

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**ПНСТ**  
*(проект)*

---

**Стандартизация в Российской Федерации**

**СВАИ**

**Сейсмоакустический метод контроля  
длины и сплошности**

*Настоящий проект предстандарта не подлежит  
применению до его утверждения*

*(Проект)*

ПНСТ  
(проект)

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «ОЗИС-Венчур» (ООО «ОЗИС-Венчур»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от ..... № .....

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16-2011 (разделы 5 и 6).*

*Федеральный орган исполнительной власти в сфере стандартизации собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 месяца до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 195257, г. Санкт-Петербург, ул. Вавиловых, д. 4, корп. 1, лит. В, пом. 455 и/или в федеральный орган исполнительной власти в сфере стандартизации по адресу: ....*

*В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе "Национальные стандарты" и также будет размещена на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет".*

## Содержание

Введение .....	
1 Область применения .....	
2 Нормативные ссылки .....	
3 Термины, определения, обозначения и сокращения .....	
4 Сейсмоакустический метод контроля длины и сплошности .....	
Приложение А (справочное) Физические основы метода .....	
Приложение Б (справочное) Применение метода на сваях, объединенных ростверком .....	
Приложение В (обязательное) Погрешность измерения .....	
Приложение Г (обязательное) Определение стержневой скорости в свае .....	
Приложение Д (рекомендуемое) Ультрасейсмический метод определения длины сваи и стержневой скорости .....	
Приложение Е (рекомендуемое) Типовые рефлектограммы .....	
Приложение Ж (обязательное) Состав технического отчета .....	
Библиография .....	

## **Введение**

Стандарт направлен на выполнение требований Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Стандарт основан на ряде известных нормативов по сейсмоакустическому методу неразрушающего контроля, включая ASTM D5882-16.

Обобщает отечественный и зарубежный опыт применения метода. Дополнен экспериментальными данными, полученными при диагностике свай специалистами организации-составителя стандарта.

ПНСТ (Проект)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

**СВАИ**

**Сейсмоакустический метод контроля длины и сплошности**

Piles. Sonic method for testing of length and integrity

---

Дата введения:.....-.....-....

Дата окончания действия:.....-.....-....

## **1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт распространяется на сваи всех типов независимо от материала и метода изготовления и устанавливает метод определения их длины и сплошности в полевых условиях посредством сейсмоакустического неразрушающего контроля.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 5686 Грунты. Методы полевых испытаний сваями

СП 24.13330 Свайные фундаменты

СП 45.13330 Земляные сооружения, основания и фундаменты

СП 46.13330 Мосты и трубы

СП 79.13330 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных сводов правил в информационной системе общего пользования - на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные

## ПНСТ (проект)

стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя "Национальные стандарты" за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

### **3 Термины, определения, обозначения и сокращения**

3.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1.1 сплошность сваи:** Свойство сваи, заключающееся в отсутствии значительных дефектов, расположенных в стволе (от уровня установки датчика до пяты).

**3.1.2 контроль сплошности сваи сейсмоакустическим методом:** Выявление нарушений сплошности бетона сваи (дефектов) на основе анализа прохождения и отражения упругих волн, возбужденных в свае при ее диагностике.

**3.1.3 дефект:** Отдельное несоответствие конструкции какому-либо параметру, установленному проектом или нормативным документом.

**3.1.4 значительный дефект:** Дефект, снижающий несущую способность и/или долговечность конструкции и требующий выполнения компенсирующих мероприятий (ремонта, усиления, дублирования сваи и пр.).

**3.1.5 стержневая скорость  $C$ :** Скорость распространения продольных волн, вызванных ударным воздействием, в элементе стержневой формы (свае).

**3.1.6 акустический импеданс  $Z$ :** Параметр, характеризующий волновое сопротивление поперечного сечения сваи, вовлеченного в колебательный процесс.

**3.1.7 источник ударного воздействия:** Ручной молоток (со встроенным датчиком или без него), характеризующийся массой и твердостью ударного наконечника (бойка, насадки) и используемый для возбуждения волны.

**3.1.8 акселерометр:** Датчик, измеряющий ускорение смещения частиц сечения сваи, в котором он установлен, вызванного ударным воздействием и отраженными волнами.

**3.1.9 велосиметр:** Датчик, измеряющий скорость смещения частиц сечения сваи, в котором он установлен, вызванного ударным воздействием и отраженными волнами.

**3.1.10 торцевой датчик:** Датчик, измерительная ось которого направлена перпендикулярно плоскости установочной поверхности, устанавливаемый на торец сваи.

ПНСТ  
(проект)

3.1.11 **боковой датчик:** Датчик, измерительная ось которого направлена параллельно плоскости установочной поверхности, устанавливаемый на боковую поверхность сваи.

3.1.12 **рефлектограмма:** График зависимости скорости смещения частиц сечения сваи от времени.

3.1.13 **помеха:** Колебание, вызванное отражением от какого-либо объекта в системе «свая-грунт» или поступившее к датчику извне, накладывающееся на полезный сигнал и затрудняющее его интерпретацию (расшифровку).

3.1.14 **полезный сигнал:** Сигнал, полученный в результате измерений и содержащий информацию о длине сваи и наличии дефектов в ее стволе.

3.1.15 **акустическая аномалия:** Изменение амплитуды сигнала, зарегистрированное на рефлектограмме на участке до предполагаемого уровня пяты, которое может быть вызвано наличием дефекта в свае, стыком частей сваи, контрастным изменением физико-механических характеристик вмещающих грунтов и пр.

3.1.16 **интерпретация данных:** Анализ полученных данных с целью получения выводов о сплошности и длине сваи.

3.1.17 **разрешающая способность:** Условный показатель, который определяется минимальными размерами или другими свойствами объекта (дефекта), при которых его можно зарегистрировать на рефлектограмме.



3.2В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

УШМ – угловая шлифовальная машинка.

## **4 Сейсмоакустический метод контроля длины и сплошности**

### **4.1 Общие положения**

4.1.1 Сейсмоакустический метод контроля свай основан на возбуждении в свае продольных акустических волн, регистрации их отражения и интерпретации полученного сигнала. Информация о физических аспектах метода представлена в Приложении А.

4.1.2 Возбуждение волн осуществляется путем создания ударного воздействия, направленного вдоль оси сваи, при помощи ручного молотка (виды молотков и их конструкция рассмотрены в п. 4.2.6).

4.1.3 Регистрация волн (возбужденной и отраженных) производится при помощи высокочувствительного датчика (типы датчиков описаны в п. 4.2.4), устанавливаемого на торец или боковую поверхность сваи.

4.1.4 Сейсмоакустический метод позволяет определять:

- длину сваи (с точностью в пределах погрешности измерения);
- резкие изменения поперечного сечения сваи (сужение, расширение) с величиной более 25 % от площади сечения сваи;
- поперечные трещины, пересекающие более 25 % площади сечения сваи (вне зависимости от ширины раскрытия трещины);
- дефект стыка (только при наличии эталонной сваи).

4.1.5 Сейсмоакустический метод не позволяет определять:

- плавное изменение поперечного сечения;
- отклонение сваи от вертикали и прямолинейности;
- наличие под пятой сваи непроектного материала (рыхлый грунт, шлам и пр.);
- наличие дефекта вблизи оголовка (ориентировочно 1-2 м, в зависимости от параметров ударного воздействия);
- тип дефекта (сужение, трещина, полость в бетоне, наличие бетона низкой плотности) при выявлении уменьшения импеданса;
- причину образования дефекта;
- размеры изменения сечения сваи (по длине и площади), в том числе габариты уширения пяты, выполненного по проекту;
- габариты других дефектов, в том числе ширину раскрытия трещин;
- прочность материала сваи;
- несущую способность сваи.

4.1.6 В общем случае контроль сейсмоакустическим методом может выполняться на следующих типах свай (в соответствии с классификацией СП 24.13330):

а) Железобетонные сваи заводского изготовления любой формы сечения, вне зависимости от способа погружения;

б) Железобетонные сваи, изготавливаемые в грунте, в том числе:

ПНСТ  
(проект)

- 1) Набивные, любого типа;
- 2) Бурунабивные;
- 3) Буруинъекционные\*;
- в) Составные железобетонные сваи заводского изготовления\*;
- г) Стальные сваи, включая винтовые и сваи – оболочки (с заполнением внутренней полости и без)\*;
- д) Стальные шпунтованные сваи любого сечения (Ларсен, Z, и пр.)\*;
- е) Деревянные сваи.

4.1.7 Достоверность исследований и возможность интерпретации результата на типах свай, помеченных «\*», требует подтверждения в каждом конкретном случае путем пробного контроля на эталонных сваях, расположенных на данном объекте (сваях известной длины или с дефектом, обнаруженным ранее прямым методом контроля).

4.1.8 Метод позволяет контролировать длину как отдельных свай, так и свай, объединенных ростверком и расположенных под существующим зданием или сооружением. Описание методики контроля свай под ростверком и сложности обработки полученного сигнала представлены в приложении Б.

4.1.9 В случае высокой акустической жесткости вмещающих грунтов (скальные грунты, плотные глины и пр.), большого количества сменяющихся напластований плотных грунтов, большого отношения длины сваи  $L$  к диаметру  $D$  ( $L/D > 20$  для плотных грунтов и  $L/D > 60$  для слабых дисперсных грунтов), а также наличия значительных дефектов в стволе сваи не всегда возможно четкое выделение отражения от пяты сваи и/или контроль сплошности.

4.1.10 Информация о точности (погрешности измерения) метода приведена в приложении В.

## **4.2 Требования к средствам контроля**

4.2.1 Применяемые для контроля приборы должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации.

4.2.2 Приборы должны быть изготовлены в соответствии с нормативным документом на разработку соответствующего устройства (ГОСТ, ГОСТ Р, ТУ и др.), указанным в свидетельстве об утверждении типа средств измерений.

4.2.3 К применяемым приборам устанавливаются следующие основные требования:

- Диапазон измерения времени (не менее): 500-40000 мкс;
- Рабочая полоса частот: 10-5000 Гц;
- Частота дискретизации (не менее): 32 кГц;
- Предел допускаемой относительной погрешности (не более):  $\pm 5\%$ ;
- Время непрерывной работы от аккумулятора (не менее): 5 ч.

4.2.4 В состав оборудования для выполнения исследований сейсмоакустическим методом входят:

- Датчики для регистрации колебаний в свае;
- Устройство для приема и записи сигнала (измерительный блок, планшетный компьютер и пр.);
- Источник ударного воздействия;
- Вспомогательное оборудования для выполнения измерений;
- Специализированное ПО для обработки данных на ПК.

ПНСТ  
(проект)

#### 4.2.5 Требования к датчикам

Датчики для приема колебаний в свае подразделяются на два типа:

- акселерометр, по результатам измерений которого записывается зависимость ускорения колебаний от времени;
- велосиметр (геофон), по результатам измерений которого записывается зависимость скорости колебаний от времени (график в формате «скорость – время»).

В случае использования датчика – акселерометра сигнал должен интегрироваться по времени для отображения графика в формате «скорость – время».

В зависимости от типа соединения с принимающим устройством датчик может быть:

- проводным;
- беспроводным (Wi-Fi, Bluetooth).

По своей форме и возможности установки на сваю датчики могут быть:

- для установки на торец сваи (торцевой датчик);
- для установки на боковую поверхность сваи (боковой датчик).

По способу крепления к свае датчики разделяются на:

- с креплением на адгезив;
- с магнитным креплением;
- с механическим креплением на дюбель-болт и др.

Акселерометры должны иметь:

- диапазон измерения не менее  $\pm 490 \text{ м/с}^2$  ( $\pm 50 \text{ g}$ );
- полосу рабочих частот не менее 5 000 Гц;

- неравномерность частотной характеристики не более минус 3 дБ.

В качестве альтернативы для получения данных о скорости можно использовать датчики скорости (велосиметры), при условии, что они эквивалентны по своим характеристикам указанным акселерометрам.

Сигналы от датчиков должны передаваться в устройство для приема и записи сигнала, с помощью экранированного кабеля с низким уровнем шума или по беспроводному каналу связи.

#### 4.2.6 Требования к устройству для приема и записи сигнала

Устройство приема и записи должно:

- иметь возможность присваивать каждому записанному сигналу идентифицирующие информационные имена и описания, дату и время проведения контроля свай;
- иметь графический дисплей для визуализации полученных сигналов;
- отображать результаты ранее выполненных измерений;
- в случае использования акселерометра, иметь возможность интегрировать сигнал по времени для отображения графика «скорость – время»;
- хранить и передавать полученные данные на устройство постоянного хранения информации (портативный или стационарный компьютер).

Устройство приема и записи должно обеспечивать следующие технические характеристики:

ПНСТ  
(проект)

- аналого-цифровое преобразование с разрешением не менее 12 бит;
- полоса рабочих частот не менее 5 000 Гц;
- неравномерность частотной характеристики не более минус 3 дБ;
- частота дискретизации не менее 25 000 Гц для каждого измерительного канала;
- стабильность частоты дискретизации должна быть не хуже 0,01%.

4.2.7 Хранение и обработка полученных сигналов-рефлектограмм производится на ПК при помощи специализированного ПО.

#### 4.2.8 Требования к источнику ударного воздействия

В качестве источника ударного воздействия используются различные по массе ручные молотки со сменными насадками различной твердости (либо молотки без насадок, выполненные из разных материалов).

Твердость насадки и масса молотка напрямую влияют на время ударного воздействия на объект контроля, которая исчисляется миллисекундами (см. рисунок 1). В зависимости от времени ударного воздействия в свае возбуждается набор упругих волн в определенном частотном диапазоне. Чем тверже насадка (материал молотка) и меньше масса молотка, тем короче время воздействия и шире частотный диапазон. При использовании более твердой насадки возбуждаются короткие волны более высокой частоты, а соответственно чувствительность метода и его разрешающая способность возрастают. С другой стороны, за счет большей



чувствительности возрастает количество полученного при измерениях шума.

Время ударного воздействия определяется по ширине первого пика на рефлектограмме, отображаемой в формате «скорость – время».

Для получения численной информации об амплитуде и частотном диапазоне возбуждаемых колебаний может быть использован специальный молоток со встроенным датчиком. В качестве датчика обычно применяется калиброванный акселерометр, встроенный в голову молотка.

Подбор ударного источника производится исходя из задач контроля, конструктивного типа свай, их габаритов и других условий. Контроль проводится как минимум двумя молотками (насадками) с временем ударного воздействия в диапазоне от 0,5 до 1,5 мс. Для решения специфических задач (исследование длинных свай, контроль дефектов вблизи оголовка) могут применяться ударные источники с временем воздействия за пределами указанного диапазона.

#### 4.2.9 Требования к вспомогательному оборудованию

К вспомогательному оборудованию относится комплект приспособлений, обеспечивающих возможность установки датчика на сваю, нанесение удара и работоспособность оборудования в различных условиях проведения работ (низкие температуры воздуха, повышенная влажность и запыленность и пр.).

Для очистки участка установки датчика на оголовок (боковую поверхность свай) может быть использована щетка-сметка или

ПНСТ  
(проект)

кордщетка. Рекомендуется использование УШМ с насадкой в виде кордщеточки с мягким кордом.

Для выравнивания торца сваи или создания штрабы для установки торцевого датчика на боковую поверхность сваи используется УШМ с алмазным диском.

При установке датчика на поверхность сваи, выполненной из бетона, необходимо использование адгезива, в качестве которого могут быть использованы: бутил, строительная мастика, пластилин, литол и другие материалы. Выбор типа адгезива производится в зависимости от температуры воздуха, влажности поверхности сваи, габаритов датчика и прочих условий.

В случае установки датчика на ферромагнитный металл (обсадная труба, стальная свая, стальная насадка на бетонной свае и пр.) рекомендуется использовать датчик с магнитным креплением.

#### 4.2.10 Требования к специализированному ПО для обработки данных на ПК

Специализированное ПО, для обработки сигналов испытаний может отличаться интерфейсом, вводом, обработкой и выводом данных в зависимости от компании-производителя прибора и как правило прилагается к прибору.

Независимо от разработчика ПО должно позволять просматривать и редактировать полученные в результате измерений рефлектограммы, в том числе иметь возможность применения стандартных методов обработки сигналов (п.4.4.2).

ПО должно иметь возможность измерять время/длину между характерными пиками на рефлектограмме, сохранять полученный после обработки сигнал, а также выводить на печать итоговые рефлектограммы.

#### **4.3 Порядок подготовки и проведения контроля**

4.3.1 Требования к специалистам, выполняющим полевые измерения.

Контроль в полевых условиях должен осуществляться специалистами, имеющими инженерно-техническое образование по строительному или геофизическому направлению и прошедшими обучение основам сейсмоакустического контроля свай.

#### **4.3.2 Сбор и анализ данных о конструкции свай**

Для выбора вспомогательного оборудования, определения условий доступа к сваям, оценки пригодности результатов измерений непосредственно на объекте, а также последующего анализа полученных рефлектограмм необходимо проанализировать имеющуюся документацию, содержащую информацию о конструкции свай. К такой документации относятся:

- материалы инженерно-геологических изысканий;
- проектная документация (план свайного поля, ведомость свай, армирование и пр.);
- исполнительная документация (журнал забивки свай, журнал буровых работ, журнал бетонирования и пр.);
- материалы ранее выполненных исследований;

По материалам инженерно-геологических изысканий необходимо определить:

ПНСТ  
(проект)

- глубину залегания плотных грунтов, которые должны являться основанием пяты сваи;
- наличие скальных грунтов в разрезе;
- уровень напорных и безнапорных грунтовых вод;
- отметки смены слоев грунта с резким изменением акустической жесткости;
- нормативную глубину промерзания грунта на площадке;
- наличие многолетнемерзлых грунтов в разрезе;
- данные о специфических грунтах основания;
- прочее.

#### 4.3.3 Подготовка приборов и оборудования

На момент проведения полевых измерений приборы должны быть поверены или калиброваны в соответствии с требованиями паспорта прибора.

Перед началом работы рекомендуется произвести самостоятельную проверку работоспособности прибора путем измерения на эталонной свае и/или по сравнению показаний двух параллельно подключенных датчиков на любом объекте контроля.

Энергонезависимые приборы должны быть заряжены. Для приборов с необходимостью подключения к сети переменного тока или внешнему аккумулятору должно быть предусмотрено наличие соответствующего источника питания на объекте.

Свободная память прибора должна быть достаточна для записи предполагаемого количества измерений на объекте.

Перед началом работы необходимо проверить соответствие условий окружающей среды на объекте (температура и влажность

воздуха, атмосферное давление) рабочим диапазонам прибора и датчиков согласно паспорту.

При работе во влажных условиях окружающей среды должны быть предусмотрены защитные конструкции (навесы, кожухи на оборудование и пр.) в соответствии с параметрами влагозащищенности приборов. При установке датчика под уровнем воды должны применяться соответствующие герметичные датчики.

При работе в условии отрицательных температур должны быть предусмотрены мероприятия (устройство тепляков, наличие термокожухов и пр.), обеспечивающие работу прибора в допустимом диапазоне температур согласно паспортным данным.

При наличии на объекте источников динамических воздействий, которые создают колебания сваи, самопроизвольно запускающие процесс измерения, необходимо остановить данные воздействия или выполнять измерения в другой промежуток времени (без внешних динамических воздействий).

#### 4.3.4 Подготовка контролируемого объекта

При контроле бетонных свай, изготовленных в грунте, измерения можно выполнять не ранее 5 суток с даты бетонирования (при наборе бетоном сваи прочности не менее 70% от проектного значения).

Требования к участку установки датчика (расположение на оголовке сваи, ровность, площадь) зависят от его конструкции и габаритов. Для контроля могут быть использованы датчики, устанавливаемые как на торцевую, так и на боковую поверхность сваи.

## ПНСТ (проект)

Участок установки должен быть очищен от пыли, фрагментированного бетона, грунта, мусора, льда и пр. Ровность участка должна позволять обеспечить плотный контакт всей площади датчика с бетоном сваи. Неровности поверхности бетона могут быть компенсированы адгезивным материалом, но в любом случае не должны превышать 5 мм.

Плоскость участка установки должна позволять установить датчик параллельно оси сваи (как при установке на торец, так и на боковую поверхность). Отклонение плоскости участка может быть компенсировано адгезивным материалом. Угол отклонения оси датчика от оси сваи не должен превышать 10 градусов. Контроль угла допускается осуществлять визуально.

Рекомендуется выравнивание бетона на участках установки датчика и нанесения удара с помощью УШМ с алмазным диском.

Для обеспечения адгезии датчика к бетону сваи поверхность бетона должна быть сухой.

Участок нанесения ударного воздействия должен быть очищен от фрагментированного бетона, грунта, мусора, льда и пр. Плоскость участка измерения должна быть сориентирована перпендикулярно продольной оси сваи. Угол отклонения плоскости нанесения удара от плоскости перпендикулярной оси сваи не должен превышать 20 градусов.

### 4.3.5 Порядок проведения контроля

Рекомендуется выполнять контроль сваи на трех участках каждой сваи, расположенных в разных частях ее сечения. Если при полевой обработке полученного сигнала на первых двух участках

измерения результат окажется идентичным, возможно ограничиться выполнением измерений только на двух участках.

Датчик устанавливается на подготовленный участок при помощи адгезива (см. п. 4.2.8).

После установки датчика, включения и настройки прибора производится нанесение ударного воздействия, сбор и первичный анализ полученных сигналов.

Удар молотка по свае должен быть одиночным, не допускается повторных ударов после первого отскока.

Количество ударов (записей сигналов) должно быть не менее десяти для каждого из применяемых ударных источников (молотков различной массы, материалов насадки и пр.).

Полученные на объекте рефлектограммы оценивают с точки зрения их стабильности (постоянства между различными ударами) и наличия отражения от пяты сваи на ожидаемой глубине (при известной конструкции сваи).

При обнаружении отражений от дефектов, расположенных вблизи оголовка, рекомендуется по возможности сразу удостовериться в их наличии путем осмотра ствола сваи, а при необходимости контрольной откопки.

#### **4.4 Правила обработки результатов и их оценка**

##### 4.4.1 Общие рекомендации по обработке

Целью обработки зарегистрированных данных является увеличение отношения полезный сигнал / помеха и подготовка зарегистрированных сигналов к интерпретации.

Первичная обработка полученных данных должна осуществляться в полевых условиях для оценки полученных сигналов непосредственно на объекте контроля.

Окончательная обработка осуществляется в камеральных условиях и выполняется, как правило, на ПК в специализированном ПО.

##### 4.4.2 Методы обработки сигналов

При обработке сигналов могут быть применены следующие основные методы: интегрирование, инвертирование, амплитудная коррекция (усиление), частотная фильтрация, усреднение.

При обработке сигналов могут применяться другие приемы геофизической обработки данных: накопление, нормализация, сглаживание, пространственно-временная фильтрация и пр.

Необходимость применения конкретного метода обработки или комплекса методов определяется опытным специалистом, проводящим обработку результатов измерений, в зависимости от применяемого оборудования, объекта исследования, условий контроля, а также их результатов (в необработанном виде).



Интегрирование сигнала – применяется в случае использования в качестве измерительных датчиков акселерометров. Позволяет преобразовать полученный сигнал в формате «ускорение – время» в формат «скорость – время», подлежащий в дальнейшем обработке. При использовании в качестве измерительных датчиков велосиметров интегрирование не требуется.

Инвертирование сигнала – переворот графика относительно горизонтальной оси. Выполняется приведение рефлектограмм в единый вид для удобства анализа графиков, полученных разными приборами (с различной полярностью записи).

Амплитудная коррекция (усиление) сигнала – позволяет компенсировать затухание амплитуды сигнала, вызванное потерей энергии возбужденного импульса по длине сваи.

Частотная фильтрация – позволяет удалять из обработки колебания в заданных диапазонах частот. При помощи фильтрации могут быть устранены высокочастотные помехи, в том числе отражение от дефектов, расположенных вблизи оголовка сваи.

Усреднение сигналов – построение рефлектограммы по нескольким полученным сигналам. Используется для удобства сравнения сигналов, подавления случайных помех и повышения надежности обработки.

Для удобства интерпретации сигнал, полученный в формате «скорость – время» может быть преобразован в формат «скорость – длина». Для этого в ПО вводится значение стержневой скорости распространения волны в свае.

ПНСТ  
(проект)

#### 4.4.3 Задание стержневой скорости в свае

Стержневая скорость может быть задана на основании эмпирических данных (см. таблицу Г.1 приложения Г), определена путем калибровки на эталонной свае (свае известной длины) или определена ультрасейсмическим методом, описанным в приложении Д.

В случае контроля свай заводского изготовления в период их погружения в грунт наиболее доступным способом определения стержневой скорости является калибровка на сваях, расположенных на строительной площадке (складируемых на объекте), перед их погружением.

#### 4.4.1 Оценка (интерпретация) результатов контроля

Интерпретация данных должна выполняться специалистом, обладающим необходимой квалификацией (см.п.4.3.1) и опытом контроля свай сейсмоакустическим методом. Для самостоятельной камеральной обработки полученных сигналов допускаются специалисты, имеющие опыт работы сейсмоакустическим методом не менее 1 года.

Основной задачей интерпретации полученных сигналов после их обработки является идентификация на рефлектограмме наличия или отсутствия пика отражения от искомого объекта (пяты сваи, дефекта, стыка, участка изменения сечения и пр.).

Полученные в результате обработки рефлектограммы рекомендуется сопоставить с набором типовых рефлектограмм, приведенных в приложении Е. Полученные на объекте контроля рефлектограммы могут отличаться от типовых и должны

интерпретироваться опытным специалистом в каждом конкретном случае на основании анализа имеющихся у него данных (п. 4.3.1).

На основании интерпретации и анализа полученных рефлектограмм с учетом имеющихся данных по объекту делается вывод о длине сваи, отсутствии или наличии дефектов в стволе и глубине их расположения.

Длина сваи (глубина расположения дефекта) определяется от уровня установки датчика на свае.

При интерпретации данных необходимо учитывать ограничения области применения метода.

При интерпретации рекомендуется учитывать результаты обработки данных по всем исследованным на объекте сваям для их совокупного анализа.

В случае, когда во вмещающих грунтах присутствуют контрастные геологические границы (например, между скальными и дисперсными грунтами), рефлектограммы могут быть осложнены отражениями, связанными со сменой вмещающих грунтов. Поэтому глубину выделенных на сигналах акустических аномалий рекомендуется сопоставить с геологическим разрезом.

В случае если при интерпретации и анализе полученных рефлектограмм идентифицируется наличие схожих акустических аномалий у ряда свай, рекомендуется выполнить контрольную откопку свай для визуального контроля наличия или отсутствия дефекта.

## ПНСТ (проект)

В случае невозможности контрольной откопки свай, а также для определения влияния выявленных дефектов (акустических аномалий) на несущую способность свай следует выполнить испытание свай, имеющих наиболее характерную акустическую аномалию, статической нагрузкой по ГОСТ 5686.

Разрешающая способность метода и достоверность интерпретации данных зависят от соотношения полезный сигнал/помеха. В случае низкого соотношения полезный сигнал/помеха однозначное определение длины и контроль сплошности конструкции по данным сейсмоакустического метода невозможны.

### **4.5 Оформление результатов**

4.5.1 Состав технического отчета по результатам контроля свай сейсмоакустическим методом представлен в Приложении Ж.

## Приложение А (справочное)

### Физические основы метода

А.1 В свае возбуждается волна сжатия (растяжения), которая отражаясь от различных объектов по пути распространения в стволе сваи (пяты, дефект, изменение площади сечения, стык, контрастная смена вмещающего грунта и пр.) возвращается к участку возбуждения.

А.2 Амплитуда и знак (растяжение или сжатие) отраженной волны зависят от изменения акустического импеданса ( $Z$ ), который в свою очередь зависит от конструктивных особенностей сваи, свойств вмещающих грунтов и параметров отражающего объекта.

А.3 На границах, разделяющих участки сваи с различными значениями акустического импеданса, образуются отраженные волны. Чем значительней изменение акустического импеданса, тем выше энергия отраженной от границы волны.

А.4 Акустический импеданс  $Z$  определяется по формуле:

$$Z = \rho \cdot C \cdot S, \quad (\text{A.1})$$

где  $\rho$  – плотность материала сваи, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – стержневая скорость, м/с;

$S$  – площадь поперечного сечения сваи, м<sup>2</sup>.

А.5 Большая часть сваи, как правило, находится во вмещающем грунте, что приводит к появлению трения по боковой поверхности сваи. Часть энергии возбужденного импульса поглощается материалом сваи и излучается во вмещающую среду, что приводит к затуханию сигнала. Чем выше значения акустической жесткости вмещающих грунтов и чем больше длина сваи, тем значительней затухание сигнала и ниже амплитуда отраженного сигнала.

А.6 Отражение от пяты сваи, а также наличие дефектов в стволе определяются по амплитудным пикам на рефлектограмме. Длина сваи  $L$  (м), а

## ПНСТ (проект)

также расстояние до дефекта, определяются от уровня установки датчика за счет измерения времени прохождения волны  $t$  (мкс) по формуле:

$$L = \frac{t}{2} \cdot C \quad (\text{A.2})$$

Пример рефлектограммы с указанием ее основных параметров приведен на рисунке 1.

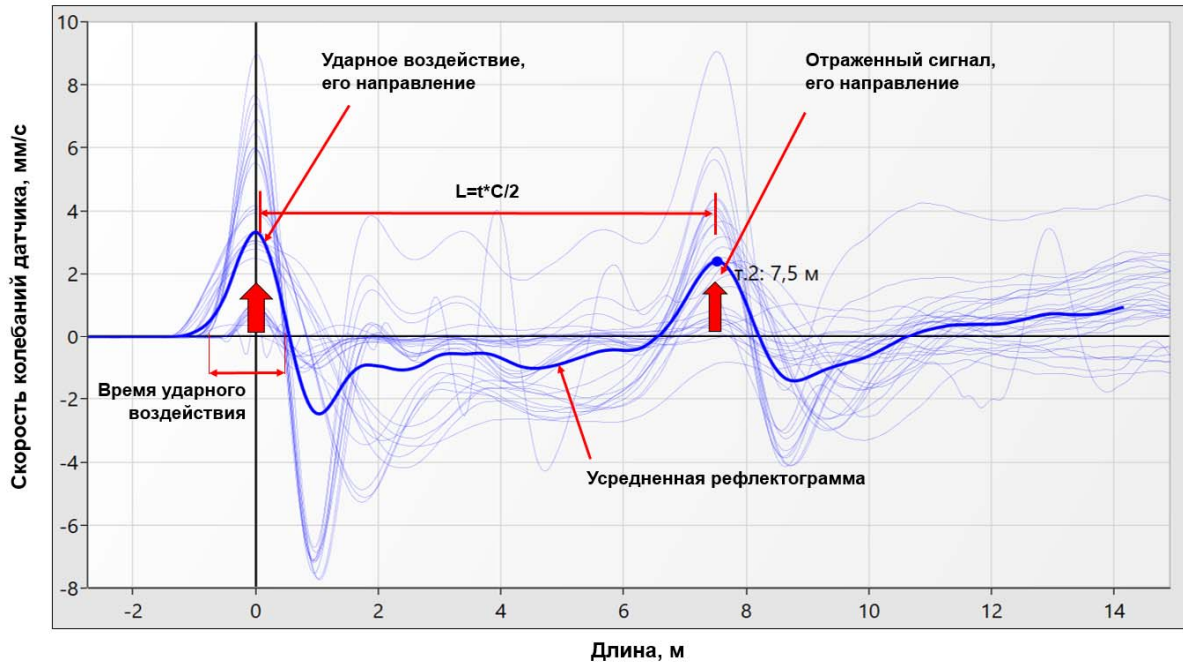


Рисунок А.1 - Пример рефлектограммы в формате «скорость – длина»

А.7 Стержневая скорость распространения волн в материале сваи  $C$  определяется эмпирическим путем или экспериментально. Основные подходы к определению стержневой скорости описаны в приложениях Г и Д.

## Приложение Б (справочное)

### Применение метода на сваях, объединенных ростверком

Б.1 Необходимость контроля длины свай, объединенных ростверком, возникает в ходе строительства зданий и сооружений, когда сваи не были проконтролированы в свободном состоянии и задача контроля возникла позже, на недостроенных зданиях и сооружениях (при утрате исполнительной документации), а также при реконструкции зданий и сооружений в ходе их обследования при отсутствии проектных данных о длине свай или проверки информации, имеющейся в документах.

Б.2 Контроль дефектов в сваях, объединенных ростверком, обычно не производится, так как наличие ростверка осложняет обработку полученного сигнала и приводит к необходимости применения сильной фильтрации.

Б.3 Осложняющими факторами для применения метода на сваях под ростверком являются:

- а) Отсутствие свободной площадки на торце сваи для установки датчика;
- б) Отсутствие участка для нанесения ударного воздействия над сваей соосно ее продольной оси;
- в) Наличие на рефлектограмме дополнительных отражений от ростверка, а также конструкций, расположенных на нем (надземные конструкции здания или сооружения). Дополнительные отражения могут быть отфильтрованы при обработке полученного сигнала.

Б.4 Установка датчика на сваю под ростверком может осуществляться по одной из схем, представленных на рисунке Б.1:

- а) Установка на ростверк над сваей (вариант предпочтителен при небольшой толщине ростверка (менее 1,0 м) и наличии свободного участка на обресе ростверка над сваей;
- б) Установка на боковую поверхность сваи при помощи внешней консоли.

ПНСТ  
(проект)

- в) Установка в штрабу, вырезанную на боковой поверхности сваи под ростверком.
- г) Установка на боковую поверхность сваи бокового датчика.

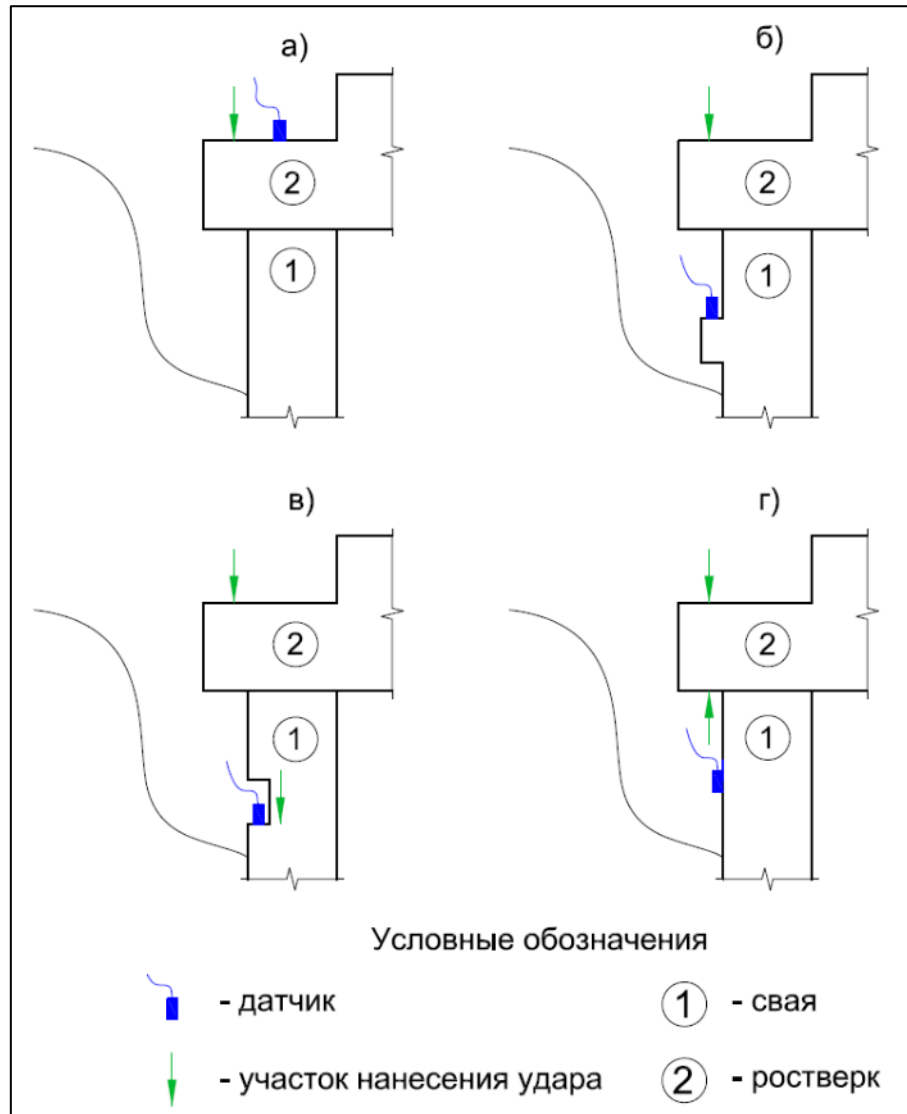


Рисунок Б.1 – Схемы установки датчика

Б.5 Ударное воздействие для создание продольной волны в свае при наличии ростверка может быть осуществлено одним из следующих способов:

- а) По обрезу ростверка над сваей (в случае наличия свободного горизонтального участка) (схемы «а»-«г» на рисунке Б.1);
- б) По горизонтальной поверхности штрабы, вырезанной на боковой поверхности сваи (схема «в» на рисунке Б.1);
- в) По нижней поверхности ростверка рядом со сваей (создание волны растяжения, удар вверх) (схема «г» на рисунке Б.1).



Б.6 Во всех случаях, когда для измерений используется ростверк (датчик устанавливается на ростверк, удар наносится по ростверку), необходимо проверить наличие контакта ростверка с исследуемой сваей (свая должна монолитно сопрягаться с ростверком без зазоров, прокладок, трещин и пр.).

Б.7 В случае опирания на ростверк несущей конструкции с формой близкой к стержневой (колонна, стойка, пилон и пр.), необходимо учитывать возможность отражения волны от ее верхнего конца, а также примыкающих по длине элементов (плит и ригелей перекрытия и пр.). Минимизировать влияние надземной конструкции можно проводя измерения на сваях, расположенных в кусте наиболее удаленно от оси надземной несущей конструкции.

**Приложение В**  
**(обязательное)**  
**Погрешность измерения**

В.1 Общая погрешность измерения длины сваи (расстояния до дефекта)  $\delta_{\Sigma}$  представляет собой отношение разницы измеренной длины  $L$  и фактической длины  $L_{\phi}$  к фактической длине:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{L - L_{\phi}}{L_{\phi}}, \quad (\text{Г.1})$$

Общая погрешность состоит из следующих составляющих:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_{\text{пр}} + \delta_{\text{скор}} + \delta_{\text{доп}}, \quad (\text{Г.2})$$

где  $\delta_{\text{пр}}$  – приборная погрешность;

$\delta_{\text{скор}}$  – погрешность задания стержневой скорости распространения волны в свае;

$\delta_{\text{доп}}$  – дополнительная погрешность.

В.2 Приборная погрешность  $\delta_{\text{пр}}$  измерения времени определяется применяемым прибором диагностики и является величиной, контролируемой при поверке оборудования. Приборная погрешность применяемого оборудования должна составлять не более 5%.

В.3 Основной погрешностью при обработке является погрешность задания стержневой скорости распространения волны в свае  $\delta_{\text{скор}}$ . Величина данной погрешности может быть минимизирована за счет измерения стержневой скорости  $C$  на эталонной свае (свае известной длины), а также применения ультразвукового метода, описанного в приложении Д.

В.4 Дополнительная погрешность  $\delta_{\text{доп}}$  может быть вызвана неправильной интерпретацией полученной рефлектограммы (неверным выделением пика на графике) и напрямую связана с квалификацией и опытом специалиста, обрабатывающего полученный сигнал, а также объемом информации, подлежащей анализу (данные проекта, исполнительная документация, наличие эталонной сваи, количество исследованных свай и пр.). Величина указанной составляющей должна быть сведена к нулю.

В.5 Общая погрешность измерения  $\delta_{\Sigma}$  должна быть минимизирована и в любом случае должна составлять не более 10%.

**Приложение Г**  
**(обязательное)**

**Определение стержневой скорости в свае**

Г.1 Стержневая скорость распространения волн в материале сваи  $C$  принимается постоянной по ее длине и зависит от различных параметров, среди которых:

- а) плотность материала сваи  $\rho$ ;
- б) модуль упругости  $E$ , который в том числе зависит от возраста бетона сваи;
- в) процент армирования железобетонной сваи;
- г) прочее.

Г.2 Стержневая скорость в контролируемой свае определяется одним из следующих способов или их комбинацией:

- а) эмпирическим путем по табличным данным (таблица Г.1);
- б) путем измерения на эталонной свае (свае известной длины), причисленной к одной партии с контролируемой сваей, а также ее фрагменте;
- в) ультразвуковым методом (Приложение Д).

Таблица Г.1 - Примерные значения стержневой скорости в сваях различных типов

Тип сваи	Скорость $C$ , м/с*		
	от	до	среднее
Железобетонные сваи заводского изготовления	3500	4500	4000
Железобетонные сваи, изготавливаемые на строительной площадке (буровые, набивные и пр.)	3300	4300	3800
Стальные сваи (без заполнения)	4800	5100	5000
Стальные сваи (с заполнением бетоном, раствором, ЦПС)	зависит от свойств материала заполнения, определяется экспериментально		
Деревянные сваи	4000	6000	5000

\* В редких случаях скорость волны в сваях может выходить за пределы, представленные в таблице.

**Приложение Д**  
**(рекомендуемое)**

**Ультрасейсмический метод определения длины сваи**  
**и стержневой скорости**

Д.1 Ультрасейсмический метод представляет собой последовательность сейсмоакустических измерений на свае с переменным по высоте уровнем установки датчика на боковой поверхности.

Д.2 В результате ультразвуковых измерений можно определить длину измеряемого элемента (длину свай, расстояние до стыка, глубину расположения дефекта и пр.) без введения в расчет значения стержневой скорости распространения волны в свае. Также по результату исследований можно определить точное значение стержневой скорости в свае с последующим использованием полученного значения для контроля свай, причисленных к данной партии (типу, возрасту и т.п.) на данном объекте.

Д.3 Для выполнения измерений рекомендуется выбрать сваю с наиболее просто интерпретируемым сигналом (четким амплитудным отражением от пяты, минимальной фильтрацией сигнала, отсутствием дополнительных отражений от дефектов, смены вмещающих грунтов, примыкающих конструкций и пр.).

Д.4 На боковой поверхности контролируемой сваи наносится разметка с заданным шагом по высоте (рисунок Д.1). Начало разметки соответствует наиболее высоко расположенному сечению для установки датчика (в общем случае – оголовок сваи). Шаг по высоте и количество сечений измерения выбирается исходя из длины участка, доступного для измерения. Рекомендуемое значение шага 0,3-0,5 м. Рекомендуемое количество сечений не менее шести. При уменьшении шага количество сечений рекомендуется увеличить, чтобы суммарная длина участка измерений составляла не менее 1,5 м.

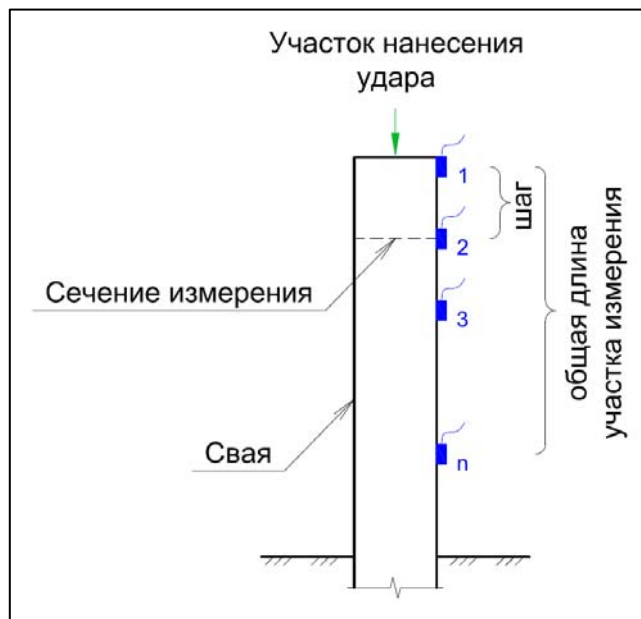


Рисунок Д.1 – Схема проведения ультразвукового контроля

Д.5 Установка датчика может осуществляться одним из способов, указанных в п. Б.4 схемы «б»-«г». Для сокращения трудозатрат и увеличения точности измерения рекомендуется применение бокового датчика (п. Б.4 схема «г»).

Д.6 Ударное воздействие возбуждается по оголовку сваи. Участок нанесения удара не меняется при измерении в каждом из сечений. Для увеличения точности результата измерения рекомендуется нанесение ударов молотком с твердой насадкой.

Д.7 На каждом из сечений выполняется измерение согласно требованиям раздела 4.3.5.

Д.8 Полученные рефлектограммы анализируются в камеральных условиях, при необходимости отбраковываются и обрабатываются стандартными методами (п. 4.4.2). Рекомендуется не применять фильтрацию сигнала или минимизировать ее использование. Рекомендуется получить усредненный график по всем отобранным рефлектограммам с каждого отдельного сечения измерения. По усредненным или выбранным отдельным рефлектограммам на каждом сечении производится измерение времени между моментом возбуждения сигнала и моментом прихода отраженной волны.

## ПНСТ (проект)

Д.9 Данные по высоте сечения (мм) относительно начального и измеренное время (мкс) заносятся в специализированное ПО или другие программы математической обработки данных. По полученным данным «высота сечения – время» методом наименьших квадратов строится линейная зависимость типа:

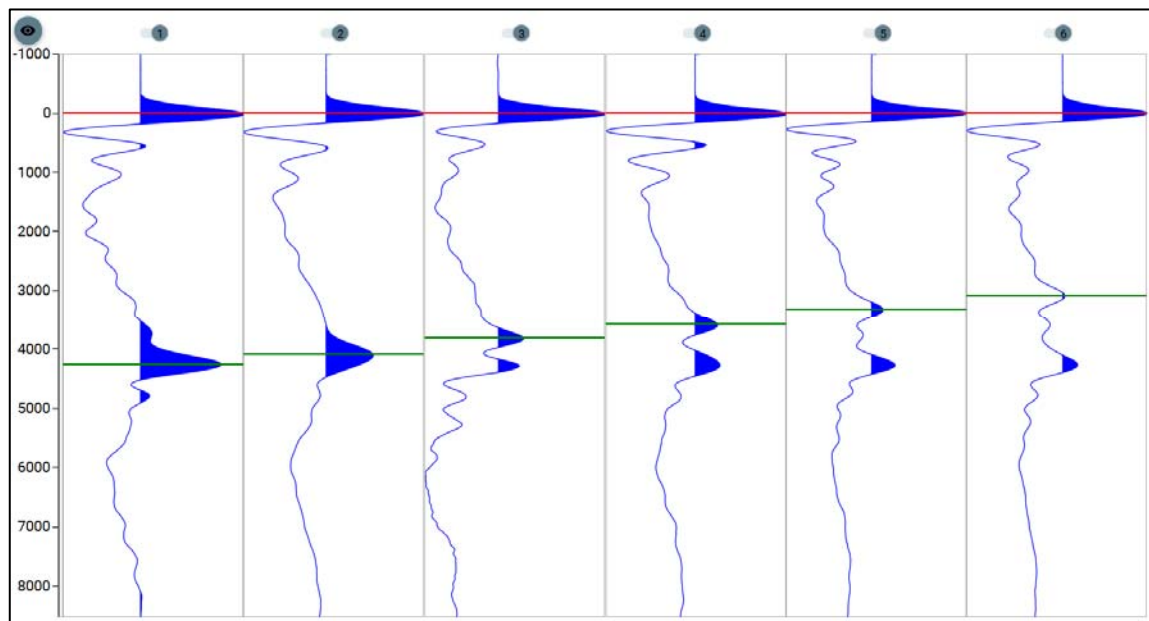
$$y = -a \cdot x + b, \quad (\text{Ж.1})$$

где  $b$  – это определенная ультразвуковым методом длина сваи от уровня верхнего сечения измерения, мм.

Стержневая скорость в свае ( $C$ , м/с) определяется по формуле:

$$C = 2000 \cdot a \quad \text{Ж.2)}$$

Д.10 Пример обработки и результат измерения на сборной железобетонной свае длиной 9,0 м представлен на рисунке Д.2.



Высота сечения, мм	Время, мкс
0	4267
500	4096
1000	3819
1500	3584
2000	3328
2500	3093

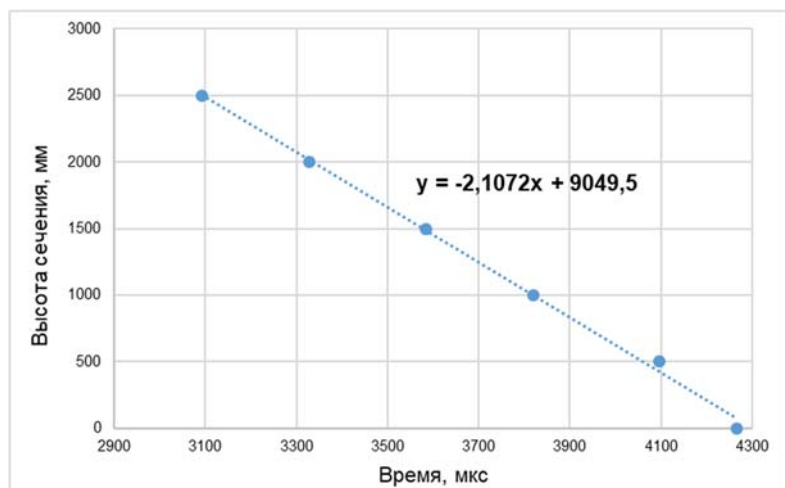


Рисунок Д.2 – Пример обработки и результат измерения



## Приложение Е (рекомендуемое) Типовые рефлектограммы














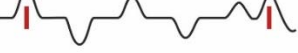












Профиль сваи	Описание	Регистрируемый сигнал
	Свая проектной длины, с постоянным сечением	
	Свая проектной длины, с постоянным сечением, опирающаяся на грунты повышенной акустической жесткости	
	Свая с постоянным сечением, длина которой не соответствует проекту	
	Свая проектной длины, с увеличением акустического импеданса в нижней части	
	Свая проектной длины, со снижением акустического импеданса в нижней части	
	Свая проектной длины, со снижением акустического импеданса в верхней части	
	Свая проектной длины, с увеличением акустического импеданса в верхней части	
	Свая проектной длины, с локальным увеличением акустического импеданса	
	Свая проектной длины, с локальным снижением акустического импеданса	
	Свая проектной длины, с локальным увеличением акустического импеданса в верхней части	
	Свая проектной длины, с локальным снижением акустического импеданса в верхней части	
	Свая проектной длины, с локальным снижением акустического импеданса вблизи оголовка	
	Свая проектной длины, с нерегулярным профилем	

Рисунок Е.1 - Типовые рефлектограммы, полученные в результате численного моделирования. Маркерами выделены проектные отметки верхнего конца сваи и пяты [3]

**Приложение Ж**  
**(обязательное)**

**Состав технического отчета**

Ж.1 Отчет по контролю свай сейсмоакустическим методом должен содержать в себе следующую информацию.

а) Наименование, местоположение, краткое описание объекта проведения работ;

б) Информация об инженерно-геологических условиях (при наличии данных);

в) Тип и размеры свай (длина и диаметр) по данным исполнительной или проектной документации;

г) Технология изготовления/погружения свай;

д) Описание исследованных свай:

1) Нумерация свай (согласно имеющейся документации или условная);

2) Схема расположения свай;

3) Дата бетонирования/погружения сваи;

4) Сведения о свойствах материала сваи (при наличии);

5) Длина секций (для составных свай);

е) Результаты контроля сплошности и длины свай сейсмоакустическим методом:

1) Дата проведения контроля;

2) Описание оборудования;

3) Описание примененной методики;

4) Графическое представление результатов обработки сигналов в виде рефлектограмм;

5) Основные параметры обработки сигналов, включая принятую при обработке стержневую скорость;

6) Результат определения длины свай;

7) Заключение о сплошности свай;

ж) Копия свидетельства членстве в СРО по инженерным изысканиям.

### Библиография

- [1] ASTM D5882-16 «Стандартный метод испытаний фундамента глубокого заложения на целостность путем приложения ударной нагрузки малой интенсивности»
- [2] НТП РК 07-02.2-2011 «Разработка тестирования свай на сплошность»
- [3] СТО ЭГЕОС 1-1.2-001-2017 «Применение неразрушающего контроля сплошности свай сейсмоакустическим методом»
- [4] Руководство по контролю качества скрытых работ геофизическими методами при строительстве подземных объектов, включая объекты метрополитена, на территории Москвы. -М: Правительство Москвы, 2021

ПНСТ  
(проект)

---

УДК 624.154

ОКС 93.020

УДК 534.6

Ключевые слова: контроль свай, сейсмоакустический метод, длина, сплошность

---

Руководитель организации-разработчика

ООО «ОЗИС-Венчур»

Генеральный директор,

к.т.н.

А. В. Улыбин