

УДК 620.179.17:624.154.1:550.8.055  
DOI

## ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ДЛИНЫ СВАЙ В СОСТАВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ



**А. А. Чуркин,**  
канд. техн. наук,  
НИИОСП  
им. Н. М. Герсеванова  
АО НИЦ «Строительство»,  
Москва, Россия.  
E-mail: chaa92@mail.ru



**Е. С. Лосева,**  
Санкт-Петербургский  
горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: elizaveta\_loseva@  
mail.ru



**И. Н. Лозовский,**  
Центр геоэлектромантных  
исследований – филиал  
Института физики Земли  
им. О. Ю. Шмидта РАН,  
Троицк, Москва, Россия.  
E-mail: i.n.lozovsky@  
yandex.ru



**В. А. Сясько,**  
д-р техн. наук,  
Санкт-Петербургский  
горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия.  
E-mail: 9334343@gmail.com

Обследование свай, включенных в состав ростверка или существующего здания, – распространенная в практике капитального строительства задача. Неразрушающий сейсмоакустический метод позволяет получить оценку глубины заложения и сплошности свай. Это дает проектировщикам и строителям информацию об исследуемой конструкции, которую можно учесть при планировании дальнейшей эксплуатации фундамента. Интерес представляет вопрос повышения достоверности результатов испытаний по обследованию свай в составе существующих сооружений. На примере результатов полевых испытаний показано применение методики разночастотного возбуждения сигнала при сборе данных и вейвлет-анализа сигналов при их обработке.

**Ключевые слова:** испытания свай, контроль сплошности, неразрушающий контроль, сейсмоакустический метод, направленные волны, обработка данных, вейвлет-анализ.

A. A. Churkin  
(NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC SIC “Construction”,  
Moscow, Russia);

E. S. Loseva  
(Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia);

I. N. Lozovskiy  
(Goelectromagnetic Research Center, Branch of the Schmidt Institute  
of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences  
(GEMRC IPE RAS), Troitsk, Moscow, Russia);

V. A. Syasko  
(Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia)

### INCREASING THE RELIABILITY OF THE LOW STRAIN INTEGRITY TESTING OF PILES UNDER EXISTING STRUCTURES

Inspection of piles located under the pile cap or an existing building is a common task in the practice of capital construction. The low strain impact testing allows us to estimate the pile length and the presence of defects in its body. This provides designers and builders with information on structures, which can be considered when planning the further operation of the foundation. Improving the reliability of test results for examining piles under cap is the issue of interest. On the example of field test results, the application of the multifrequency signal excitation during data collection and the wavelet analysis of signals during data processing are shown.

**Keywords:** pile testing, integrity testing, nondestructive testing, low strain impact testing, guided waves, data processing, wavelet analysis.



Статья поступила в редакцию 19.05.2022

Received 19.05.2022

## Введение

Проблема контроля качества работ по сооружению свайных фундаментов – актуальная задача в рамках сопровождающего капитальное строительство комплекса изысканий. Изготовленные в сложных грунтовых условиях конструкции могут содержать дефекты различного рода [1, 2]. Задача еще более усложняется, когда речь идет о необходимости обследования свайных фундаментов, доступ к которым затруднен из-за их включения в существующие сооружения, а исполнительная документация отсутствует или нуждается в проверке.

Задачи обследования монолитных строительных конструкций решаются с применением неразрушающих методов «технической геофизики» [3]. Сейсмоакустический контроль длины и сплошности свай является одним из наиболее широко применяемых среди данных методов благодаря своей высокой производительности и небольшому объему работ по подготовке конструкций к испытаниям [2, 4, 5]. Возможность успешного использования метода для оценки длины свай в составе ростверков или включенных в существующие сооружения неоднократно показана на практике, описаны особенности методики проведения подобных испытаний [6].

В данной статье предложены методические приемы, позволяющие повысить достоверность оценки длины свай, включенных в существующие сооружения. Их применение продемонстрировано на натурных данных сейсмоакустического контроля на объектах строительства в Москве и Московской области.

## Методы

### Сейсмоакустический метод

Сейсмоакустический метод основан на анализе распространения акустических волн, возбуждаемых с помощью ударного источника (обычно молотка с известной массой и материалом бойка), в теле сваи. Метод регулируется отечественными и зарубежными нормативными документами и в настоящее время является одной из наиболее распространенных геофизических техник, применяемых для определения длины и оценки сплошности свай [2, 7].

Регистрируемые установленным на свае датчиком (сейсмоприемником) сигналы можно анализировать как во временной, так и в частотной области. Сигналы преобразуются из единиц времени  $t$  или частоты  $f$  в единицы длины  $L$  согласно уравнениям:

$$L = \frac{v\Delta t}{2}; \quad (1)$$

$$L = \frac{v}{2\Delta f}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость упругих волн, принимаемая за постоянную величину (обычно 3600...4400 м/с для железобетонных свай);  $\Delta t$  – двойное время пробега волны от точки нанесения удара до торца сваи/источника акустической аномалии;  $\Delta f$  – расстояние между соседними резонансными пиками амплитудного спектра сигнала.

Операции обработки данных, направленные на повышение отношения сигнал/помеха, обычно включают интегрирование, нормализацию, усиление, фильтрацию и осреднение. Для оценки сплошности сваи и определения ее длины обработанные сигналы анализируют совместно с априорной информацией (записями в журналах буровых и бетонных работ, инженерно-геологическими данными и пр.) [8].

Неоднозначность интерпретации результатов возрастает тем больше, чем более параметры сваи и характеристики вмещающих грунтов отличаются от теоретической модели «тонкого стержня в однородном полупространстве», лежащей в основе физической модели метода. Для помощи в интерпретации данных могут быть привлечены результаты численного и физического моделирования [2, 7, 9, 10].

Разночастотное возбуждение сигнала – разработанный российскими специалистами вспомогательный прием для повышения надежности и информативности данных сейсмоакустического метода [7, 11 – 13]. Он состоит в возбуждении сигнала с применением ударных источников с различными массой и материалом ударника. Снижение центральной частоты ударного импульса (при использовании тяжелых молотков с относительно мягким материалом ударника) позволяет надежнее выделить отражение от нижнего конца сваи, но приводит к снижению разрешающей способности метода. Повышение центральной частоты ударного импульса (при использовании легких молотков с ударниками из металла или твердого пластика) позволяет выделить более тонкие особенности испытываемой конструкции, но также приводит к увеличению уровня помех [8].

### Вейвлет-анализ данных сейсмоакустического метода

Для повышения достоверности результатов интерпретации данных сейсмоакустического контроля в работах [14 – 18] предложено использовать инструменты вейвлет-преобразования, переводящего анализируемый сигнал из временного в частотно-временное представление. Прямое *непрерывное*

вейвлет-преобразование (НВП) отображает рассматриваемый сигнал  $f(t) \in L^2(R)$  в функцию двух переменных  $a, b \in R, a > 0$  [17]:

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (3)$$

где функция  $\psi(t)$  – материнский вейвлет; \* – процедура комплексного сопряжения;  $a$  – параметр степени масштабирования (ширины) материнского вейвлета;  $b$  – параметр положения материнского вейвлета на оси времени.

В качестве материнской функции в настоящей работе использован комплексный вейвлет Морле

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi B}} \exp \left( -\frac{t^2}{B} \right) \exp i2\pi C t, \quad (4)$$

где параметр  $B$  – пропускная способность; параметр  $C$  – центральная частота.

Варьируя значения параметров  $B$  и  $C$ , можно настроить материнскую функцию для анализа сигналов различного рода, а также регулировать частотно-временное разрешение вейвлет-преобразования.

Результаты НВП могут быть представлены в виде «вейвлетограммы» – плоского изображения в координатах время–псевдочастота, где градиациями цветовой шкалы показано распределение энергии коэффициентов вейвлет-преобразования. Чем точнее локальная особенность сигнала совпадает с полученной путем масштабирования и сдвига вейвлет-функцией, тем эффективнее она будет выделяться на вейвлетограмме. Предложенная методика уже зарекомендовала себя при анализе данных сейсмоакустического метода, полученных при испытании свай большой длины и осложненных интенсивными помехами [18].

## Результаты экспериментальных исследований

### Описание объектов исследования

Данные полевых испытаний получены при обследовании железобетонных свай заводского изготовления, включенных в действующие сооружения. Первый объект – мостовой переход в Московской области. Фундамент опор постройки начала 1950 г. состоял из ростверка толщиной около 1,5 м, опирающегося на восьмигранные сваи неизвестной длины. Второй объект – реконструируемое здание, расположенное в ЦАО г. Москвы. Фундамент сооружения состоял из подколонных ростверков толщиной 0,8 м, объединяющих 4 – 6 призматических свай сечением 30×30 см. Основной задачей исследования являлось получение данных о глубине заложения существующих опор.

В обоих случаях сваи были включены в состав массивных конструкций, информация об их положении в плане отсутствовала. Поэтому попыток определения длины свай с возбуждением упругих волн на поверхности ростверков не предпринималось. Было принято решение об организации доступа к боковой грани свай с помощью шурфов. Прием и возбуждение акустических волн проводили с заранее подготовленных площадок, вырубленных в теле свай на расстоянии около 40 см от низа ростверка.

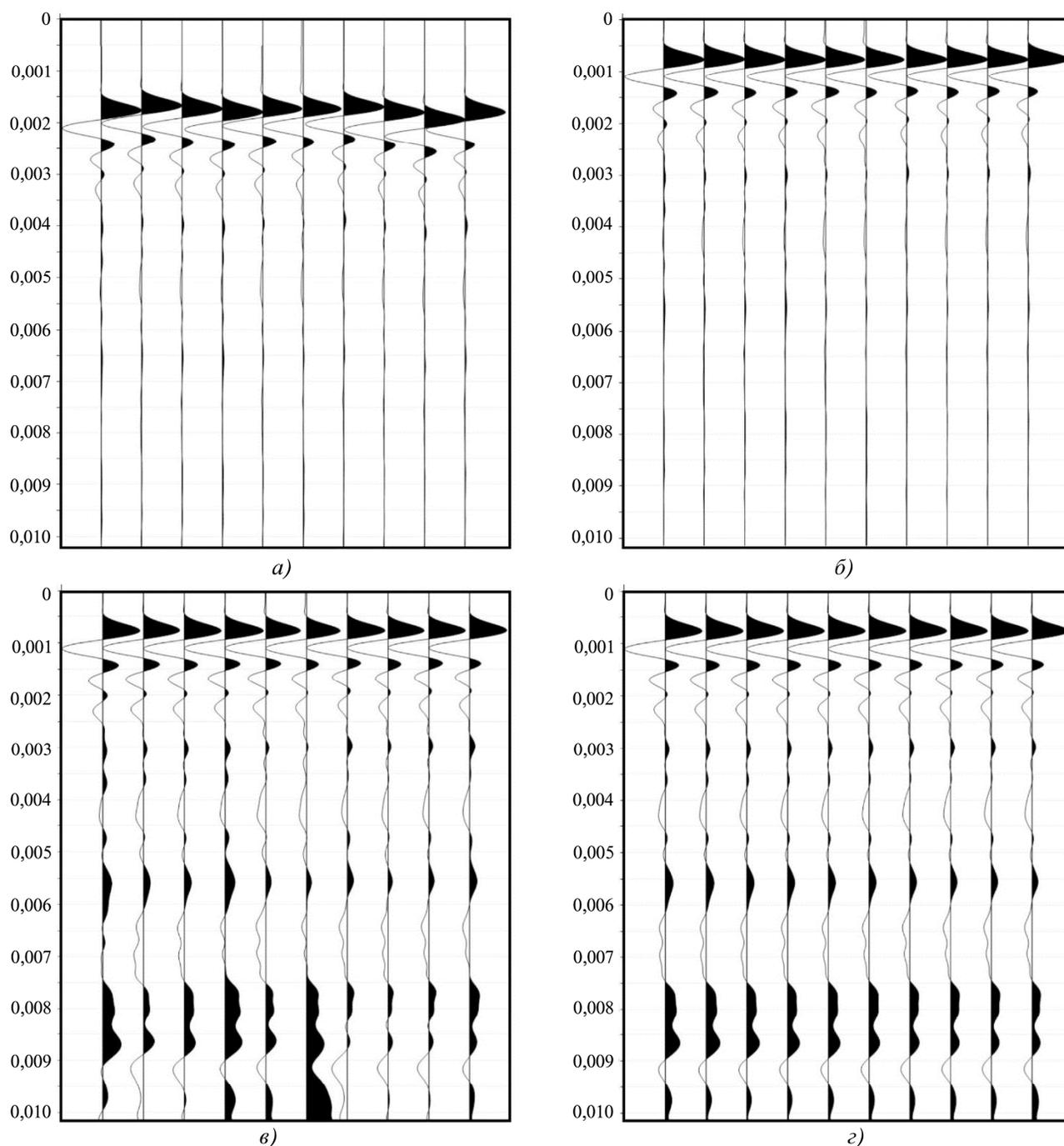
### Разночастотное возбуждение

В качестве измерительного оборудования использовался ИДС-1 (ГК «Логис-ГЕОТЕХ», Россия) с одним регистрирующим датчиком. В качестве ударного источника применяли два вида молотков – металлический массой 200 г и киянку массой 400 г.

Обработку данных выполняли в программе GeoTechControl (ООО «ГЕОДЕВАЙС», Россия) по следующему графу: сборка в сейсмограммы, ввод статических поправок, амплитудная коррекция



Рис. 1. Проведение полевых испытаний свай на первом (а) и втором (б) объектах



**Рис. 2. Преобразование сейсмоакустических сигналов после каждого этапа обработки (масштаб по временной оси указан в секундах):**

*a* – исходные сигналы (свая на объекте 1, металлический молоток); *б* – ввод статических поправок; *в* – амплитудная коррекция; *г* – двумерная сглаживающая фильтрация

(усиление сигнала), двумерная сглаживающая фильтрация (усреднение серии сигналов в скользящем окне). Пример преобразования исходных сигналов после каждого этапа обработки приведен на рис. 2.

Результаты обработки данных представлены в виде сейсмограмм на рис. 3. Сплошными синими линиями выделено положение акустических аномалий, соответствующих возбуждению волн и пред-

полагаемому отражению от нижнего конца сваи. Пикировку целевых отражений проводили по точкам локального максимума сигналов. В качестве скорости распространения упругих волн было выбрано достаточно низкое значение 3600 м/с, позволяющее избежать переоценки глубины заложения свай.

Данные для фундамента, обследованного на первом объекте, позволяют продемонстрировать

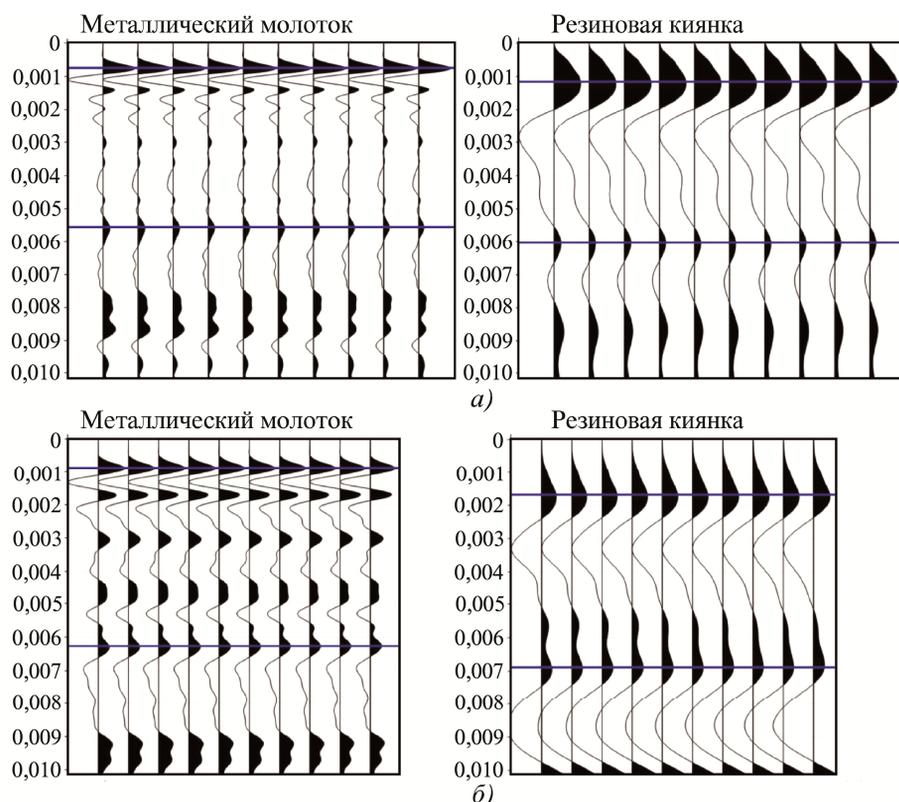


Рис. 3. Примеры результатов полевых испытаний на первом (а) и втором (б) объектах (масштаб по временной оси указан в секундах)

преимущества методики разночастотного возбуждения. Сигналы, полученные с использованием металлического молотка, осложнены помехой от ростверка опоры моста, однако совместная интерпретация сейсмограмм для обоих ударных источников позволяет выделить отражение, которое можно связать с нижним концом сваи. Определенная длина составила 8,6 м для металлического молотка и 8,8 м – для резиновой киянки, т.е. 8,7 м в среднем.

Сигналы, зарегистрированные на свае объекта 2, осложнены акустическими помехами большей интенсивности. Из-за этого данные для металлического молотка практически не поддаются интерпретации. Однако по данным резиновой киянки можно предположить целевое отражение. Определяемая по данным киянки длина сваи 9,4 м. Выделяемое по аналогии отражение для металлического молотка дает оценку в 9,7 м.

#### Вейвлет-анализ данных

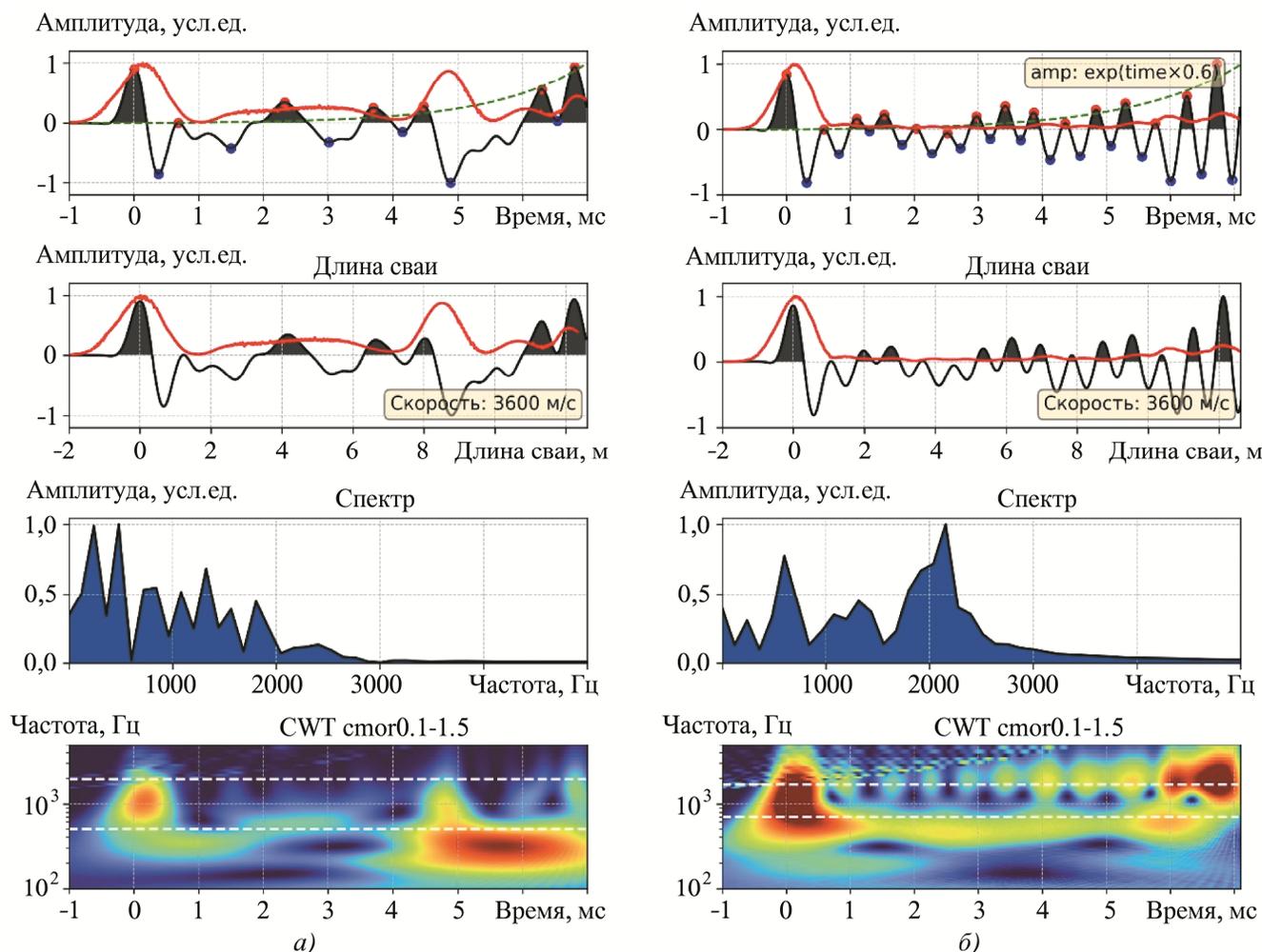
Применим описанную в работе [18] методику вейвлет-преобразования для обработки сигналов, собранных при обследовании свай под ростверком на объектах 1 и 2 с помощью металлических молотков. Обработку сигналов выполняли в программе LowStrainBatch (автор И. Н. Лозовский), и она

состояла из следующих этапов: выбор сигнала серии, наименее искаженного акустическими помехами; устранение низкочастотного тренда; выделение экстремумов; ввод статической поправки; амплитудная коррекция; нормализация; расчет амплитудного спектра; пересчет значений времени в значения глубины; расчет НВП; вейвлет-фильтрация. В качестве материнской функции использовали вейвлет Морле со значениями параметров ширины полосы пропускания 0,1 и центральной частоты 1,5. Вейвлет-фильтрацию выполняли путем усреднения (медиана в скользящем окне) значений энергии вейвлет-коэффициентов в диапазоне частот, в пределах которого наиболее ярко выражен импульс, отвечающий возбуждению упругих волн в свае.

Для сваи объекта 1 на результатах вейвлет-фильтрации на отметке времени 4,8 мс выделяется импульс, который можно интерпретировать в качестве отражения от нижнего конца сваи (рис. 4, а). Длина сваи в данном случае составляет ~8,6 м, что показывает хорошую сходимость с результатами, полученными с использованием разночастотного возбуждения.

Применение вейвлет-анализа для результатов испытания сваи на объекте 2 не позволяет достоверно оценить ее длину (рис. 4, б). Аномальные значения энергии вейвлет-коэффициентов концентрируются в диапазонах частот, отличных от области частотной локализации импульса, соответствующего возбуждению волн. Высоочастотные составляющие (в окрестности 2000 Гц) интерпретируются в качестве акустических помех. В области низких частот (200...1000 Гц) выделяется несколько близких по интенсивности аномалий, что не позволяет уверенно выделить полезный сигнал.

Таким образом, можно отметить, что для объекта 1 применение вейвлет-анализа стало хорошей альтернативой использованию разночастотного возбуждения при проведении измерений. Для объекта 2 вейвлет-анализ не позволил уверенно выделить составляющие сигнала, интерпретируемые в качестве полезных.



**Рис. 4. Результаты вейвлет-преобразования для объекта 1 (а) и объекта 2 (б):**

на панелях представлены (сверху вниз): сигналы во временной области с выделенными экстремумами; сигналы со шкалой времен, пересчитанной в шкалу глубин; амплитудные спектры сигналов; вейвлетограммы с выделенными пунктиром частотными интервалами, выбранными для усреднения. Красными сплошными линиями на первых двух рядах рисунка показан результат вейвлет-фильтрации

В подобных случаях подтолкнуть интерпретатора к окончательному решению способно использование статистической обработки результатов сейсмоакустического обследования для нескольких свай одновременно, в которое будут входить как результаты анализа данных для различных ударных источников, так и применение специфических методик обработки.

Стоит учитывать, что погрешность метода, обусловленная используемым теоретическим приближением, составляет 5...10% [2, 4, 7, 8] и в большей степени определяется выбором скорости распространения упругих волн. Описанные приемы применяются не для «угадывания» глубины заложения конструкции с точностью до первых сантиметров. Их совместное использование позволяет снизить субъективный вклад интерпретатора в определение искомого параметра конструкции

за счет статистической обработки набора оценок длины свай.

С возможностями вейвлет-анализа и других приемов повышения информативности анализа экспериментальных данных можно ознакомиться в публикациях сотрудников Санкт-Петербургского горного университета [20 – 29].

### Заключение

Сейсмоакустический метод позволяет в отдельных случаях решить задачу определения длины свай, включенных в существующее сооружение. Приемы повышения достоверности получаемой оценки лежат как в области изменений стандартной методики сбора данных, так и в приемах обработки сигналов.

Разночастотное возбуждение – простой в использовании методический прием, который позво-

ляет дать консервативную оценку за счет получения средней оценки длины сваи для нескольких ударных источников.

Вейвлет-анализ – интересный подход к обработке данных, позволяющий при правильном выборе параметров обработки минимизировать помеху от ростверка и заменить использование нескольких ударных источников.

Задача квалифицированного специалиста состоит в базирующемся на анализе априорной информации и условиях проведения работ – выборе вспомогательных приемов работы с данными.

Если получить достоверные сведения об объекте контроля не представляется возможным, рекомендуется проведение дополнительных полевых испытаний с использованием скважинных геофизических методов (например, по методике, представленной в работе [19]).

### Библиографический список

1. Loseva E., Osokin A., Mironov D., Dyakonov I. Specific Features of the Construction and Quality Control of Pile Foundations in Engineering and Geological Conditions of Saint Petersburg // *Architecture and engineering*. 2020. V. 5, No. 2. P. 38 – 45. URL: <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2020-5-2-38-45>
2. Чуркин А. А. Развитие методики применения геофизического комплекса для контроля качества заглубленных монолитных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.10 / МГУ им. М. В. Ломоносова. М., 2020. 162 с. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15557.17122>
3. Капустин В. В., Владов М. Л. Техническая геофизика. Методы и задачи // *Геотехника*. 2020. Т. 12, № 4. С. 72 – 85. URL: <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85>
4. Klingmuller O. Sonic Echo Pile Integrity Testing and Quality Control // *Ground Engineering*. 1993. V. 26, No. 10. P. 25 – 30.
5. Капустин В. В. Применение волновых методов для определения длины свай // *Технологии сейсморазведки*. 2009. № 2. С. 113 – 117.
6. Kharitonov A. Yu., Ulybin A. V. Low Strain Integrity Testing of Piles. Application for Piles Located under Pile Cap // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020. V. 92, No. 9201. P. 1 – 10. URL: <https://doi.org/10.18720/CUBS.92.1>
7. Капустин В. В., Хмельницкий А. Ю. Проблемы малоглубинной сейсморазведки и георадиолокации в составе инженерно-геологических изысканий. Применение волновых методов для неразрушающего контроля фундаментных конструкций: учеб. пособие. М.: Университетская книга, 2013. 116 с.
8. Мухин А. А., Чуркин А. А., Лозовский И. Н. Ограничения области применения сейсмоакустического метода контроля сплошности бетона свай // *Транспортное строительство*. 2018. № 9. С. 20 – 24.
9. Cosic M., Folic B., Folic R. Numerical Simulation of the Pile Integrity Test on Defected Piles // *Acta Geotechnica Slovenica*. 2014. V. 11, No. 2. P. 5 – 19.
10. Wang Z., Chen L., Xiao Z. Quantitative Analysis of Low-strain Characteristics on Defective Piles with Constriction or Segregation // *The Open Civil Engineering Journal*. 2015. No. 9. P. 1 – 6.
11. Капустин В. В. К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // *Инженерные изыскания*. 2011. № 11. С. 10 – 15.
12. Хмельницкий А. Ю., Капустин В. В., Владов М. Л. Экспериментальные исследования влияния вмещающего грунта на распространение сейсмических волн в свайных конструкциях // *Инженерные изыскания*. 2012. № 6. С. 16 – 22.
13. Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R. Identifying Small Defects in Cast-in-Place Piles Using Low Strain Integrity Testing // *Indian Geotechnical Journal*. 2022. V. 52, No. 2. P. 270 – 279. URL: <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00583-y>
14. Watson J. N., Addison P. S., Sibbald A. The Denoising of Sonic Echo Test Data Through Wavelet Transform Reconstruction // *Shock and Vibration*. 1999. V. 6. P. 6. URL: <https://doi.org/10.1155/1999/175750>
15. Ni S. H., Yang Y. Z., Tsai P. H., Chou W. H. Evaluation of Pile Defects Using Complex Continuous Wavelet Transform Analysis // *NDT and E International*. 2017. V. 87. P. 50 – 59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.01.007>
16. Ni S. H., Li J. L., Yang Y. Z., Lai Y. Y. Applicability of Complex Wavelet Transform to Evaluate the Integrity of Commonly Used Pile Types // *Journal of GeoEngineering*. 2019. V. 14, No. 1. P. 21 – 30. URL: [https://doi.org/10.6310/jog.201903\\_14\(1\).3](https://doi.org/10.6310/jog.201903_14(1).3)
17. Liu J. L., Lin C. X., Ye X. J. et al. An Improved Algorithm for Pile Damage Localization Based on Complex Continuous Wavelet Transform // *Smart Structures and Systems*. 2021. V. 27, No. 3. P. 493 – 506. URL: <https://doi.org/10.12989/sss.2021.27.3.493>
18. Лозовский И. Н., Лосева Е. С., Сясько В. А. Фильтрация данных сейсмоакустического контроля сплошности свай с использованием непрерывного вейвлет-преобразования // *Контроль. Диагностика*. 2022. Т. 25, № 9. С. 36 – 45.
19. Шмурак Д. В., Чуркин А. А., Лозовский И. Н., Жостков Р. А. Спектральный анализ данных параллельного сейсмического метода обследования подземных конструкций // *Известия Российской академии наук. Сер. Физическая*. 2022. Т. 86, № 1. С. 116 – 121. URL: <http://dx.doi.org/10.31857/S0367676522010252>
20. Yarmolenko A. S., Skobenko O. V. Application of the Theory of Wavelets for Compression and Filtration of geoinformation. // *Journal of Mining Institute*. 2018. V. 234, No. 6. P. 612 – 623. URL: <http://dx.doi.org/10.31897/pmi.2018.6.612>
21. Ermolin E. Yu., Ingerov O., Yankilevich A. A., Pokrovskaya N. N. AMT Soundings in the Dead Band Within the Chukotka Region (Russian Far East) // *Journal of Mining Institute*. 2019. V. 236, No. 2. P. 125 – 132. URL: <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.2.125>

22. **Zhukovskiy Y. L., Kovalchuk M. S., Batueva D. E., Senchilo N. D.** Development of an Algorithm for Regulating the Load Schedule of Educational Institutions Based on the Forecast of Electric Consumption Within the Framework of Application of the Demand Response // *Sustainability*. 2021. V. 13, No. 24. P. 1–26. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/su132413801>

23. **Morenov V., Leusheva E., Lavrik A. et al.** Gas-fueled Binary Energy System with Low-Boiling Working Fluid for Enhanced Power Generation // *Energies (Basel)*. 2022. V. 15, No. 7. P. 1–15. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/en15072551>

24. **Koteleva N., Valnev V., Frenkel I.** Investigation of the Effectiveness of an Augmented Reality and a Dynamic Simulation System Collaboration in oil Pump Maintenance // *Applied Sciences*. 2021. V. 12, No. 1. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.3390/app12010350>

25. **Bolobov V., Martynenko Y. V., Voronov V. et al.** Improvement of the Liquefied Natural Gas Vapor Utilization System Using a Gas Ejector // *Inventions*. 2022. V. 7, No. 1. P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.3390/inventions7010014>

26. **Dvoynikov M., Budovskaya M.** Development of a Hydrocarbon Completion System for Wells with Low Bottomhole Temperatures for Conditions of oil and Gas Fields in Eastern Siberia // *Journal of Mining Institute*. 2022. V. 253. P. 12–22. URL: <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.4>

27. **Islamov S. R., Bondarenko A. V., Gabibov A. F., Mardashov D. V.** Polymer Compositions for Well Killing Operation in Fractured Reservoirs // *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. 1<sup>st</sup> ed. CRC Press, 2020. P. 343–351. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003164395-43>

28. **Litvinenko V., Tsvetkov P., Dvoynikov M., Buslaev G.** Barriers to Implementation of Hydrogen Initiatives in the Context of Global Energy Sustainable Development // *Journal of Mining Institute*. 2020. V. 244. P. 428–438. URL: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.4.5>

29. **Shammazov I. A., Sidorkin D. I., Dzhemilev E. R.** Research of the Dependence of the Pipeline Ends Displacement Value when Cutting Out its Defective Section on the Elastic Stresses in the Pipe Body // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. V. 988, No. 2. P. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022077>

## References

1. **Loseva E., Osokin A., Mironov D., Dyakonov I.** Specific Features of the Construction and Quality Control of Pile Foundations in Engineering and Geological Conditions of Saint Petersburg // *Architecture and engineering*. 2020. V. 5, No. 2. P. 38–45. URL: <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2020-5-2-38-45>

2. **Чуркин А. А.** Развитие методики применения геофизического комплекса для контроля качества заглубленных монолитных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.10 / МГУ им. М. В. Ломоносова. М., 2020. 162 с. URL: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15557.17122>

3. **Капустин В. В., Владов М. Л.** Техническая геофизика. Методы и задачи // *Геотехника*. 2020. Т. 12, № 4. С. 72–85. URL: <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2020-12-4-72-85>

4. **Klingmuller O.** Sonic Echo Pile Integrity Testing and Quality Control // *Ground Engineering*. 1993. V. 26, No. 10. P. 25–30.

5. **Капустин В. В.** Применение волновых методов для определения длины свай // *Технологии сейсморазведки*. 2009. № 2. С. 113–117.

6. **Kharitonov A. Yu., Ulybin A. V.** Low Strain Integrity Testing of Piles. Application for Piles Located under Pile Cap // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020. V. 92, No. 9201. P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.18720/CUBS.92.1>

7. **Капустин В. В., Хмельницкий А. Ю.** Проблемы малоуглубинной сейсморазведки и георадиолокации в составе инженерно-геологических изысканий. Применение волновых методов для неразрушающего контроля фундаментных конструкций: учеб. пособие. М.: Университетская книга, 2013. 116 с.

8. **Мухин А. А., Чуркин А. А., Лозовский И. Н.** Ограничения области применения сейсмоакустического метода контроля сплошности бетона свай // *Транспортное строительство*. 2018. № 9. С. 20–24.

9. **Cosic M., Folic B., Folic R.** Numerical Simulation of the Pile Integrity Test on Defected Piles // *Acta Geotechnica Slovenica*. 2014. V. 11, No. 2. P. 5–19.

10. **Wang Z., Chen L., Xiao Z.** Quantitative Analysis of Low-strain Characteristics on Defective Piles with Constriction or Segregation // *The Open Civil Engineering Journal*. 2015. No. 9. P. 1–6.

11. **Капустин В. В.** К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // *Инженерные изыскания*. 2011. № 11. С. 10–15.

12. **Хмельницкий А. Ю., Капустин В. В., Владов М. Л.** Экспериментальные исследования влияния вмещающего грунта на распространение сейсмических волн в свайных конструкциях // *Инженерные изыскания*. 2012. № 6. С. 16–22.

13. **Loseva E., Lozovsky I., Zhostkov R.** Identifying Small Defects in Cast-in-Place Piles Using Low Strain Integrity Testing // *Indian Geotechnical Journal*. 2022. V. 52, No. 2. P. 270–279. URL: <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00583-y>

14. **Watson J. N., Addison P. S., Sibbald A.** The Denoising of Sonic Echo Test Data Through Wavelet Transform Reconstruction // *Shock and Vibration*. 1999. V. 6. P. 6. URL: <https://doi.org/10.1155/1999/175750>

15. **Ni S. H., Yang Y. Z., Tsai P. H., Chou W. H.** Evaluation of Pile Defects Using Complex Continuous Wavelet Transform Analysis // *NDT and E International*. 2017. V. 87. P. 50–59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.01.007>

16. **Ni S. H., Li J. L., Yang Y. Z., Lai Y. Y.** Applicability of Complex Wavelet Transform to Evaluate the Integrity of Commonly Used Pile Types // *Journal of GeoEngineering*. 2019. V. 14, No. 1. P. 21–30. URL: [https://doi.org/10.6310/jog.201903\\_14\(1\).3](https://doi.org/10.6310/jog.201903_14(1).3)

17. Liu J. L., Lin C. X., Ye X. J., et al. An Improved Algorithm for Pile Damage Localization Based on Complex Continuous Wavelet Transform // *Smart Structures and Systems*. 2021. V. 27, No. 3. P. 493 – 506. URL: <https://doi.org/10.12989/sss.2021.27.3.493>
18. Лозовский И. Н., Лосева Е. С., Сясько В. А. Филترация данных сейсмоакустического контроля сплошности свай с использованием непрерывного вейвлет-преобразования // *Контроль. Диагностика*. 2022. Т. 25, № 9. С. 36 – 45.
19. Шмурак Д. В., Чуркин А. А., Лозовский И. Н., Жостков Р. А. Спектральный анализ данных параллельного сейсмического метода обследования подземных конструкций // *Известия Российской академии наук. Сер. Физическая*. 2022. Т. 86, № 1. С. 116 – 121. URL: <http://dx.doi.org/10.31857/S0367676522010252>
20. Yarmolenko A. S., Skobenko O. V. Application of the Theory of Wavelets for Compression and Filtration of geoinformation. // *Journal of Mining Institute*. 2018. V. 234, No. 6. P. 612 – 623. URL: <http://dx.doi.org/10.31897/pmi.2018.6.612>
21. Ermolin E. Yu., Ingerov O., Yankilevich A. A., Pokrovskaya N. N. AMT Soundings in the Dead Band Within the Chukotka Region (Russian Far East) // *Journal of Mining Institute*. 2019. V. 236, No. 2. P. 125 – 132. URL: <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.2.125>
22. Zhukovskiy Y. L., Kovalchuk M. S., Batueva D. E., Senchilo N. D. Development of an Algorithm for Regulating the Load Schedule of Educational Institutions Based on the Forecast of Electric Consumption Within the Framework of Application of the Demand Response // *Sustainability*. 2021. V. 13, No. 24. P. 1 – 26. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/su132413801>
23. Morenov V., Leusheva E., Lavrik A. et al. Gas-fueled Binary Energy System with Low-Boiling Working Fluid for Enhanced Power Generation // *Energies (Basel)*. 2022. V. 15, No. 7. P. 1 – 15. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/en15072551>
24. Koteleva N., Valnev V., Frenkel I. Investigation of the Effectiveness of an Augmented Reality and a Dynamic Simulation System Collaboration in oil Pump Maintenance // *Applied Sciences*. 2021. V. 12, No. 1. P. 1 – 18. URL: <https://doi.org/10.3390/app12010350>
25. Bolobov V., Martynenko Y. V., Voronov V. et al. Improvement of the Liquefied Natural Gas Vapor Utilization System Using a Gas Ejector // *Inventions*. 2022. V. 7, No. 1. P. 1 – 10. URL: <https://doi.org/10.3390/inventions7010014>
26. Dvoynikov M., Budovskaya M. Development of a Hydrocarbon Completion System for Wells with Low Bottomhole Temperatures for Conditions of oil and Gas Fields in Eastern Siberia // *Journal of Mining Institute*. 2022. V. 253. P. 12 – 22. URL: <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.4>
27. Islamov S. R., Bondarenko A. V., Gabibov A. F., Mardashov D. V. Polymer Compositions for Well Killing Operation in Fractured Reservoirs // *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. 1<sup>st</sup> ed. CRC Press, 2020. P. 343 – 351. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003164395-43>
28. Litvinenko V., Tsvetkov P., Dvoynikov M., Buslaev G. Barriers to Implementation of Hydrogen Initiatives in the Context of Global Energy Sustainable Development // *Journal of Mining Institute*. 2020. V. 244. P. 428 – 438. URL: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.4.5>
29. Shammazov I. A., Sidorkin D. I., Dzhemilev E. R. Research of the Dependence of the Pipeline Ends Displacement Value when Cutting Out its Defective Section on the Elastic Stresses in the Pipe Body // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. V. 988, No. 2. P. 1 – 9. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022077>

**Для цитирования статьи:**

Чуркин А. А., Лосева Е. С., Лозовский И. Н., Сясько В. А. Приемы повышения достоверности оценки длины свай в составе существующих сооружений при обследовании сейсмоакустическим методом // *Контроль. Диагностика*. 2022. Т. 25, № 10. С. 24 – 33.

Чуркин А. А., Лосева Е. С., Лозовский И. Н., Сясько В. А. Приемы повышения достоверности оценки длины свай в составе существующих сооружений при обследовании сейсмоакустическим методом // *Контроль. Диагностика*. 2022. Т. 25, № 10. С. 24 – 33.