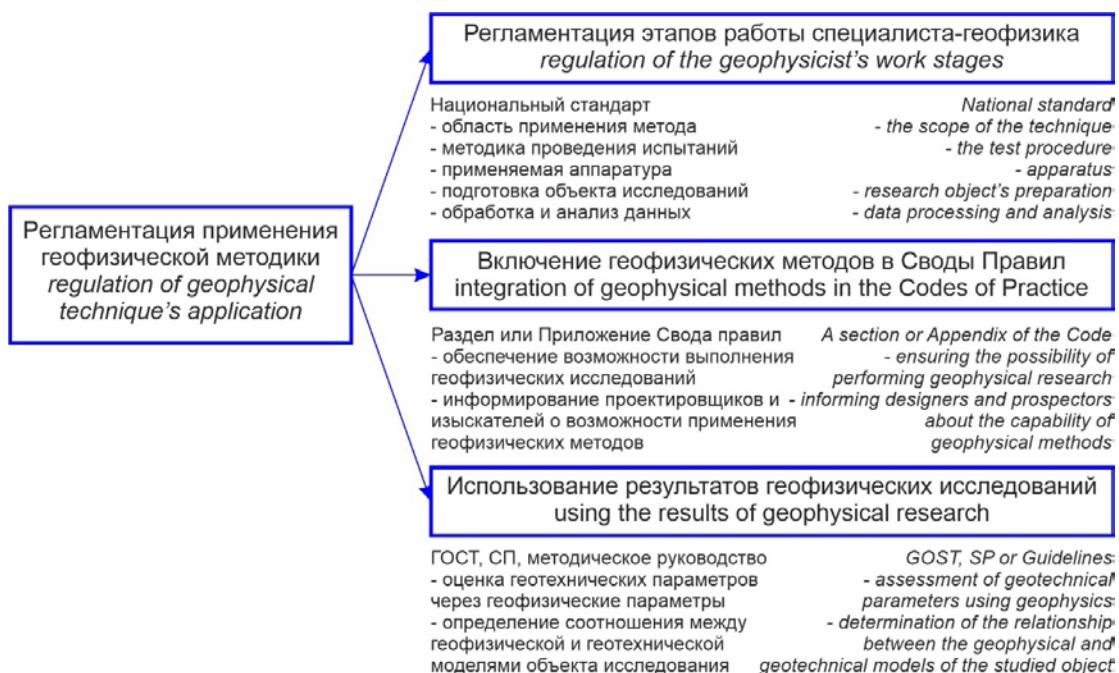


Рис. 2. Предлагаемая схема мероприятий по нормированию применения геофизических методов для решения задач капитального строительства

Fig. 2. Proposed scheme of measures for standardizing the application of geophysical methods in permanent construction

Результаты

Разработка стандартов осуществлялась по государственным заданиям по реализации комплекса мероприятий по развитию нормативной технической базы в области строительства по приоритетным для государства направлениям. К процессу разработки привлекались специалисты научных и производственных организаций, зарекомендовавших себя в использовании регламентируемых методик.

Первым национальным стандартом, регулирующим неразрушающий контроль бетона свай, стал ГОСТ Р 71039-2023 [16] (рис. 3а). Помимо Руководства [30] текст стандарта описался на СТО ЭГЕОС 1-1.1-001-2018 [31] и международный стандарт ASTM D6760-16 [32].

Аспектом стандартизации стали основные требования к проведению испытаний, включая:

- требования к методике проведения испытаний (зарегистрировано положение о минимальном шаге между соседними измерениями по профилю, ранее игнорируемое многими испытателями [2]);

- требования к подготовке конструкции к проведению испытаний (включая рекомендации к количеству труб доступа в зависимости от диаметра сваи);

- требования к применяемой аппаратуре (необходимость соответствовать им уже благотворно сказалась на отечественном приборном парке – ООО НПП «Интерприбор» был выпущен аппаратный комплекс «ДБС-2», не уступающий зарубежным аналогам);

- требования к обработке результатов испытаний (включая указание на расчет нормального значения скорости на профиле и параметра затухания сигнала);

- требования к интерпретации результатов испытаний (включая критерии выделения ультразвуковых аномалий, опирающиеся не только на российскую, но и на зарубежную практику [4, 6]).

Следующим методом, вошедшим в документ уровня национального стандарта, стал термометрический метод (рис. 3б). В рамках ГОСТ Р 71733-2024 [21], основные положения метода были описаны в разделе 5 «Методы контроля качества монолитных и фундаментных конструкций» (табл. 1).

Последние научные исследования в области применения метода показали, что для TIP (thermal integrity profiling, термометрический метод) все еще остается много вопросов, не позволяющих конкретизировать этапы анализа данных (по аналогии с критериями выделения ультразвуковых аномалий).

В [22] показано, что на условия регистрации могут повлиять значительные изменения температуры окружающего сваю грунта. В [23] показано, что ряд фундаментальных для методики вопросов также изучен слабо. К ним отнесены: оценка оптимального времени для проведения измерений; воздействие различных параметров дефектов на тепловое поле; размер зоны, непосредственно определяющей показания датчиков; минимальный локализуемый размер дефекта. Результаты экспериментов показали, что оптимальное время для мониторинга расположено не вблизи температурного пика гидратации, а около 60 % от времени достижения максимальной температуры; минимальный обнаруживаемый размер дефекта составляет не менее 4 % от площади поперечного сечения (что ставит под сомнение возможность успешного контроля состояния защитного слоя). В [24] на основе анализа данных метода обучена модель нейронного классификатора, показавшая высокую эффективность. При этом показано, что наихудшим образом выделяются дефекты,

Таблица 1

Геофизические методы, применяемые при контроле качества свайных фундаментов и «стен в грунте», согласно ГОСТ Р 71733-2024 [21]

Table 1

Geophysical methods used in the quality control of pile foundations and diaphragm walls according to State Standard R 71733-2024 [21]

Конструкция	Контролируемый параметр	Геофизические методы				
		сейсмо-акустический метод	георадарный метод	ультразвуковой метод	термометрический метод	скважинные сейсмо-акустические методы
Свайный фундамент	длина	да	нет	косвенно		параллельный сейсмический метод
	сплошность бетона	да, за исключением дефекта в области нижнего торца сваи	нет	в пределах области, ограниченной расположением труб доступа		косвенно, при применении параллельного сейсмического метода
«Стена в грунте» траншейного и свайного типов	глубина заложения	да	нет	косвенно		да
	дефект сечения	да	нет	в пределах области, ограниченной расположением труб доступа		нет
	дефект зоныстыка свай/захваток	нет	нет	косвенно		нет

расположенные на удалении от установленных в теле конструкции датчиков, вплоть до полной их незаметности.

Это означает, что разработка отдельного национального стандарта в настоящий момент не позволит повысить достоверность применения метода, требуется накопление и анализ результатов испытаний.

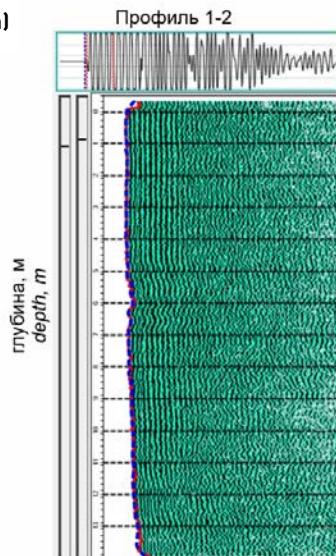
Наконец, ГОСТ Р 72171-2025 [17] утвержден приказом Росстандарта от 01 июля 2025 года № 659-ст и вступит в силу с 1 января 2026 года взамен ПНСТ 804-2022 [29].

Стандарт распространяется на железобетонные буронабивные, забивные, вдавливаемые, набивные сваи, барретты и устанавливает порядок проведения неразрушающего контроля длины и сплошности бетона свай сейсмоакустическими методами (рис. 4). Положения стандарта распространяются на исследования, выполняемые на этапе строительства или обследования конструкций. Помимо специалистов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова в состав команды разработчиков вошли признанные эксперты в области применения сейсмоакустических методов из МГУ им. М.В. Ломоносова, ЦГЭМИ ИФЗ РАН, ООО «ОЗИС-Венчур».

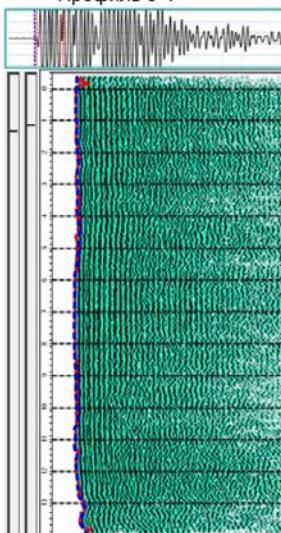
Отличительной особенностью данного документа стало включение в него информации по некоторым вспомогательным методикам сбора и анализа данных, описанным в [4, 5]. В стандарте даны основные положения:

– поверхностного сейсмоакустического метода, включая вопросы обследования свай в составе ростверков и действующих сооружений, и вопрос статистической обработки результатов при сплошном контроле качества свай фундамента;

а (а)



Профиль 3-4



б (б)

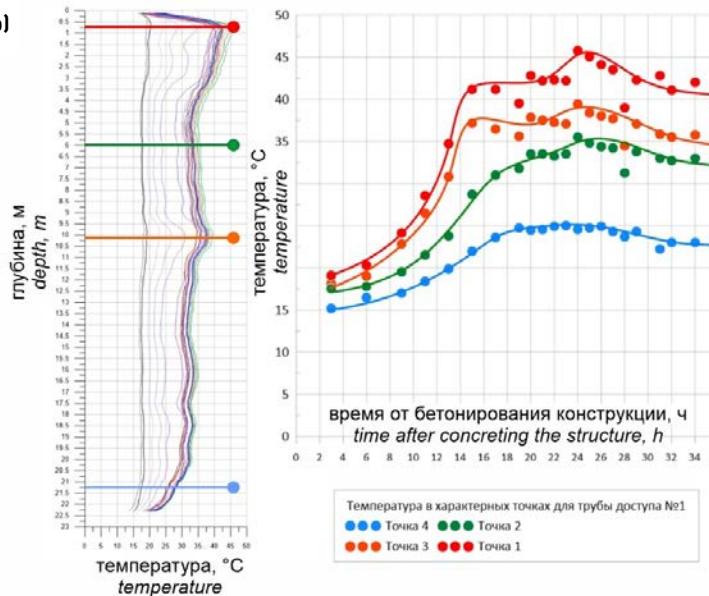


Рис. 3. Примеры данных, регистрируемых при: а – ультразвуковом контроле, в виде сейсмограмм; б – термометрическом мониторинге (фото А.А. Чуркина)

Fig. 3. Examples of data recorded during: a – ultrasonic monitoring, in the form of seismograms; b – thermometric monitoring (photo by A.A. Churkin)

- профилирования с общим пунктом возбуждения/ультрасейсмического метода (профилирование ОПВ, ultraseismic testing);
- параллельного сейсмического метода (parallel seismic testing, PSM);
- метода анализа частотной характеристики/метода анализа кривой мобильности (steady-state frequency response, mobility response analysis).

Основным аспектом стандартизации в рамках разработанного документа стало обозначение возможностей и ограничений сейсмоакустических методов, применяемых для оценки длины и сплошности бетона свайных фундаментов.

Документ призван не только нормализовать и упростить работу инженерам-испытателям, но также: помочь проектировщикам в определении методов исследования в зависимости от особенностей обследуемой конструкции; дать органам технического надзора необходимую информацию для организации контроля качества за выполнением сейсмоакустического контроля; дать возможность специалистам-геофизикам использовать малораспространенные методики обследования с опорой на нормативную базу; пристимулировать российских производителей геофизического оборудования к разработке новых поколений приборов для выполнения испытаний сейсмоакустическими методами.

Процесс развития нормативной регламентации применения геофизических методов в рамках инженерных и геотехнических изысканий, открытый вопросом контроля качества свай, уже им не ограничивается. Вышли ГОСТ Р 71757-2024 [33] и ГОСТ Р 71771-2024 [34], регламентирующие выполнение работ методами вертикального электрического зондирования и электропрофилирования. В разработке находится проект национального стандарта «Инженерные изыскания. Геофизические исследования. Метод электротомографии».

Начатая с ГОСТ Р 71039-2023 [16] систематическая работа по созданию и внедрению стандартов в области применения методов технической и инженерной геофизики при решении специфических задач капитального строительства будет продолжена.

Заключение

Геофизические методы, наиболее распространенные при неразрушающем контроле качества свайных фундаментов (сейсмоакустический метод и его модификации, межсважинный ультразвуковой метод), в настоящий момент получили необходимую подробную регламентацию в национальных стандартах ГОСТ Р 71039-2023 [16] и ГОСТ Р 72171-2025 [17].

За счет выхода стандарта ГОСТ Р 71733-2024 [21], регламентирующего назначение геофизических методов (включая термометрический метод контроля качества свайных фундаментов) при контроле качества скрытых работ, обеспечена возможность по накоплению информации о возможностях и ограничениях вспомогательных методик обследования.

Перспектива развития нормативной регламентации состоит в дальнейшей гармонизации выпущенных стандартов с действующими сводами правил и ГОСТами, чтобы упростить взаимодействие с результатами геофизических исследований для специалистов-геотехников. Кроме того, требуется дальнейшее накопление эмпирического материала о результативности применения геофизического комплекса, что позволит дорабатывать документы на этапах их пересмотра в будущем.

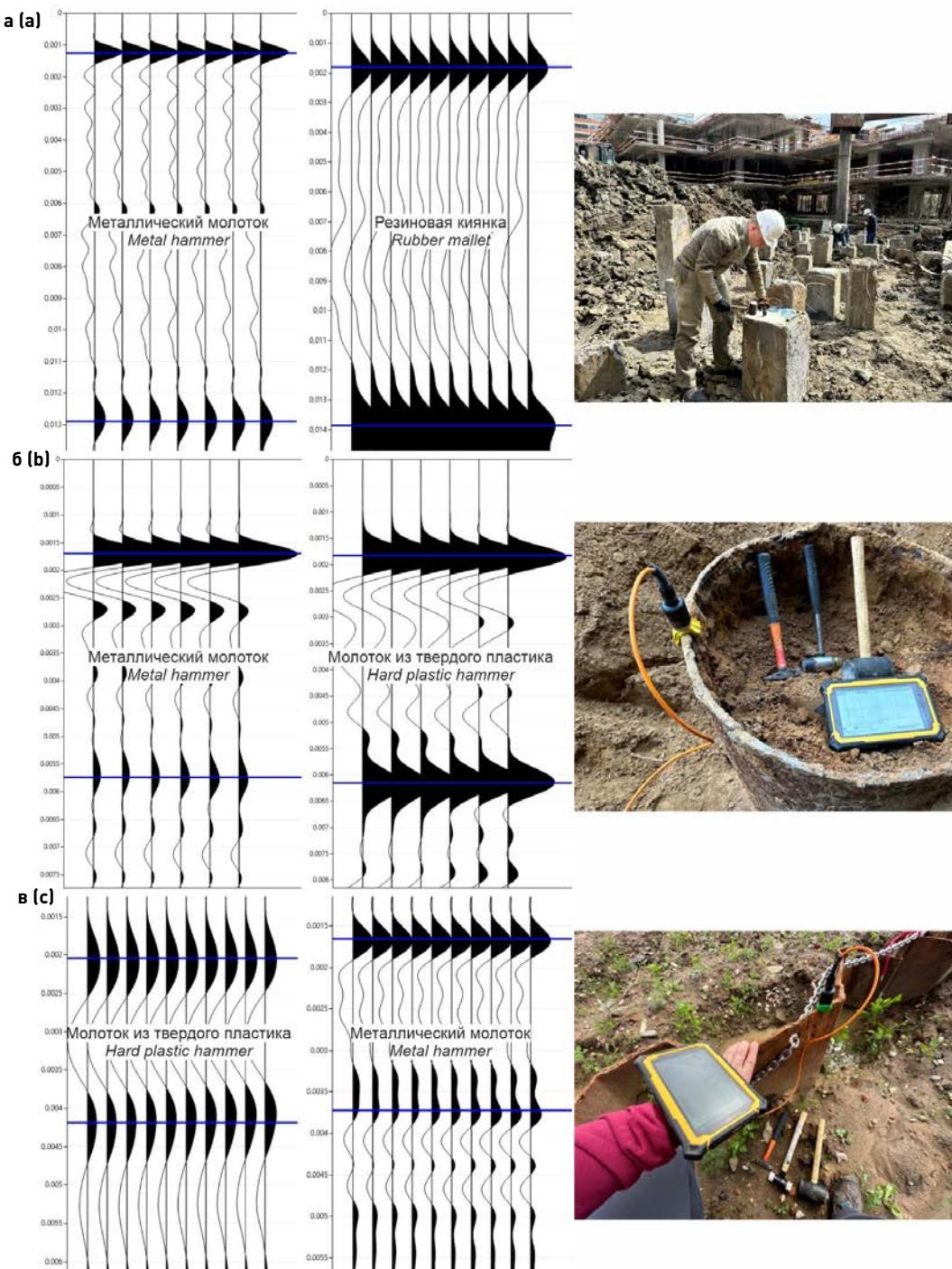


Рис. 4. Примеры сигналов, регистрируемых при обследовании свай различных типов: а – составная забивная свая; б – трубосвая; в – шпунт [фото А.А. Чуркина]

Fig. 4. Examples of signals recorded during testing of various pile types: a – composite driven pile; b – pipe pile; c – sheet pile (photo by A.A. Churkin)

Список литературы

1. Дзагов А.М., Шейнин В.И., Костенко Е.С., Блохин Д.И. К вопросу о назначении объемов работ по контролю качества бетона набивных и буровых свай. Геотехника. 2017;(1):64–69.
2. Мухин А.А., Капустин В.В., Чуркин А.А., Лозовский И.Н. О техническом регулировании неразрушающего контроля сплошности свай. Геотехника. 2019;11(2):80–89. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-2-80-89>.
3. Капустин В.В., Владов М.Л. Техническая геофизика. Методы и задачи. Геотехника. 2020;12(4):72–85. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85>.
4. Чуркин А.А., Капустин В.В., Модин И.Н., Шевнин В.А. Методы технической геофизики. Тверь: Полипресс; 2025.
5. Чуркин А.А. О возможностях вспомогательных методик сейсмоакустического обследования свайных фундаментов. Вестник НИЦ Строительство. 2023;36(1):59–71. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\[36\]-59-71](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1[36]-59-71).
6. Lozovsky I., Churkin A. Spectral analysis of cross-hole sonic logging data for pile integrity assessment. Research on engineering structures and materials. 2024;10(3):1051–1063. <https://doi.org/10.17515/resm2024.82me1115rs>.
7. Liu X., Hesham E.I., Naggar M., Wang K., Wu W. Theoretical analysis of three-dimensional effect in pile integrity test. Computers and Geotechnics. 2020;127:103765. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103765>.
8. Liao S.-T., Tong J.-H., Chen C.-H., Wu T.-T. Numerical simulation and experimental study of parallel seismic test for piles. International Journal of Solids and Structures. 2006;43(7–8):2279–2298. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.03.057>.
9. Ho T.Ch.E., Zwetsloot I.M. Precision of CSLT measurement system for defect detection in bored piles. Quality Engineering. 2023;35(2):353–363. <https://doi.org/10.1080/08982112.2022.2118062>.
10. Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R. Refining low strain pile integrity testing for minor flaw detection with complex wavelet transform. Civil Engineering Journal. 2024;10(10):3194–3207. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-10-05>.
11. Wu Ju., El Naggar M.H., Wang K. A hybrid convolutional and recurrent neural network for multi-sensor pile damage detection with time series. Sensors. 2024;24(4):1190. <https://doi.org/10.3390/s24041190>.
12. Колыбин И.В., Разводовский Д.Е. Пределы гармонизации отечественных геотехнических норм и Еврокода 7. Вестник НИЦ Строительство. 2017;(2):65–80.
13. Конюхов Д.С., Колыбин И.В. Основные принципы комплексного освоения подземного пространства Москвы. Требования современных строительных норм. Метро и тоннели. 2021;(1):34–37.
14. Чуркин А.А., Капустин В.В., Конюхов Д.С., Владов М.Л. Последние изменения в российской практике нормативного регулирования технической геофизики. Геотехника. 2021;13(2):56–70. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2021-13-2-56-70>.
15. Конюхов Д.С. Безопасность существующей застройки при производстве подземных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022;(8):158–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_158.
16. ГОСТ Р 71039-2023. Сваи буронабивные и «стены в грунте» траншейного и свайного типов. Межсекважинный ультразвуковой метод контроля качества бетона. Москва: Российский институт стандартизации; 2023.
17. ГОСТ Р 72171-2025. Сваи. Сейсмоакустические методы контроля сплошности бетона и длины свай [интернет]. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=5&month=7&year=2025&search=&id=267242>.
18. Li C., Gao G., Wang Y. Application of Hilbert instantaneous spectrum on improved bolt anchoring quality detection. Engineering Reports. 2022;4(12):e12581. <https://doi.org/10.1002/eng2.12581>.
19. Krause M., Dackermann U., Li J. Elastic wave modes for the assessment of structural timber: ultrasonic echo for building elements and guided waves for pole and pile structures. Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2015;(5):221–249. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0087-2>.
20. Souza T.D.J., Querelli A. The use of the pile integrity test (PIT) to detect anomaly such as reinforcement exposure in short caissons. Dyna-Colombia. 2023;90(229):45–50. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n229.107942>.
21. ГОСТ Р 71733-2024. Строительные работы и типовые технологические процессы. Контроль качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов. Москва: Российский институт стандартизации; 2023.

- 22.** Liu Y., Ding H., Wang K., Xiao H., Li L. Thermal conduction characteristics of dts when detecting the integrity of cast-in-place piles considering their environment. *Heat and Mass Transfer*. 2020;56(7):2185–2202. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02848-3>.
- 23.** Sun Q., Elshafie M.Z.E.B., Xu X., Schooling J. Pile defect assessment using distributed temperature sensing: fundamental questions examined. *Structural Health Monitoring*. 2024;23(3):1701–1724. <https://doi.org/10.1177/14759217231189426>.
- 24.** Sánchez Fernández J., Ruiz López A., Taborda D.M.G. A Novel Machine Learning-Based Approach to Thermal Integrity Profiling of Concrete Pile Foundations. *Data-Centric Engineering*. 2025;6:e33. <https://doi.org/10.1017/dce.2025.10013>.
- 25.** СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=429622>.
- 26.** СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Москва: Стандартинформ; 2017.
- 27.** СП 120.13330.2022. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 [интернет]. Режим доступа: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_120_13330_2022/.
- 28.** СП 122.13330.2023. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97 [интернет]. Режим доступа: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_122_13330_2023/.
- 29.** ПНСТ 804-2022. Сваи. Сейсмоакустический метод контроля длины и сплошности [интернет]. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=9&month=1&year=2023&search=&id=249144>.
- 30.** Правительство Москвы. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. Руководство по контролю качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы. Москва; 2021.
- 31.** СТО ЭГЕОС 1-1.1-001-2018. Применение неразрушающего контроля сплошности свай ультразвуковым методом. 2018.
- 32.** ASTM D6760-16. Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing [Withdrawn 2025] [internet]. Available at: <https://store.astm.org/d6760-16.html>.
- 33.** ГОСТ Р 71757-2024. Инженерные изыскания. Геофизические исследования. Метод вертикального электрического зондирования. Москва: Российский институт стандартизации; 2024.
- 34.** ГОСТ Р 71771-2024. Инженерные изыскания. Геофизические исследования. Метод электропрофилирования. Москва: Российский институт стандартизации; 2024.

References

1. Dzagov A.M., Sheinin V.I., Kostenko E.S., Blokhin D.I. Regarding the scope of work related to the quality control of concrete of cast-in-place and bored piles. *Geotechnics*. 2017;1(1):64–69. (In Russian).
2. Mukhin A.A., Kapustin V.V., Churkin A.A., Lozovsky I.N. Technical regulation of pile integrity testing. *Geotechnics*. 2019;11(2):80–89. (In Russian). <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-2-80-89>.
3. Kapustin V.V., Vladov M.L. Technical geophysics. Methods and tasks. *Geotechnics*. 2020;12(4):72–85. (In Russian). <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85>.
4. Churkin A.A., Kapustin V.V., Modin I.N., Shevnnin V.A. Methods of technical geophysics. Tver: Polipress Publishing House; 2025. (In Russian).
5. Churkin A.A. Capabilities of auxiliary techniques for low strain impact testing of piles foundations. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;36(1):59–71. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-59-71](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-59-71).
6. Lozovsky I., Churkin A. Spectral analysis of cross-hole sonic logging data for pile integrity assessment. *Research on Engineering Structures and Materials*. 2024;10(3):1051–1063. <https://doi.org/10.17515/resm2024.82me1115rs>.
7. Liu X., Hesham E.I. Naggar M., Wang K., Wu W. Theoretical analysis of three-dimensional effect in pile integrity test. *Computers and Geotechnics*. 2020;127:103765. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103765>.

8. *Liao S.-T., Tong J.-H., Chen C.-H., Wu T.-T.* Numerical simulation and experimental study of parallel seismic test for piles. *International Journal of Solids and Structures.* 2006;43(7-8):2279–2298. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.03.057>.
9. *Ho T.Ch.E., Zwetsloot I.M.* Precision of CSLT measurement system for defect detection in bored piles. *Quality Engineering.* 2023;35(2):353–363. <https://doi.org/10.1080/08982112.2022.2118062>.
10. *Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R.* Refining low strain pile integrity testing for minor flaw detection with complex wavelet transform. *Civil Engineering Journal.* 2024;10(10):3194–3207. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-10-05>.
11. *Wu Ju., El Naggar M.H., Wang K.* A hybrid convolutional and recurrent neural network for multi-sensor pile damage detection with time series. *Sensors.* 2024;24(4):1190. <https://doi.org/10.3390/s24041190>.
12. *Kolybin I.V., Razvodovsky D.E.* Limits of Harmonization of Domestic Geotechnical Standards and Eurocode 7. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2017;(2):65–80. (In Russian).
13. *Konyukhov D.S., Kolybin I.V.* Basic principles of integrated development of Moscow's underground space. Requirements of modern building codes. *Metro i tonnelli.* 2021;(1):34–37. (In Russian).
14. *Churkin A.A., Kapustin V.V., Konyukhov D.S., Vladov M.L.* Recent developments in Russian practice of normative regulation of technical geophysics. *Geotechnics.* 2021;13(2):56–70. <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2021-13-2-56-70>.
15. *Konyukhov D.S.* Safety of existing buildings during underground mining. *Mining information and analytical bulletin.* 2022;(8):158–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_158.
16. State Standard R 71039-2023. Bored piles, diaphragm and pile walls. Integrity testing of concrete quality by crosshole ultrasonic logging method. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023. (In Russian).
17. State Standard R 72171-2025. Piles. Low strain impact test methods for pile integrity and length assessment [internet]. Available at: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=5&month=7&year=2025&search=&id=267242>. (In Russian).
18. *Li C., Gao G., Wang Y.* Application of Hilbert instantaneous spectrum on improved bolt anchoring quality detection. *Engineering Reports.* 2022;4(12):e12581. <https://doi.org/10.1002/eng.212581>.
19. *Krause M., Dackermann U., Li J.* Elastic wave modes for the assessment of structural timber: ultrasonic echo for building elements and guided waves for pole and pile structures. *Journal of Civil Structural Health Monitoring.* 2015;(5):221–249. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0087-2>.
20. *Souza T.D.J., Querelli A.* The use of the pile integrity test (PIT) to detect anomaly such as reinforcement exposure in short caissons. *Dyna-Colombia.* 2023;90(229):45–50. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n229.107942>.
21. State Standard R 71733-2024. Construction work and typical technological processes. Quality control of hidden works by geophysical methods in the construction of underground facilities. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023. (In Russian).
22. *Liu Y., Ding H., Wang K., Xiao H., Li L.* Thermal conduction characteristics of dts when detecting the integrity of cast-in-place piles considering their environment. *Heat and Mass Transfer.* 2020;56(7):2185–2202. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02848-3>.
23. *Sun Q., Elshafie M.Z.E.B., Xu X., Schooling J.* Pile defect assessment using distributed temperature sensing: fundamental questions examined. *Structural Health Monitoring.* 2024;23(3):1701–1724. <https://doi.org/10.1177/14759217231189426>.
24. *Sánchez Fernández J., Ruiz López A., Taborda D.M.G.* A novel machine learning-based approach to thermal integrity profiling of concrete pile foundations. *Data-Centric Engineering.* 2025;6:e33. <https://doi.org/10.1017/dce.2025.10013>.
25. SP 45.13330.2017. Earthworks, Grounds and Footings. Updated version of SNiP 3.02.01-87 [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=429622>. (In Russian).
26. SP 47.13330.2016. Engineering survey for construction. Basic principles. Updated version of SNiP 11-02-96. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. (In Russian).
27. SP 120.13330.2022. Subways. Updated version of SNiP 32.02-2003 [internet]. Available at: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_120_13330_2022/. (In Russian).
28. SP 122.13330.2023. Railways and highway tunnels. Updated version of SNiP 32-04-97 [internet]. Available at: https://nav.tn.ru/documents/regulatory/ast_s_sp_122_13330_2023/. (In Russian).

- 29.** PNST 804-2022. Piles. Low strain impact integrity and length testing [internet]. Available at: <https://protect.gost.ru/default.aspx/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=9&month=1&year=2023&-search=&id=249144>. (In Russian).
- 30.** Moscow Government. Moscow Urban Development Policy and Construction Complex. Guidelines for quality control of hidden works by geophysical methods during the construction of underground structures, including metro facilities, in Moscow. Moscow; 2021. (In Russian).
- 31.** STO AIGEOS 1-1.1-001-2018. Application of non-destructive ultrasonic testing of pile continuity. 2018. (In Russian).
- 32.** ASTM D6760-16. Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing (Withdrawn 2025) [internet]. Available at: <https://store.astm.org/d6760-16.html>.
- 33.** State Standard R 71757-2024. Engineering surveys. Geophysical surveys. Vertical electric sounding method. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. (In Russian).
- 34.** State Standard R 71771-2024. Engineering surveys. Geophysical surveys. Electrical profiling method. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Алексей Андреевич Чуркин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории новых видов свайных фундаментов ЦИСФ, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: chaa92@mail.ru

Aleksei A. Churkin, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Advanced Pile Foundations, Pile Foundation Research Center, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: chaa92@mail.ru