

Методика диагностики свай с помощью прибора «СПЕКТР-2.0»

Введение	2
1. Подготовка.....	2
2. Сбор экспериментальных данных	3
3. Обработка данных.....	6
4. Заключение	8
Приложение 1	9

Введение

Данная методика описывает порядок проведения измерений и последующую обработку экспериментальных данных при работе с прибором диагностики свай «СПЕКТР-2.0». В последующих главах приведено описание используемых при проведении измерений инструментов, настройка прибора, установка датчика и нанесение удара, обработка экспериментальных данных. Процесс обработки данных показан на реальных примерах диагностики железобетонных и буронабивных свай.

Описываемая методика относится к случаю свободного верхнего доступа к свае, т.е. когда имеется возможность установки датчик и нанесения удара по верхнему торцу сваи.

Методика и новая программа.

1. Подготовка

При сборе экспериментальных данных используется прибор «СПЕКТР-2.0» и один из вибродатчиков, идущих в комплекте с прибором. Для крепления на сваю используется обычный пластилин или подобный по свойствам (вязкий) материал. Для нанесения удара по свае допускается использовать только обрезиненный молоток с жёстким сердечником или молоток с пластиковой насадкой. Не допустимо использовать металлический молоток! Молоток не должен содержать в своей конструкции не закреплённых элементов! Примеры рекомендуемых молотков приведены на рис. 1.1. Масса молотка может варьироваться от 300 г до 1 кг и более. При работе с железобетонными и буронабивными (диаметром до 900 мм) сваями рекомендуемая масса молотка составляет до 800 г. Для диагностики буронабивных свай диаметром более 900 мм рекомендуется использовать молоток массой более 1 кг.



Рис. 1.1. Примеры рекомендуемых молотков.

В настройках прибора следует выбрать один из каналов, к которому будет подключен датчик. Количество отсчётов предзаписи следует установить не менее 40. На рис. 1.2 приведён пример настроек прибора.

Рабочие параметры	
Актив. каналы	1
Полярность 1к.	+
Полярность 2к.	+
Предзапись, зн.	64
Ожидание, с	10
[↑↓]выбор параметра [↕]изменить значение [F]сохранить и выйти	
← → 12:22 7 авг	

Рис. 1.2. Пример установки общих параметров прибора.

В параметрах режима измерения следует установить максимальную частоту дискретизации (46.9 кГц) и длину записи 2048 значений. Усиление в активном измерительном канале следует подобрать экспериментально (при проведении измерений на свае) таким образом, чтобы сигнал не был в «ограничении», а его размах был не менее 1/8 от максимально возможного (см. пункт руководства «6.2 Порядок работы»). На рис. 1.3 показан пример настроек режима измерения.

Помощь :	
[M]на	V, м/с 4000
уд. [M]	Fд, кГц 46.9
[F]вы	Запись, зн. 2048
[↔]к	Усил. 1к, дБ 12
[↑↓]г	Усил. 2к, дБ 0
[↕]в	Запуск 1
[C]си	Уровень, % +6
[Alt]и	База, см 300
уд. [A]	
[Выкл]удалить запись	
← → 12:22 7 авг	

Рис. 1.3. Пример установки параметров измерения.

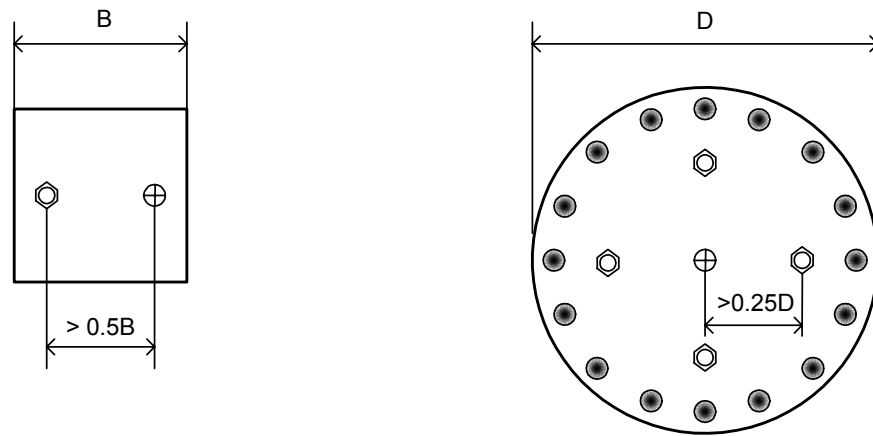
Перед сбором данных следует установить скорость (V, м/с) ультразвука в свае (бетоне). В зависимости от марки бетона скорость находится в интервале 3500...4200 м/с. Далее в методике значение скорости принято равным 4000 м/с.

2. Сбор экспериментальных данных

Перед установкой датчика верхний торец сваи очищается от посторонних предметов (мусор, камни и пр.). Место установки датчика и место нанесение удара должно иметь плоскую поверхность.

Датчик плотно прижимается к верхнему торцу сваи через пластилин. На рис. 2.1 показана схема установки датчика на железобетонную и буронабивную сваю. Пример установки датчика на железобетонную сваю сечением 300x300 мм показан на рис. 2.2.

ВИД СВЕРХУ



⊙ место установки датчика

● арматура

⊕ место нанесения удара

Рис. 2.1. Схема установки датчика и место нанесения удара.



Рис. 2.2. Пример установки датчика на железобетонную сваю.

После установки датчика нажатием кнопки «М» прибор переключается в режим измерения, а на экране отображается краткая информация по управляющим клавишам (рис. 2.3). Последующее нажатие кнопки «М» переводит прибор в режим ожидания сигнала с датчика (рис. 2.4).

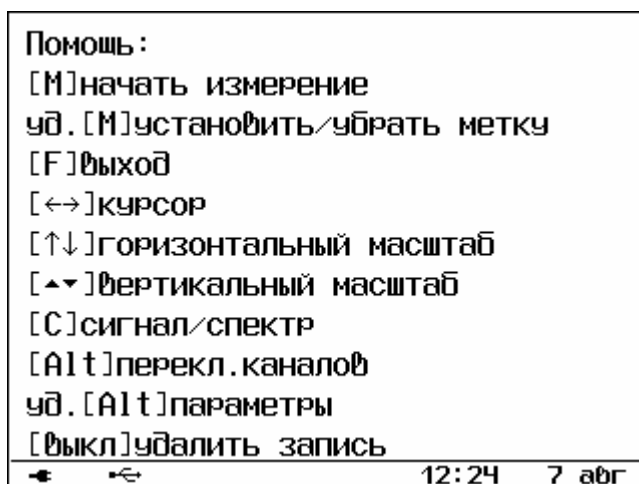


Рис. 2.3. Меню режима измерения.

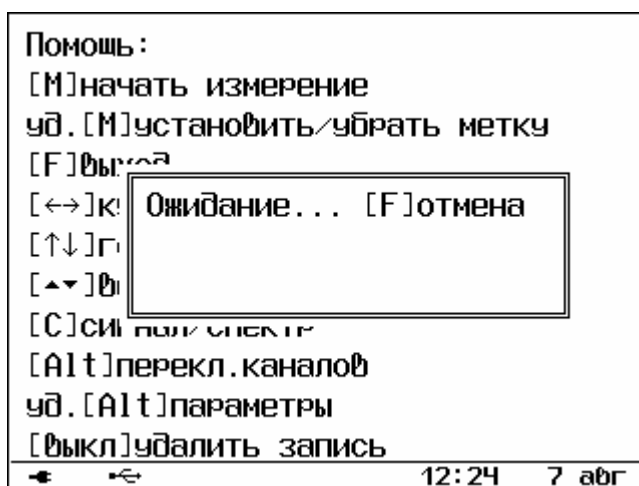


Рис. 2.4. Ожидание сигнала с датчика.

Удар наносится по верхнему торцу сваи (см. рис. 2.1), датчик воспринимает реакцию сваи, а электронный блок производит запись и отображение вибросигнала. На рис. 2.5 приведён снимок экрана прибора с записанной реакцией сваи.

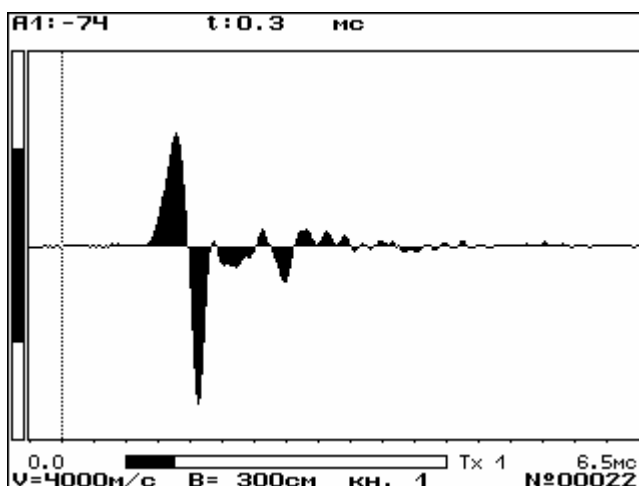


Рис. 2.5. Снимок экрана с примером записанной реакции сваи.

По каждой свае наносится серия (порядка 10) достаточно сильных ударов. При этом следует добиться повторяемости регистрируемых сигналов/спектров.

При проведении измерений следует обращать внимание на длину участка сваи, которая находится над уровнем грунта. Для более корректного сбора информации длина свободной части сваи не должна превышать трёх диаметров сваи.

3. Обработка данных

Основанная обработка экспериментальных данных производится в компьютерной программе. Перед началом работы следует включить нормирование сигнала (пункт «Вид» главного меню), фильтрацию и интегрирование в канале, к которому был подключен датчик («Обработка»). Пример установок компьютерной программы показан на рис 3.1 и 3.2 (датчик подключен к первому каналу). Следует заметить, что анализ сигнала во временной области будет проводиться с включенной опцией интегрирования («скорость/ускорение»), а в частотной – с отключенным интегрированием. Максимальную частоту на графике спектра (f_{\max} , Гц) следует ограничить значением 5000 Гц.

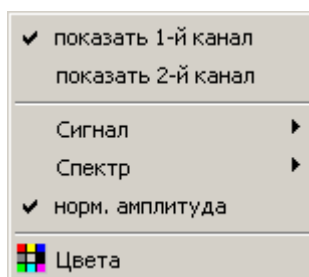


Рис. 3.1. Пункт «Вид» главного меню.

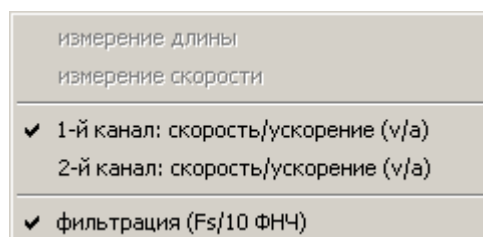


Рис. 3.2. Пункт «Обработка» главного меню.

При ударе по верхнему торцу волна проходит до конца сваи и возвращается обратно. Датчик регистрирует сам удар и его отражение от неоднородностей в свае, слоёв грунта и конца сваи.

На рис. 3.3. приведён пример сигнала полученного на целой (без сплошных по сечению трещин) 6 м свае в мягком грунте. Разность времени между ударом и отражением (t_1 , t_2) составляет 3.11 мс, тогда длина сваи составляет:

$$H = \frac{V \cdot \Delta t}{2} = \frac{4000 \frac{m}{c} \cdot 3.11 мс}{2} = 6.22 м.$$

В момент времени 2.81 мс на сигнале виден относительно слабый всплеск, который может соответствовать слою грунта на расстоянии 2.76 м от верха сваи.

Длину сваи и закрепление её конца можно оценить по спектру (см. рис. 3.4). Для вычисления длины используется разность частот между экстремумами, кроме первого. Первая разность (t_3 , t_2) $954.2 - 637.1 = 317.1$ Гц, вторая разность (t_4 , t_3) $1295.7 - 954.2 = 341.5$ Гц, среднее значение разностей $(317.1 + 341.5)/2 = 329.3$ Гц, тогда длина сваи составляет:

$$H = \frac{V}{2 \cdot \Delta f} = \frac{4000 \frac{m}{c}}{2 \cdot 329.3 Гц} = 6.07 м.$$

Значение частоты первого экстремума ($\tau 1: 329.7\text{Гц}$) фактически совпадает с расстоянием между последующими экстремумами, что говорит о мягком закреплении конца сваи. При жёстком закреплении значение частоты первого экстремума стремится к половине разности между последующими экстремумами (такой случай будет рассмотрен далее на примере буронабивной сваи).

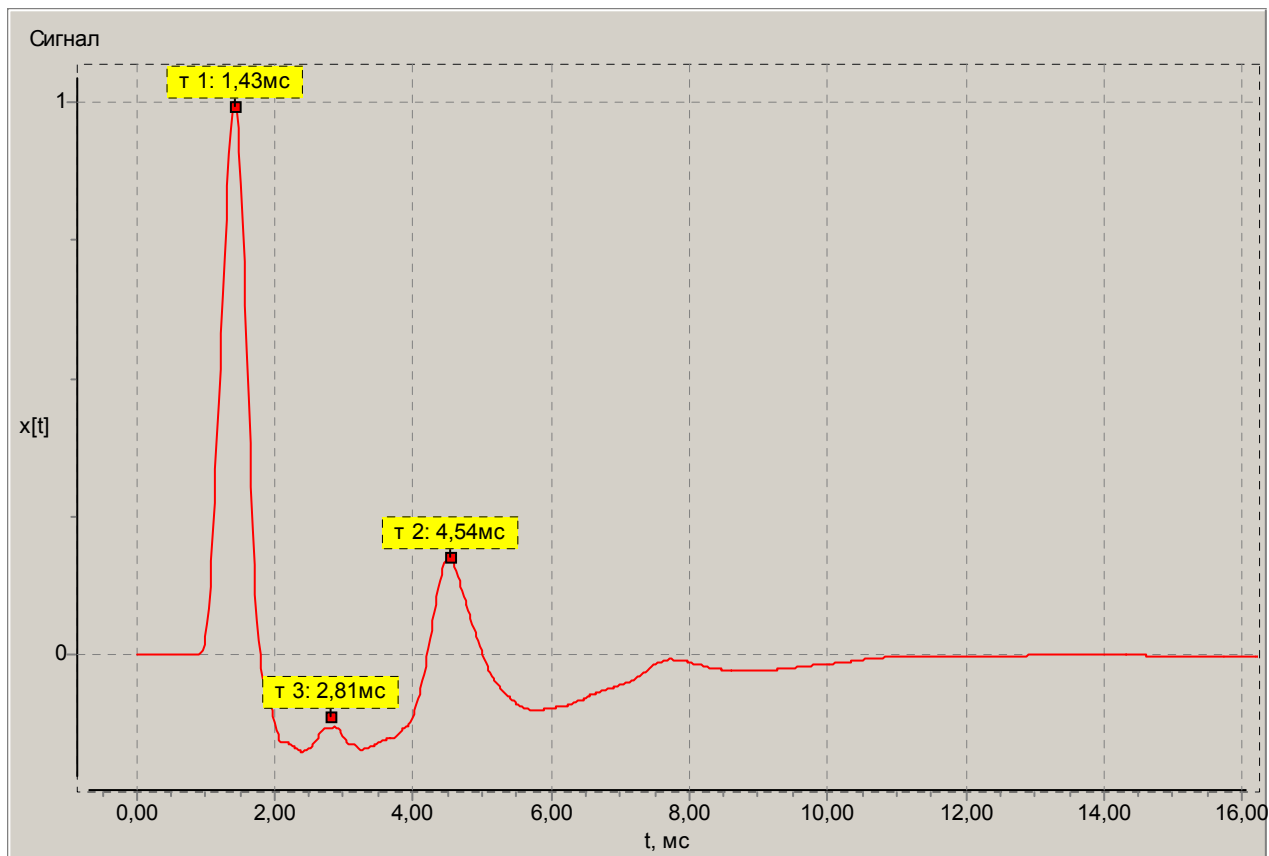


Рис. 3.3. Реакция (сигнал скорости) железобетонной 6 м сваи в мягком грунте на ударное воздействие.

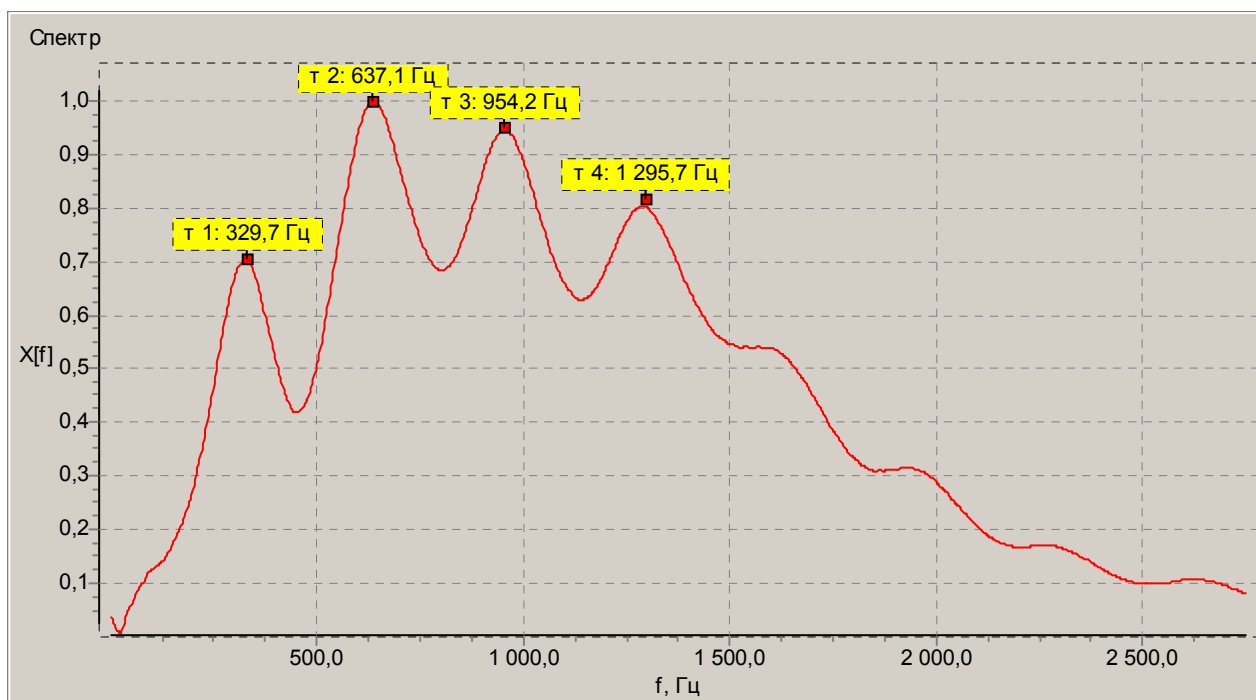


Рис. 3.4. Спектр реакции (спектр сигнала ускорения) железобетонной 6 м сваи в мягком грунте на ударное воздействие.

Компьютерная программа «СПЕКТР-2.0» позволяет автоматизировать вычисления при анализе сигнала и спектра («Обработка \ измерение длины» или из контекстного меню графиков «Сигнал» и «Спектр»). Расчет проводится на основе установленных точек на графиках «Сигнал» или «Спектр». Пример диалогового окна с результатами расчётов показан на рис. 3.5.

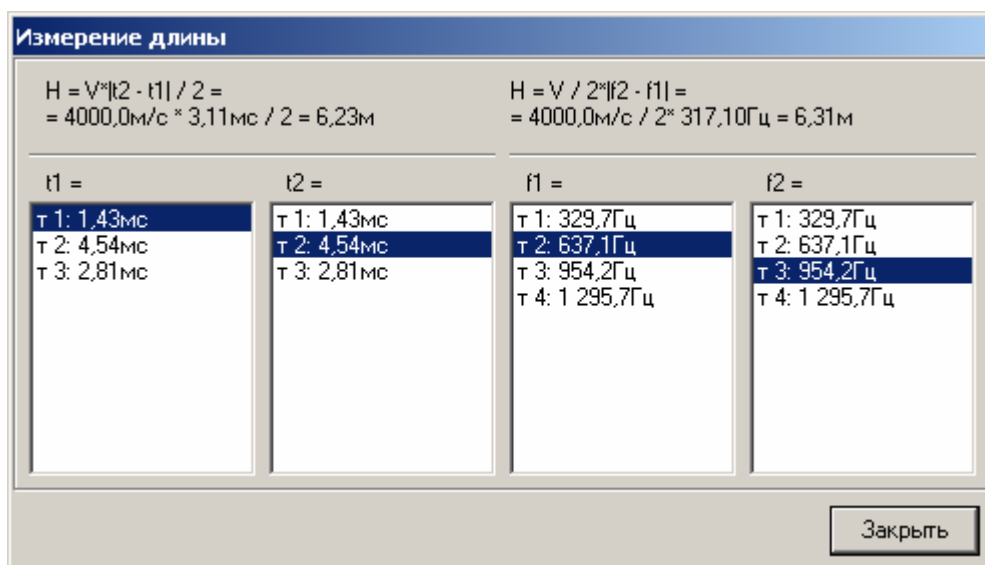


Рис. 3.5. Пример диалогового окна с результатами расчётов длины сваи.

В **Приложении 1** рассмотрены примеры обработки сигналов, полученных на реальных сваях.

4. Заключение

Диагностика свай по описанной выше методике имеет следующие ограничения:

Поверхность сваи, на которую устанавливается датчик и наносится удар, не должна содержать камней строительного мусора, цементного молока и пр. Недостаточно хорошо подготовленная поверхность может значительно исказить результаты.

Значение определяемой длины сваи зависит от скорости волны, которая может варьироваться в пределах $\pm 10\%$ от сваи к свае.

На отражённую волну влияет изменение сечения сваи и грунт. Поэтому при обработке экспериментальных данных желательно иметь информацию о профиле грунта.

Волна при прохождении по телу сваи теряет свою энергию в результате взаимодействия с грунтом. В жёстком грунте может возникнуть ситуация, когда отражения от конца сваи не видно. Это может произойти, когда длина сваи превышает 20...40 её диаметров.

Так как серьёзный дефект или нарушение сплошности сваи может полностью отразить волну, то информация об оставшейся части будет потеряна.

Приложение 1

Пример 1. На рис. 3.6 показан сигнал реакции целой железобетонной 5 м сваи. Длина, вычисленная по разности между ударом и отражением, составляет:

$$H = \frac{\Delta t \cdot V}{2} = \frac{(4.16 - 1.54) \text{ мс} \cdot 4000 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2} = 5.24 \text{ м}.$$

Первый экстремум в спектре (рис. 3.7) имеет частоту 384 Гц (5.21 м), что соответствует мягкому закреплению.

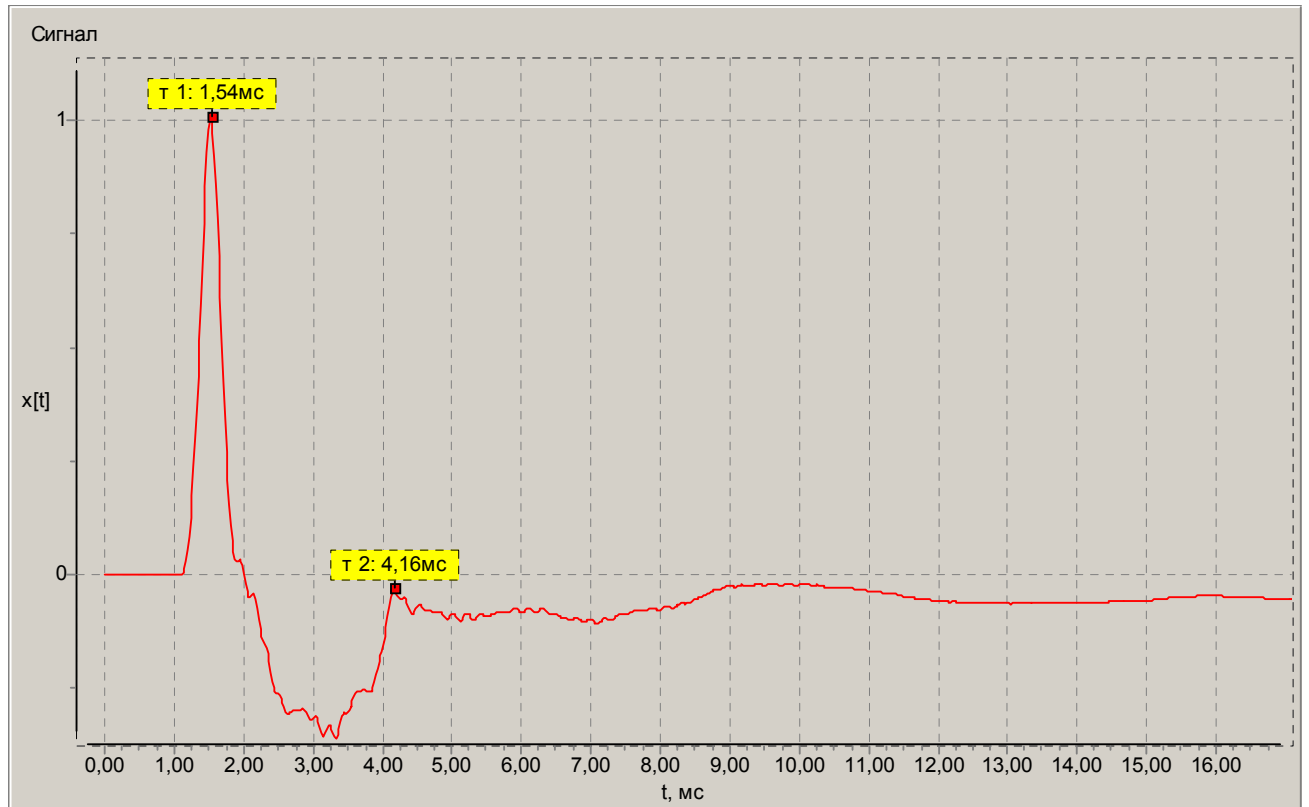


Рис. 3.6. Сигнал железобетонной 5 м сваи.

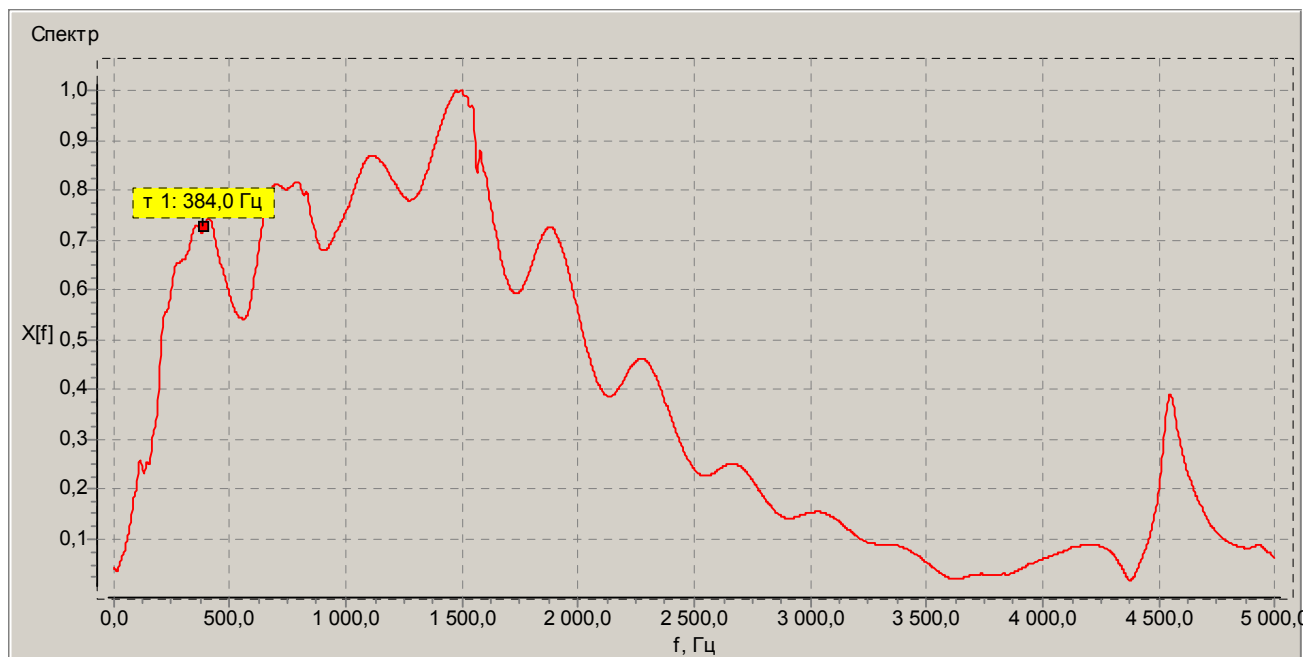


Рис. 3.7. Спектр железобетонной 5 м сваи.

Пример 2. На рис. 3.8 показана реакция сломанной железобетонной 5 м сваи. Длину верхней части сваи (до места трещины) определяем по спектру (рис. 3.9):

$$H = \frac{V}{2 \cdot f} = \frac{4000 \frac{M}{c}}{2 \cdot (2024 - 997) Гц} = 1.95 м$$

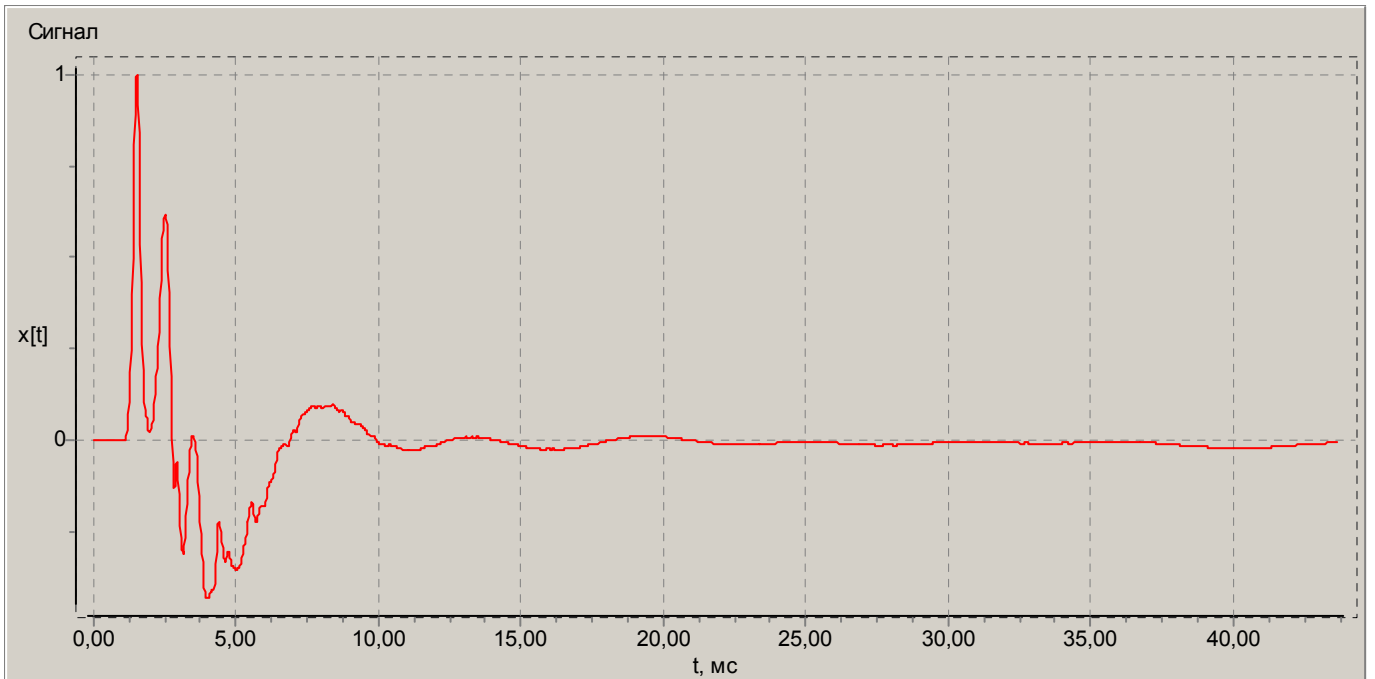


Рис. 3.8. Сигнал сломанной 5 м сваи.

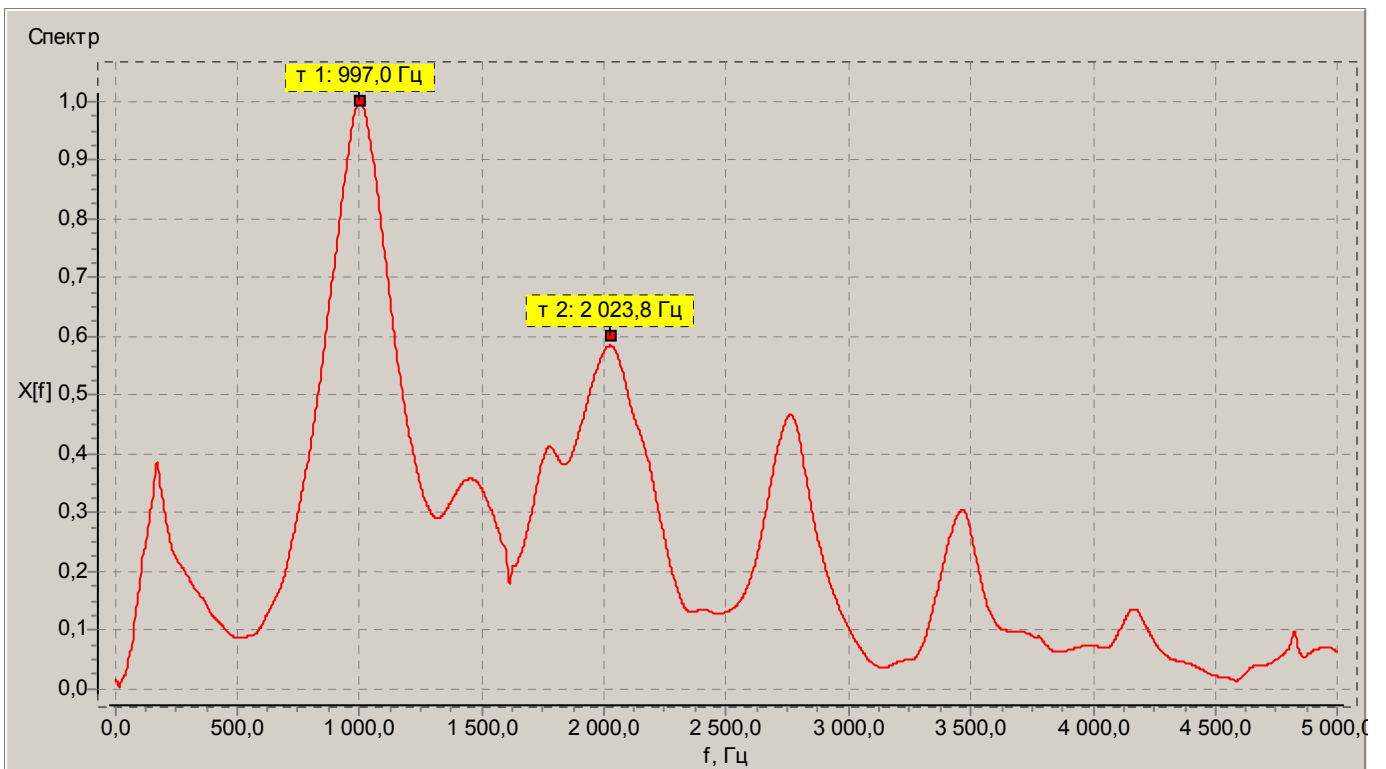


Рис. 3.9. Спектр сломанной 5 м сваи.

Пример 3. На рис. 3.10 показан сигнал целой железобетонной 6 м сваи. Задержка между ударом и отражением позволяет вычислить длину сваи:

$$H = \frac{\Delta t \cdot V}{2} = \frac{(4.48 - 1.53)_{мс} \cdot 4000 \frac{м}{с}}{2} = 5.89 м.$$

В точке (τ 3: 3.15 мс) наблюдается явный всплеск, который соответствует слою грунта (это было замечено при анализе более 10 свай на данной стройплощадке). Из спектра (рис. 3.11) видно, что свая имеет мягкое закрепление (339 Гц соответствуют 5.90 м).

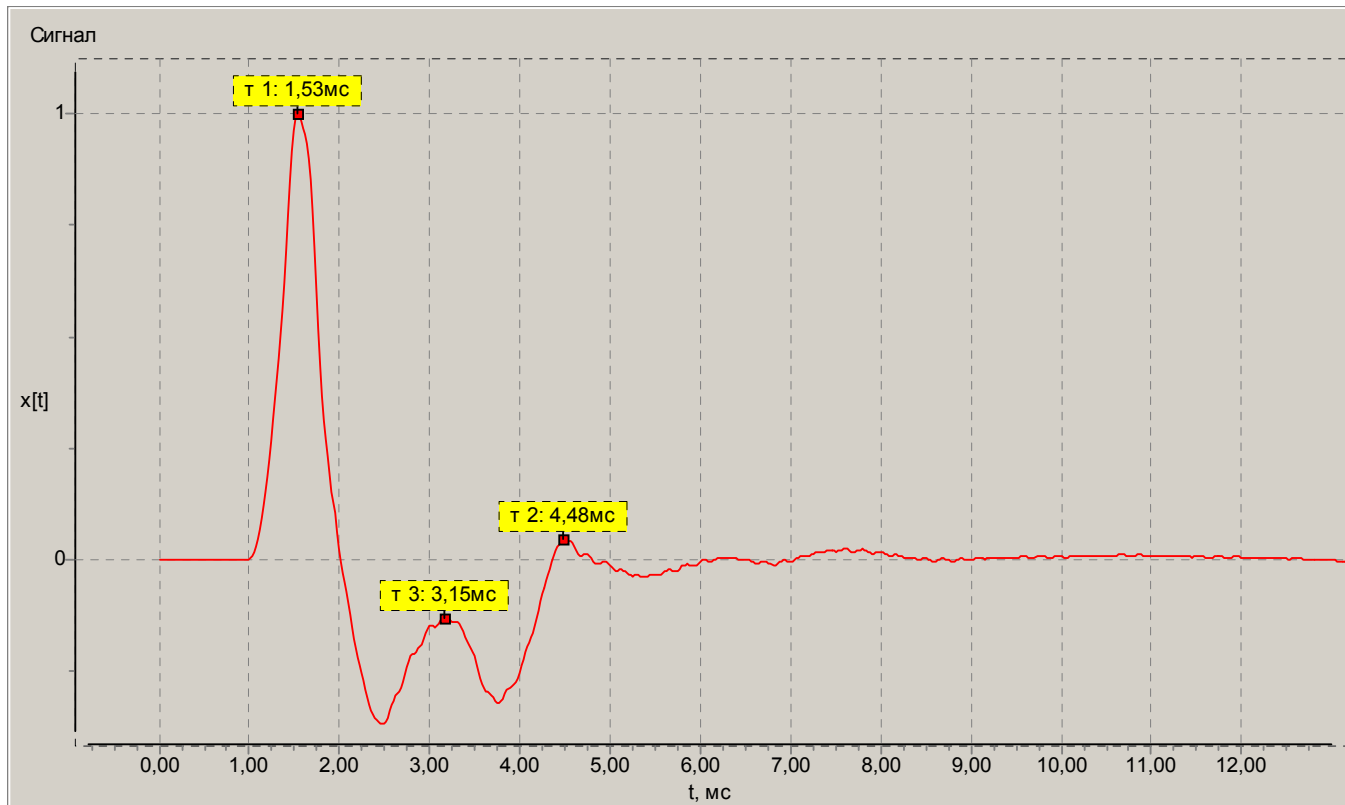


Рис. 3.10. Сигнал железобетонной 6 м сваи.

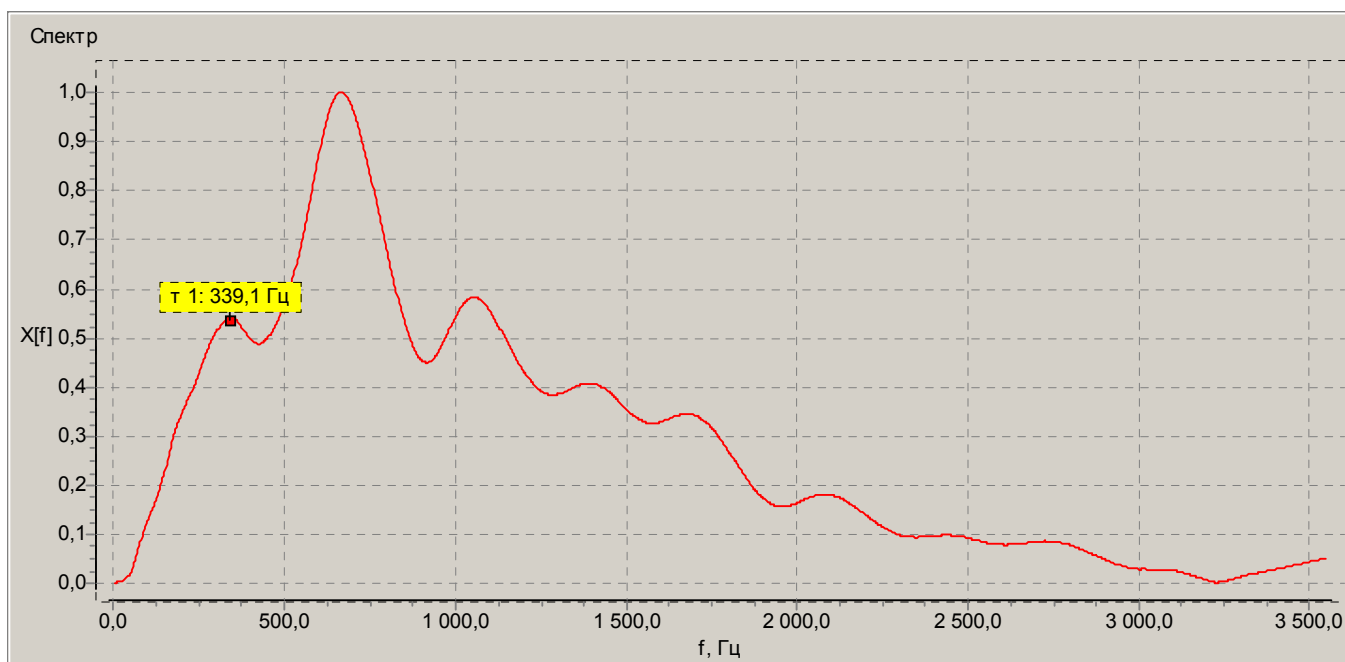


Рис. 3.11. Спектр железобетонной 6 м сваи.

Пример 4. На рис. 3.12 показана реакция сломанной железобетонной 6 м сваи. Характер колебаний носит затухающий характер, а удар и отражение отсутствуют. Длину верхней части сваи (до места трещины) можно определить по спектру на рис. 3.13:

$$H = \frac{V}{2 \cdot f} = \frac{4000 \frac{м}{с}}{2 \cdot (3523 - 1786) Гц} = 1.15 м$$

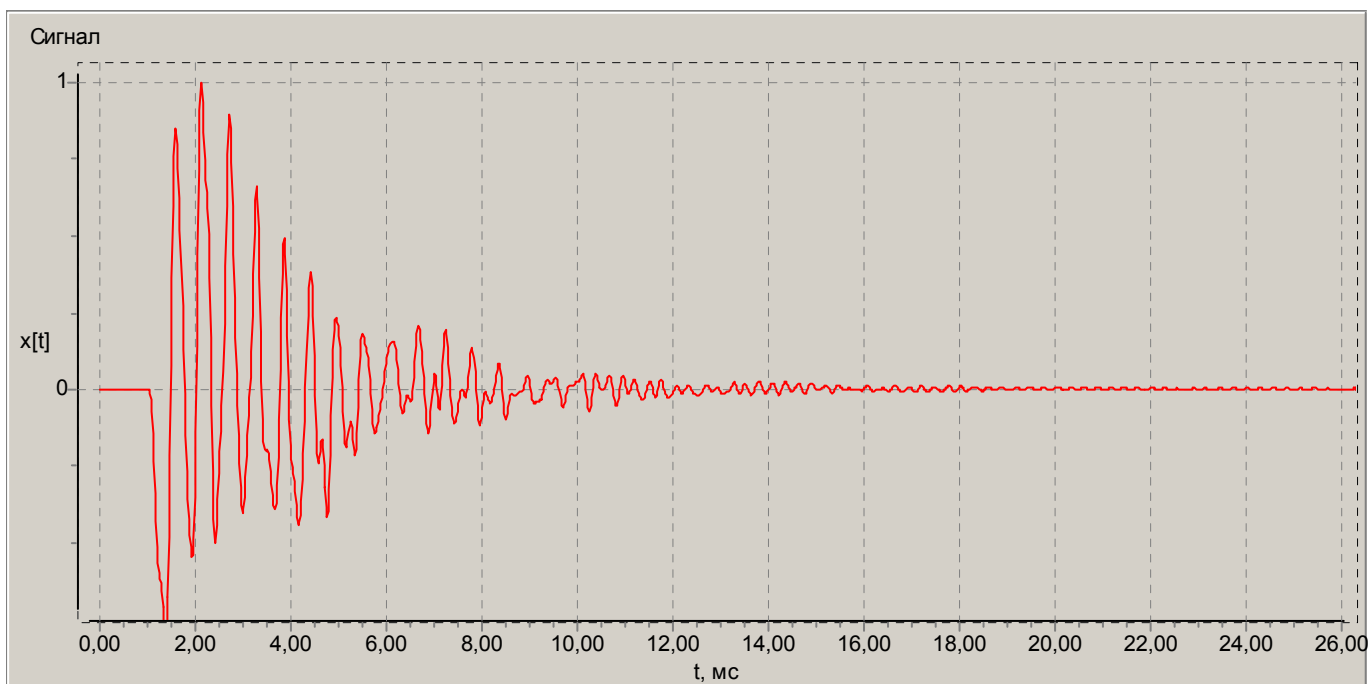


Рис. 3.12. Сигнал сломанной 6 м сваи.

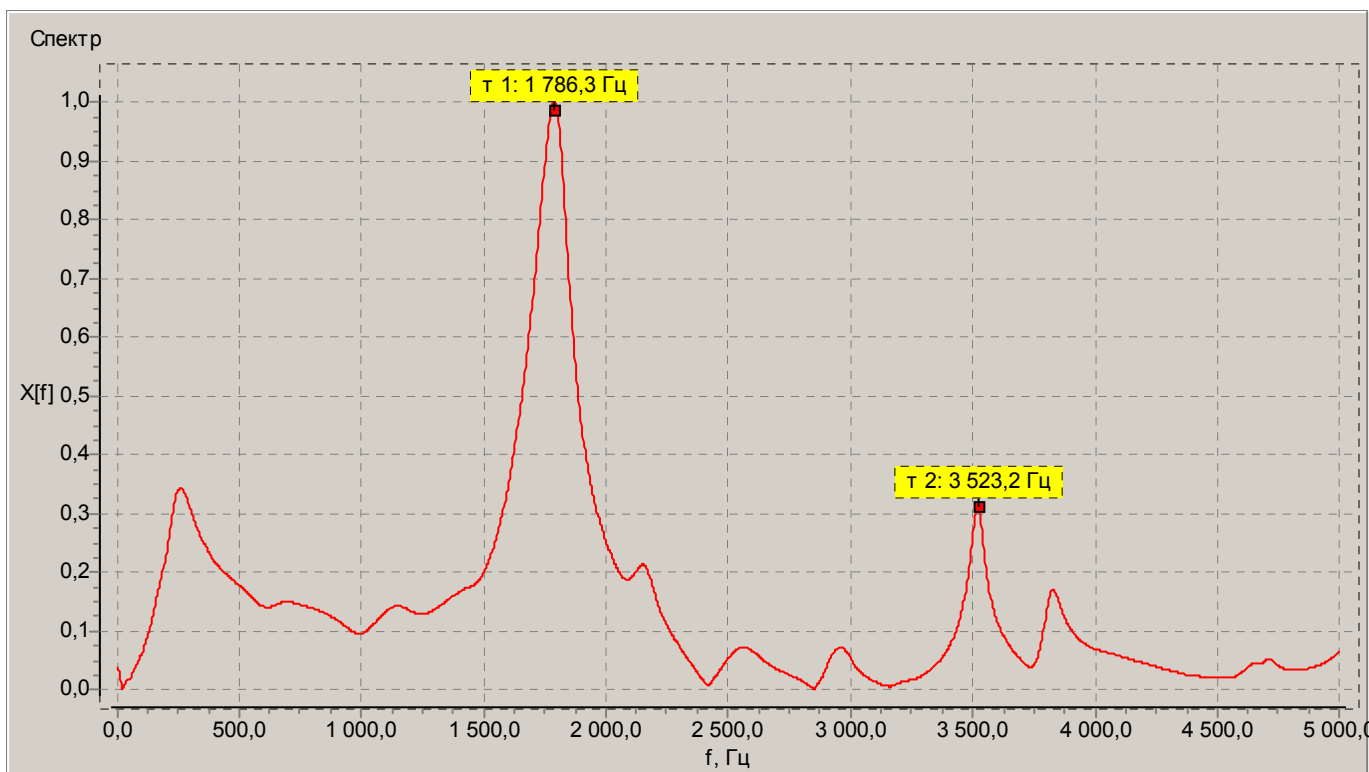


Рис. 3.13. Спектр сломанной 6 м сваи.

Пример 5. На рис. 3.14 показан сигнал реакции целой железобетонной 7 м сваи. Длина, вычисленная по разности между ударом и отражением, составляет:

$$H = \frac{\Delta t \cdot V}{2} = \frac{(5.39 - 1.64) \text{мс} \cdot 4000 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2} = 7.5 \text{ м}.$$

Первый экстремум в спектре (рис. 3.15) имеет частоту 239 Гц (8.37 м), что соответствует мягкому закреплению.

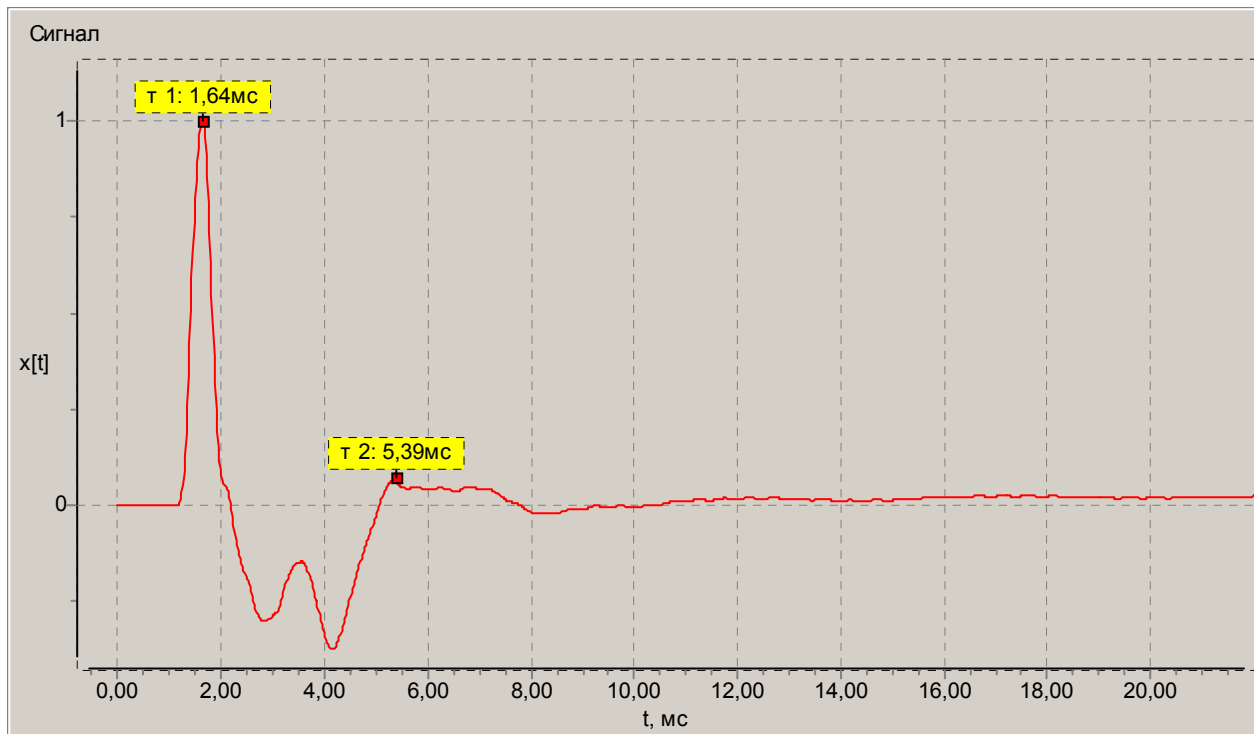


Рис. 3. 14. Сигнал железобетонной 7 м сваи.

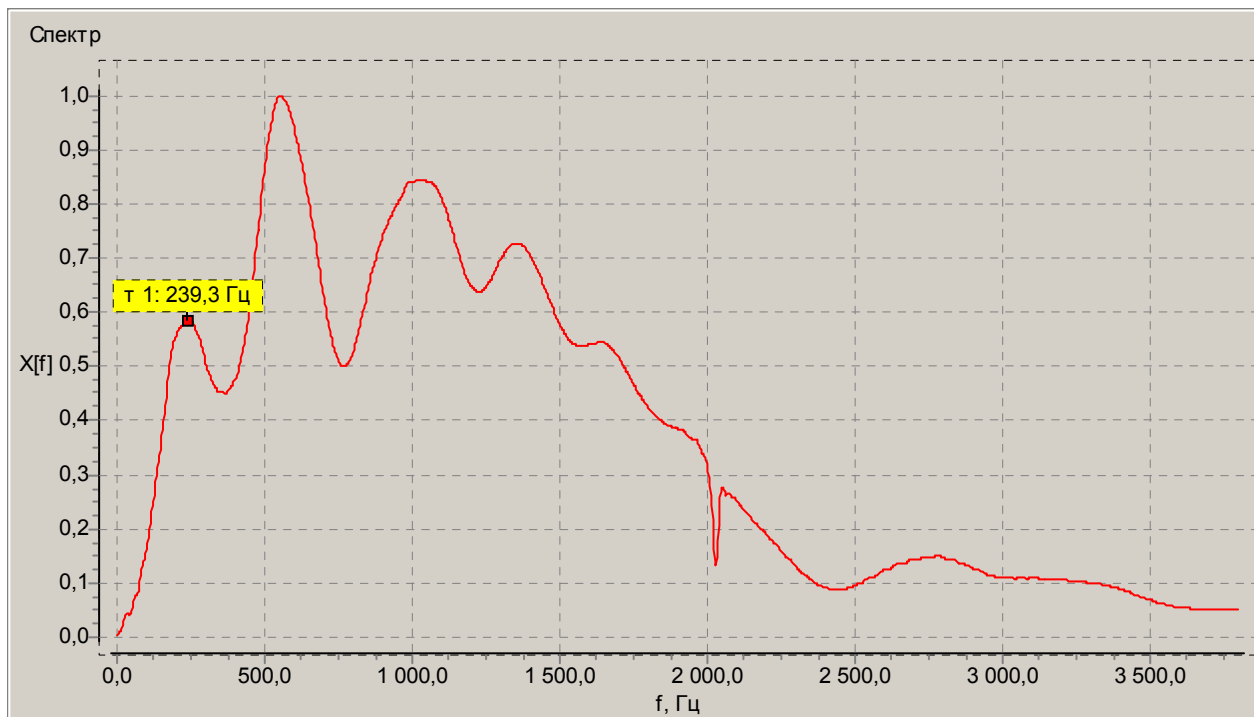


Рис. 3. 15. Спектр железобетонной 7 м сваи.

Пример 6. На рис. 3.16 показана реакция сломанной железобетонной 7 м сваи. Длину верхней части сваи (до места трещины) определяем по спектру (рис. 3.17):

$$H = \frac{V}{2 \cdot f} = \frac{4000 \frac{м}{с}}{2 \cdot (1509 - 814) Гц} = 2.88 м$$

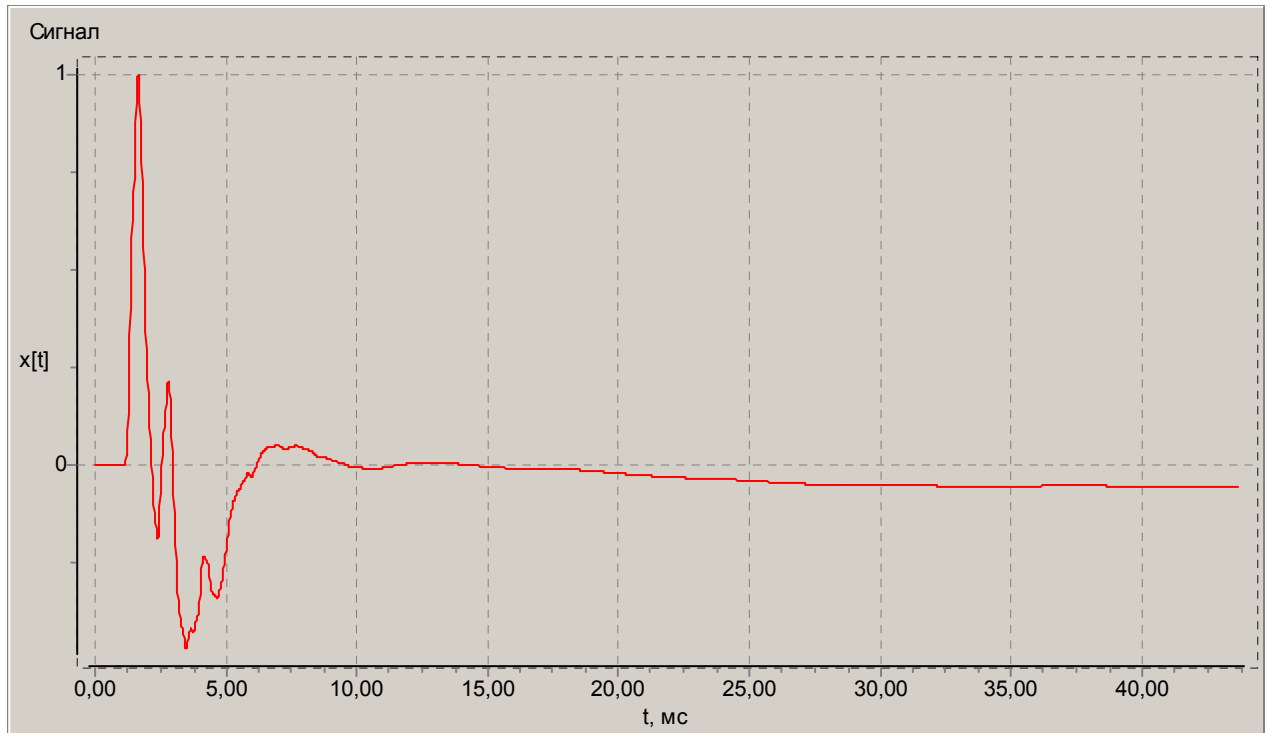


Рис. 3.16. Сигнал сломанной 7 м сваи.

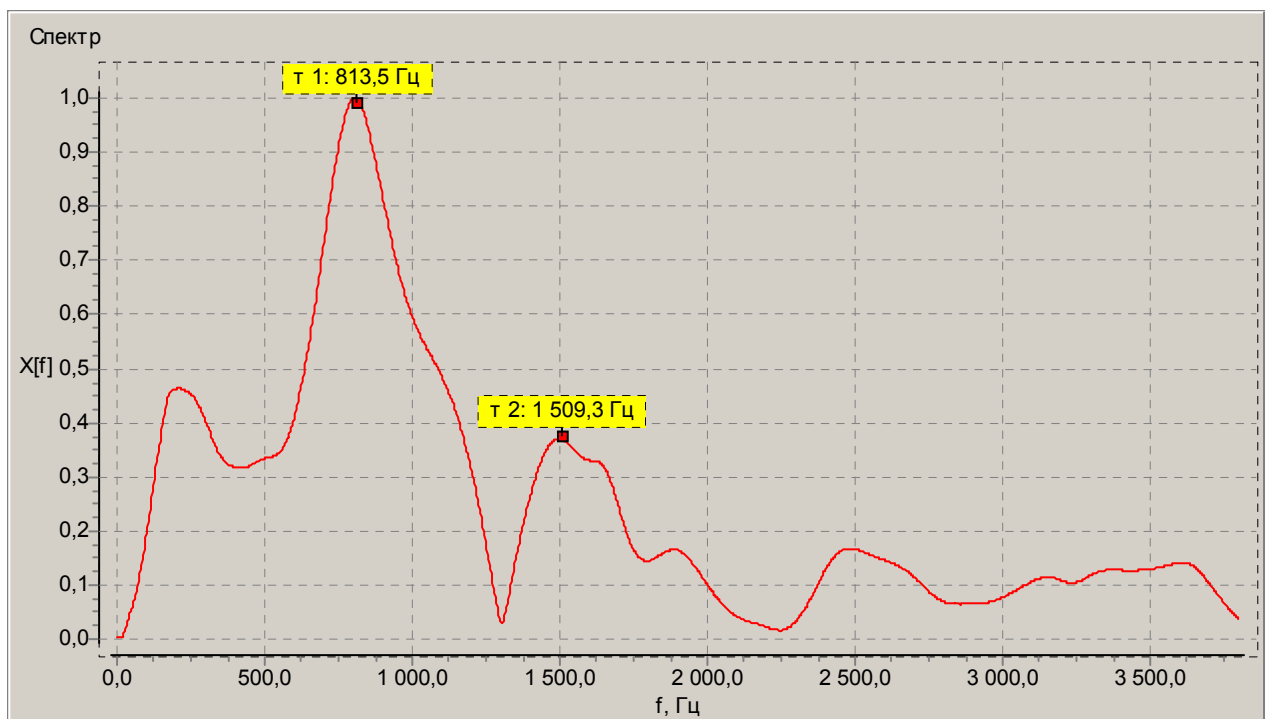


Рис. 3.17. Спектр сломанной 7 м сваи.

Пример 7. На рис. 3.18 и 3.19 показана реакция лежащей на грунте железобетонной 10 м сваи. Длину можно определить как по сигналу, так и по спектру:

$$H = \frac{\Delta t \cdot V}{2} = \frac{(6.93 - 1.97)_{мс} \cdot 4000 \frac{м}{с}}{2} = 9.92 м,$$

$$H = \frac{V}{2 \cdot f} = \frac{4000 \frac{м}{с}}{2 \cdot (400.9 - 199) Гц} = 9.91 м.$$

Из измерений на лежащих на грунте сваях с известной длиной можно получить более точно значение скорости, которое затем может быть использовано при обработке экспериментальных данных полученных на забитых сваях:

$$V = \frac{2 \cdot H}{\Delta t} \text{ или } V = 2 \cdot f \cdot H = 2 \cdot 201.9 Гц \cdot 10 м = 4038 \frac{м}{с}.$$

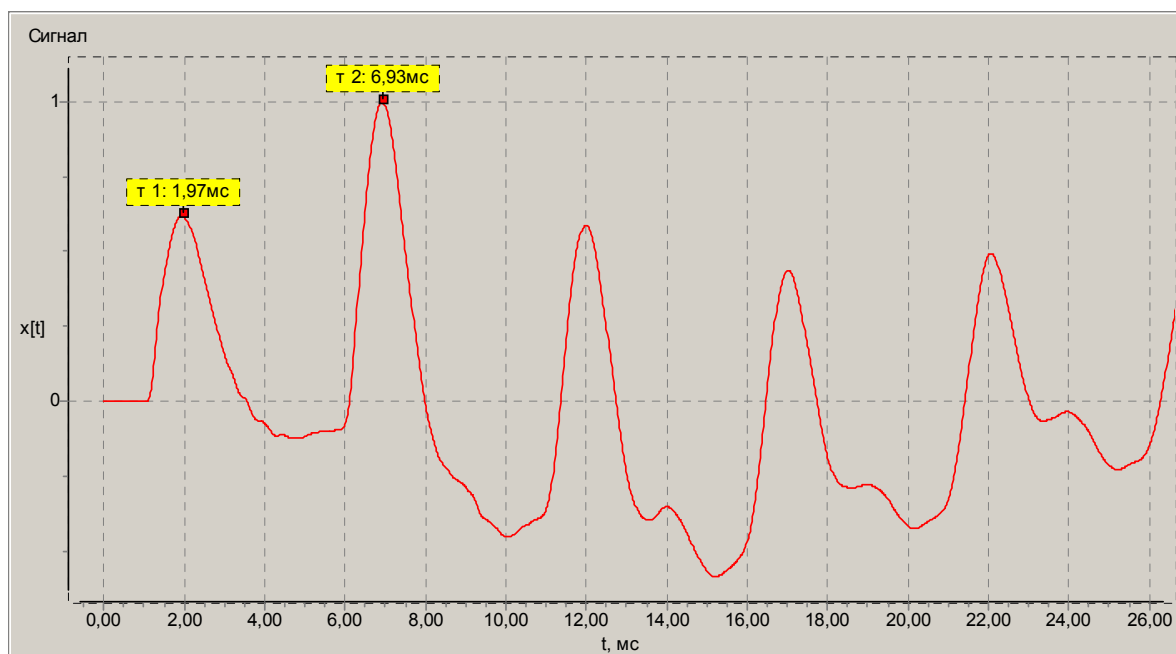


Рис. 3.18. Сигнал железобетонной 10 м сваи.

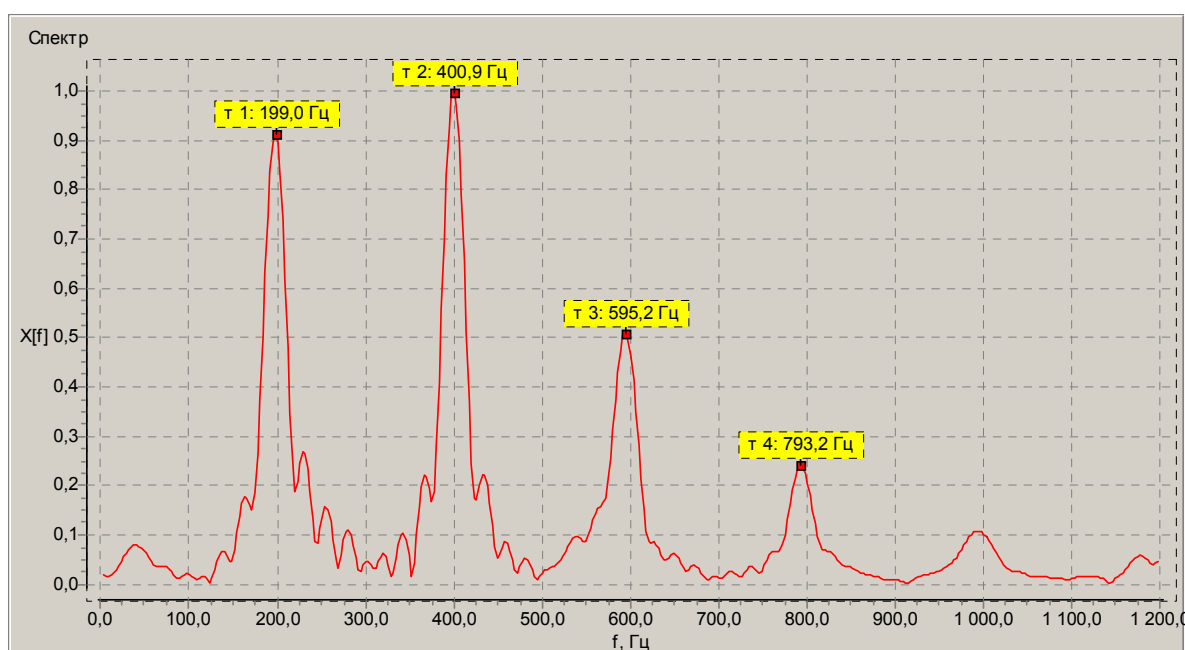


Рис. 3.19. Спектр железобетонной 10 м сваи.

Пример 8. На рис. 3.20. показан пример реакции буронабивной сваи диаметром 900 мм длиной 7.2...7.6 м и жёсткой заделкой в скалу (не более 1м). По спектру (рис. 3.21) можно вычислить длину:

$$H = \frac{V}{2 \cdot f} = \frac{4000 \frac{м}{с}}{2 \cdot (642 - 375) Гц} = 7.49 м.$$

Частота первого пика 145.6 Гц, что почти равно половине разности между вторым и третьим пиками

$$\frac{672 - 375}{2} = \frac{270}{2} = 135 Гц,$$

что указывает на жёсткую заделку конца сваи. В этом случае сигнал в месте отражения имеет полярность, противоположную удару (τ_2 : 5.12 мс на рис. 3.20).

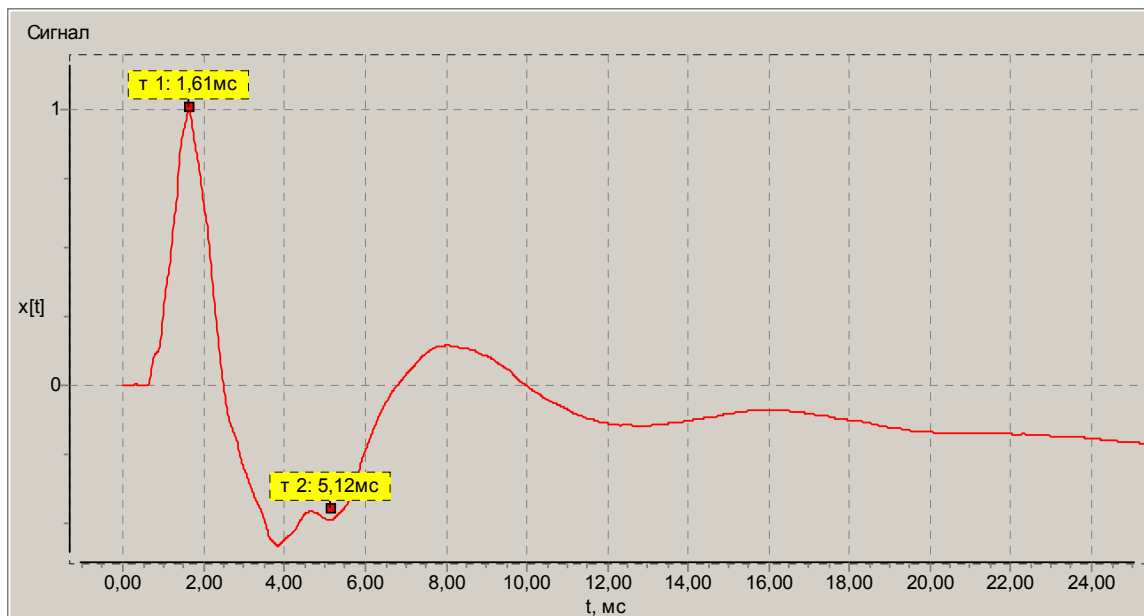


Рис. 3.20. Сигнал буронабивной сваи.

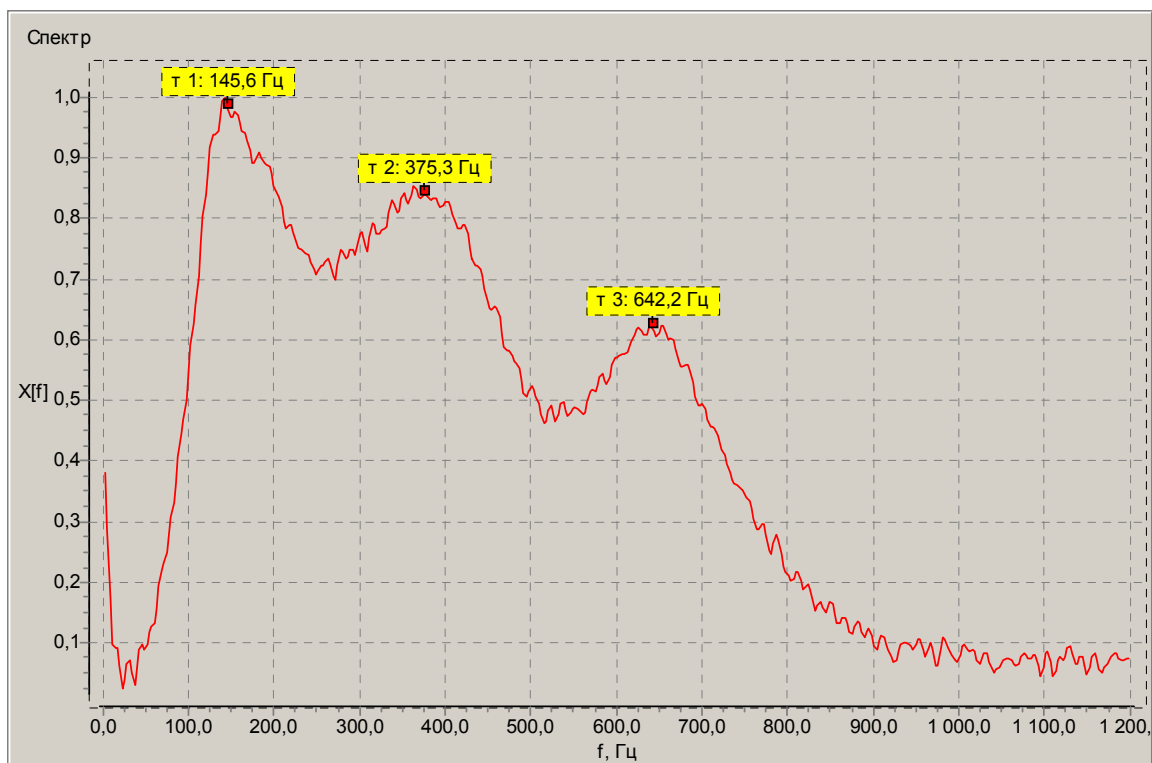


Рис. 3.21. Спектр буронабивной сваи.

Пример 9. При полевых работах для предварительной оценки состояния сваи можно использовать информацию, отображаемую на дисплее прибора (сигнал и спектр). Далее приведены примеры снимков с экрана прибора с сигналами и спектрами, полученными на железобетонных сваях.

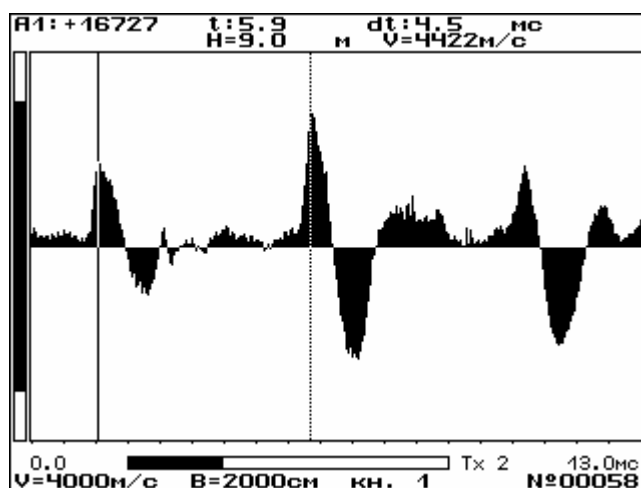


Рис. 3.22. Измерение скорости на лежащей на грунте железобетонной 10 м свае ($V = 4422 \frac{M}{c}$).

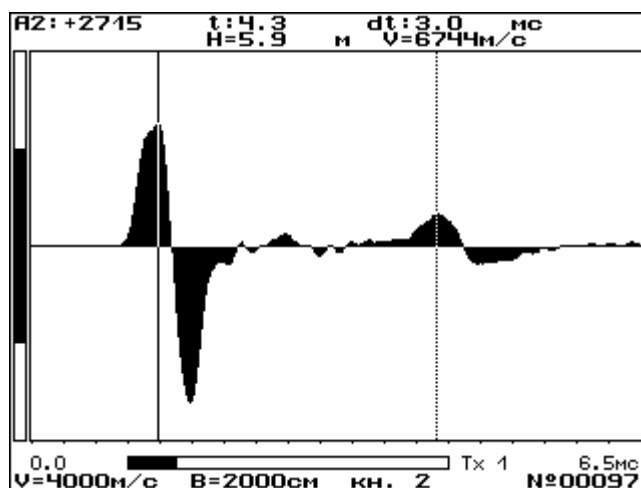


Рис. 3.23. Сигнал железобетонной 6 м сваи с мягким закреплением ($H = 5.9 м$).

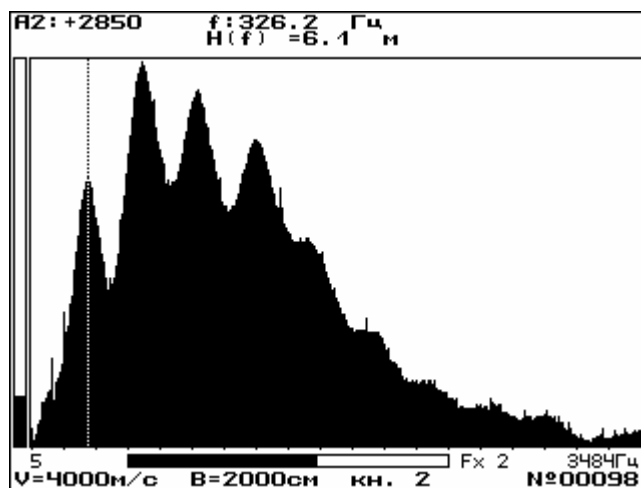


Рис. 3.24. Спектр железобетонной 6 м сваи с мягким закреплением ($H = 6.1 м$).