

## Метод контроля длины стальных свай-оболочек The method of length measurement for hollow steel piles

к.т.н., доцент Улыбин Алексей Владимирович  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
+7 (921) 777 4516; ulybin@mail.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

Ph. D, Associate Professor Aleksey Vladimirovich Ulybin  
Saint-Petersburg State Polytechnical University  
+7 (921) 777 4516; ulybin@mail.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

студент Коренев Валерий Валерьевич  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
+7 (906) 229 6153; eddiecleveland@mail.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

Student Valeriy Valerjevich Korenev  
Saint-Petersburg State Polytechnical University  
+7 (906) 229 6153; eddiecleveland@mail.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

**Ключевые слова:** свайный фундамент, обследование зданий и сооружений, неразрушающий контроль, сейсмоакустический метод, измерение длины свай.

В статье рассмотрены проблемы обследования свайных фундаментов методом неразрушающего контроля. В современных отечественных нормативных документах отсутствуют сведения о методике измерения длины сваи сейсмоакустическим методом. Поэтому возникает вопрос о применимости данного метода для контроля свай и факторах, влияющих на результат измерений. Приводится результат исследований длины, выполненных на стальной свае-оболочке с открытым концом, в различных условиях. По результатам работы подтверждена возможность применения сейсмоакустического метода для контроля длины свай данного типа. Установлено влияние окружающей сваю среды на точность измерений.

**Key words:** pile foundation, inspection of buildings and constructions, non-destructive control, seismically-acoustic method, pile length measurement.

This publication includes information about problems of pile foundation inspection using non-destructive methods. There is no information on how to measure the length of the pile using seismo-acoustic method in modern Russian standards. This raises the question of the applicability of this method to monitor the piles and the factors that affect the result of measurement. Results contain length measurements, performed on steel pile-shell with an open end in a variety of conditions. The result is the confirmed possibility of seismo-acoustic method for controlling the length of piles of this type. The influence of the surrounding environment on pile accuracy was found.

В настоящее время металлические сваи-оболочки (трубосваи) широко применяются в качестве элементов фундамента различных по назначению конструкций, в том числе портовых, берегоукрепительных и иных гидротехнических сооружений [1-4]. К достоинствам подобных свай следует отнести способность воспринимать большие изгибающие моменты по сравнению с железобетонными сваями. Применение открытых снизу стальных трубчатых свай способствует сокращению объемов и сроков производства строительных работ, расходов рабочей силы и материала свай за счет более рациональной работы поперечного сечения ствола под нагрузкой [1, 4-6].

Для получения информации о конструкции и состоянии свайных фундаментов на этапе строительства, а так же при обследовании существующих сооружений, среди прочих задач требуется провести контроль размеров (сечения и длины) свай. В полевых условиях, как правило, оказывается возможным провести непосредственные измерения размеров сечения сваи и установить ее тип. Однако

определение длины погруженной в грунт сваи возможно выполнить только косвенными методами неразрушающего контроля (НК) [7].

Применяемые в настоящее время методики не универсальны. Кроме того, при проведении обследований методами НК зачастую нет возможности проверить достоверность и точность результата измерений [8, 9]. На практике погрешность в определении длины сваи приведет к ошибке в расчетах фактической несущей способности фундамента [10, 11]. Подобная задача требует решения в рамках проведения обследования свайного фундамента сооружений. К сожалению, в основных нормативных документах [12, 13], в том числе в ГОСТ Р 53778 [14], вопрос оценки размеров свай не рассматривается [15, 16]. На данный момент в РФ отсутствует стандартизованные методы измерения длины свай, что является одной из причин выполнения настоящего исследования.

В современной практике обследования неразрушающим контролем используются следующие (преимущественно акустические) методы:

- метод отклика на акустическое эхо (эхометод);
- параллельное сейсмоисследование;
- ультрасейсмическое профилирование;
- метод регистрации теплового излучения
- другие методы.

В настоящей работе была исследована эффективность применения эхометода (сейсмоакустического метода) для исследования длины стальной трубосваи.

Используемый метод исследования основан на измерении времени между интервалами излучения упругой стержневой волны в свае и прихода отраженных волн [17 - 19]. Стержневая волна возбуждается ударом молотка различных видов. Длина вычисляется по измеренному интервалу времени и скорости стержневой волны, которая принимается по опытным данным, либо определяется на конкретной свае.

Если считать сваю однородной, в местах изменения профиля сваи, или на ее конце, происходит отражение волны, вследствие изменения механического импеданса [20]. На доступном конце сваи закрепляется сейсмодатчик и производится возбуждение стержневой волны вдоль сваи. Далее происходит регистрация вернувшегося сигнала (сигнала отклика). Временной интервал измеряется и записывается в память прибора.

Полученные данные, отображенные в графическом виде, представляют собой рефлектограмму, на которой с помощью анализа характерных пиков (выставления маркеров) измеряется временной интервал (рисунок 1) [21, 22].

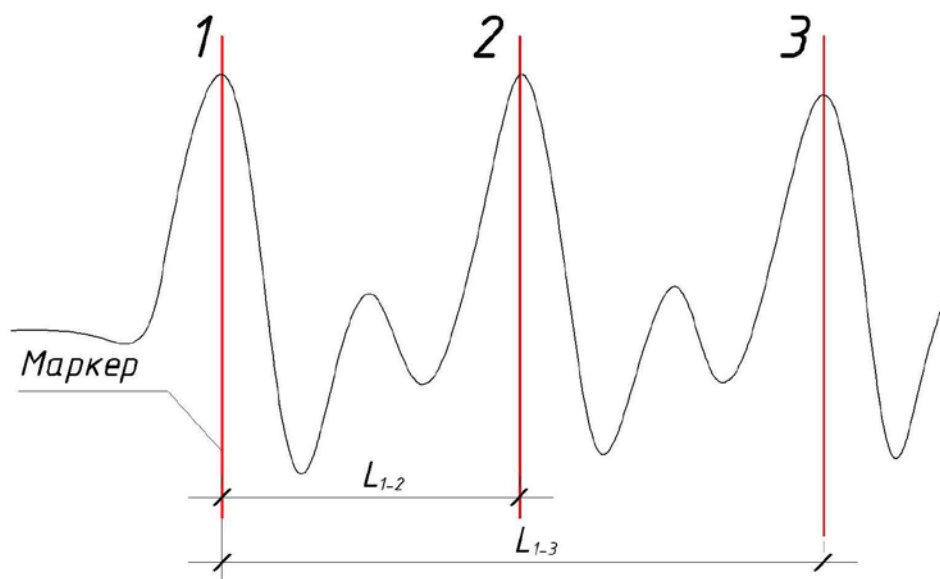


Рисунок 1. Рефлектограмма с маркерами, установленными в интересующих пиках

Учитывая, что в стали затухание сигнала очень слабое для анализа доступны не только первый отраженный сигнал, но и несколько последующих. Поэтому для увеличения точности измерений имеется возможность измерения длины двумя способами: между первым (ударом) и вторым (откликом) пиками, а также равным половине интервала между первым и третьим пиками.

Для выполнения экспериментов использовались специализированные приборы отечественной и зарубежной (Великобритания) разработки:

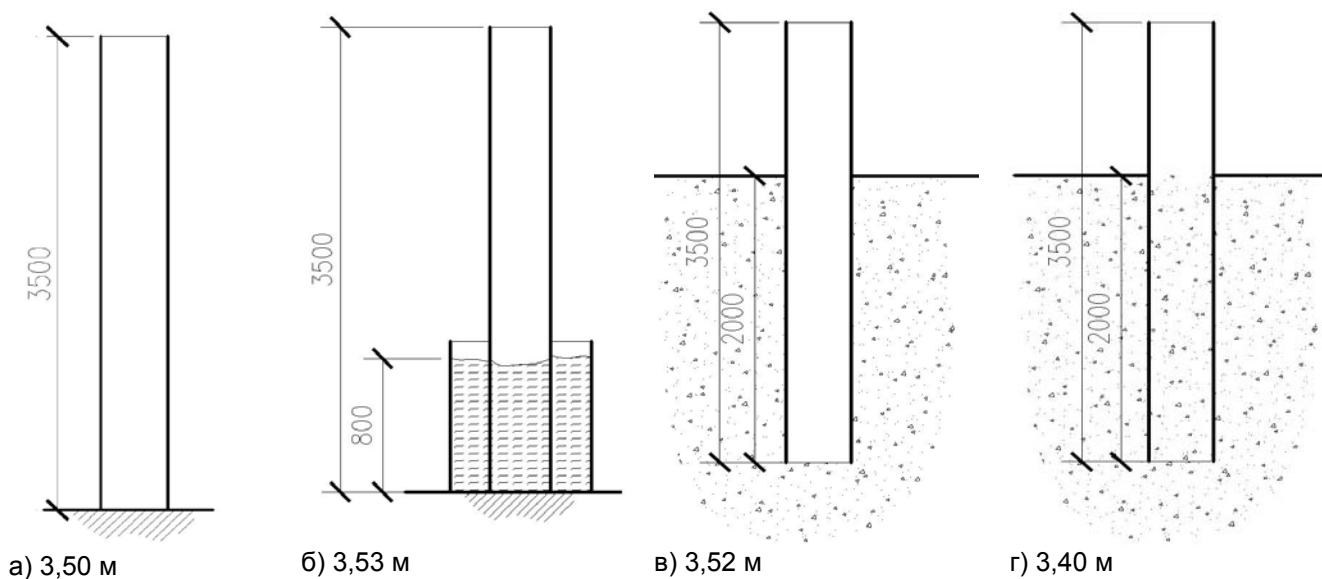
- измеритель длины свай ИДС-1 (Россия);
- эхо-импульсный тестер свай РЕТ (Великобритания).

Физической моделью исследуемой сваи являлась стальная труба диаметром 240мм, толщиной стенки 8 мм и длиной 3500 мм. Скорость распространения стержневой волны в стали была принята по данным литературы в двух вариантах - 5100 и 5200 м/с.

С целью исследования влияния на результаты измерений различных, встречающихся на практике, факторов были проведены опыты по измерению в различных условиях.

Одними из основных факторов является среда, в которой находится свая и условия ее опирания. Были смоделированы четыре следующих варианта:

1. опирание на жесткое основание в воздушной среде (рисунок 2а);
2. то же, с частичным погружением в воду (рисунок 2б);
3. погружение сваи в грунт без заполнения внутренней полости (рисунок 2в);
4. то же, с заполнением внутренней полости грунтом до уровня земли (рисунок 2г).



**Рисунок 2. Схемы установления сваи и результат измерений длины: а) - в воздухе, б) - в воде, в) - в грунте, д) - в грунте (заполнение полости)**

На верхний край сваи с помощью пластичного материала крепится сейсмодатчик (рисунок 3). Затем производится серия ударов молотком по торцу сваи (рисунок 4), при этом прибор регистрирует импульс, накапливает информацию и выводит на экран рефлектограмму.

Как видно по результатам измерения, представленным на рисунке 2, наибольшей ошибкой сопровождаются измерения в условиях более близких к реальным (рисунок 2 г). При этом при идеальных условиях опирания на жесткое основание с расположением сваи в воздушной среде погрешность измерения практически отсутствует (при округлении результата до второго знака после запятой).

Причина влияния окружающей сваю среды (вода, грунт) на точность измерений по сравнению с воздушной средой заключается в меньшем перепаде плотностей на границе свая-грунт по сравнению с границей свая-воздух, вследствие чего часть волн рассеивается.

При обработке результатов измерений (по 3 измерениям), полученных по схеме испытания в грунте с заполнением полости (рисунок 2 г), была вычислена относительная погрешность измеренной длины. Результаты сравнения представлены в таблице 1.



Рисунок 3. Модель сваи с установленным датчиком



Рисунок 4. Возбуждение упругой волны в исследуемой свае

Таблица 1. Погрешность измерения (в % от длины сваи)

№ измерения	Скорость, м/с			
	5100	5200	5100	5200
	Измерение по пикам			
	1-2		Среднее между 1 и 3 пиками.	
1	0,86	2,86	2,00	0,00

2	2,86	0,86	4,00	2,00
3	2,86	0,86	3,43	1,43

Как видно по данным, отраженным в таблице, результат измерения при задании скорости 5200 м/с практически во всех случаях характеризуется меньшей ошибкой. Измерение по первому отраженному импульсу дает результат сопоставимый по погрешности с результатами, полученными при сборе информации за два периода.

Также в ходе исследований были выявлены другие факторы, влияющие на результат измерений. При использовании прибора отечественного производства возбуждение колебаний в стальной свае возможно только стальным молотком. При использовании резинового молотка, который успешно применяется при диагностике железобетонных свай, получаемую рефлектограмму практически невозможно обработать (отсутствуют характерные пики, результаты измерений не соответствуют фактической длине). В то же время, при работе с прибором зарубежного производства стальной молоток непригоден. Причиной является то, что датчик слишком чувствителен, а стальной молоток возбуждает сильный импульс. В любом случае удары необходимо наносить как можно ближе к участку установки датчика. При удалении места нанесения удара от датчика погрешность измерения резко возрастает.

Еще одним существенным фактором, влияющим на результат измерения, является наличие участка для установки датчика. В описываемых выше случаях датчик устанавливался на верхний торец трубы, доступный по всему периметру. На практике, в большинстве случаев, к верхнему торцу примыкают, опирающиеся на сваю конструкции. Если конструкция закрывает только часть сечения, то трудностей с установкой датчика на свободный отрезок обреза трубы не возникает. Чаще встречается ситуация, когда доступа к верхнему концу трубосваи нет. В данном случае для выполнения измерений без разборки части вышележащих конструкций (что, как правило, невозможно) необходимо создать участок измерения ниже обреза сваи. Для этого может быть вырезано «окно» на боковой поверхности трубы, которое после измерений необходимо восстановить с помощью сварки.

Однако установка датчика в созданном отверстии сопровождается усложнением обработки результатов измерений, так как возбуждаемые колебания распространяются не только вниз по телу сваи, но и в других направлениях. Вследствие этого возникает большое количество шумов в виде отраженных волн, в том числе от расположенного гораздо ближе верхнего конца сваи.

Для исследования влияния данного фактора выполнены дополнительные измерения на модели сваи. В ходе экспериментов были вырезаны прямоугольные отверстия в стенке сваи. Нижняя грань отверстий располагалась на расстоянии 2,0; 2,5 и 3,0 м от пяты сваи. Полученные в результате измерений рефлектограммы, результаты их обработки и фотографии представлены в таблице 2.

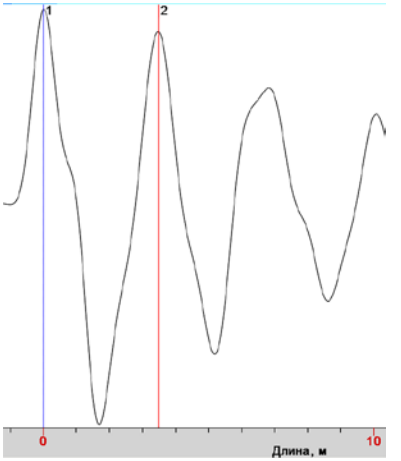

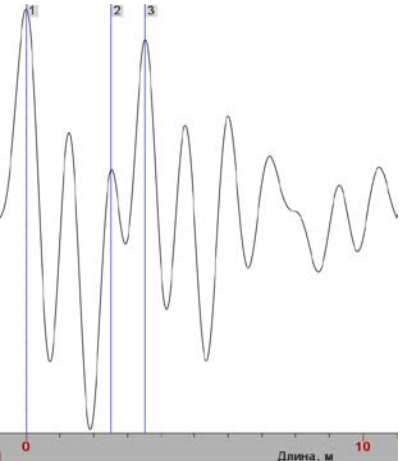

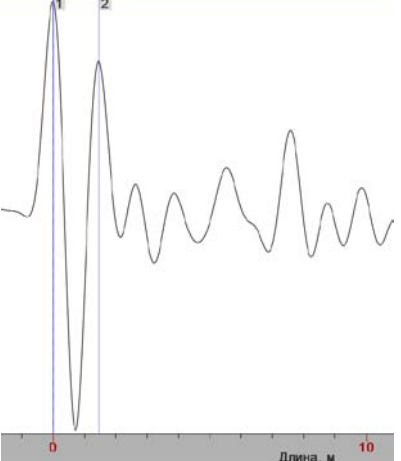

По результатам обработки полученных данных видно следующее. При расположении участка на небольшом расстоянии от верхнего края сваи (0,5 м) расстояние между пиками на рефлектограмме равно длине всей сваи (3,48 м) с незначительной погрешностью. Скорее всего, это связано с переотражением волн от верхнего края сваи после возврата от пяты.

При удалении от верхнего края сваи и установки датчика на расстоянии 1,0 м от него наблюдаются дополнительные пики между возбуждающим сигналом и максимальным откликом. При измерении расстояния по максимальным пикам (1-3) также как и в предыдущем случае определяется вся длина сваи с небольшой погрешностью. При анализе более слабых пиков (1-2) выявляется волна, отраженная от пяты сваи с измеренной длиной 2,52 м.

При установке датчика на большем отдалении (1,5 м) от верха сваи четко регистрируется только один пик. При этом, судя по расстоянию между пиками, волна приходит не от пяты сваи, а от ее верха.

Исходя из описанного выше, можно сделать вывод о том, что при отсутствии доступа к верхнему краю сваи измерения допустимо выполнять в вырезанных отверстиях. При этом необходимо, чтобы участок измерения располагался как можно ближе к верхнему краю сваи. В противном случае, обработка полученных данных существенно затрудняется, а при отсутствии данных о предполагаемой длине сваи полученный результат может оказаться ложным.

Таблица 2. Результаты измерений в вырезанных отверстиях

Описание условий измерения	Рефлектограмма	Фотография	Длина по пикам
Установка датчика в вырезанном отверстии на расстоянии 3,0 м от пяты сваи			1-2: 3,48 м
Установка датчика в вырезанном отверстии на расстоянии 2,5 м от пяты сваи			1-2: 2,52 м; 1-3: 3,53 м
Установка датчика в вырезанном отверстии на расстоянии 2,0 м от пяты сваи			1-2: 1,46 м

## Выводы

1. Выявлено, что используемый сейсмоакустический метод применим для измерения длины стальных трубосвай.
2. Показано, что на точность и достоверность измерения влияют различные условия, в большей степени среда, в которой находится свая.
3. При отсутствии доступа к верхнему краю сваи можно выполнять измерения в отверстиях, вырезанных в стенке сваи. При этом необходимо, чтобы участок измерения располагался как можно ближе к верхнему краю сваи.

Погрешность измерения при исследованных условиях не превысила 5% длины сваи, что является приемлемым для применения метода при обследовании конструкций.

### Литература

1. Рахаринуси А. П. Применение стальных трубчатых свай с открытым нижним концом в портовых гидротехнических сооружениях. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.22.19. С-Пб., 1999. 182 с.
2. Binhuang W., Minghua W. Application of steel pipe piles in harbour construction // China Port and Waterway Engineering. 1989. Vol.3. Pp. 9-18.
3. De Ruiters J., Beringen F. L. Pile foundation for large North sea structures // Marine Geotechnology. 1979. Vol. 3. Pp. 267-314.
4. Булатов Г. Я., Костюкова А.Ю. Новая технология – фундамент на трубогрунте // Инженерно-строительный журнал. 2008. №2. С.32-37.
5. Булатов Г. Я., Костюкова А.Ю. Численное моделирование влияния грунтового ядра на несущую способность трубосвай. // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С.27-35.
6. Марсов В. А., Тульчинский М. Д. Фундаменты из трубчатых свай с грунтовым ядром. // Труды ЦНРШС. №56. (Исследование несущей способности оснований фундаментов). М.: Транспорт, 1965. 270 с.
7. Капустин В. В. Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций // Технологии сейсморазведки. 2008. №1. С. 91-99.
8. Копосов С. Е., Зотов Д. И. Применение измерителя длины свай при обследовании свайных фундаментов неразрушающими методами контроля. Н. Новгород: НГАСУ, 2011. 24 с.
9. Штенгель В. Г. Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 4-9.
10. Bengt B. Broms Methods of calculating the ultimate bearing capacity of piles. Piles a new force gauge, and bearing capacity calculations. Stockholm, 1970. Pp.1-12.
11. Coyle H. M., Sulaiman I. H. Bearing Capacity of Foundation Piles: State of the Art // Highway Research Record. 1970. Vol. 333. 87 p.
12. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений.
13. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния
14. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге
15. Ватин Н. И., Улыбин А. В., Огородник В. М. ГОСТ Р 53778-2010: обследование инженерных сетей и другие особенности нового нормативного документа // Инженерно-строительный журнал. 2011. №1(19). С. 5-7.
16. Савин С. Н., Демишин С. В., Ситников И. В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 33-39.
17. ASTM D 5882-07. Стандартная методика динамических испытания целостности элементов фундамента глубокого заложения при малых деформациях.
18. Gong Z., Nyborg E. O., Oommen G. Acoustic Emission Monitoring of Steel Railroad Bridges // Materials Evaluation. 1992. №7(50). 19 p.
19. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов. М.: Наука, 1982. 424 с.
20. Запольский, А. М. Сейсмоакустические эффекты и их связь с волновыми процессами на границе сред. Дисс. на соиск. учен. степ. к. ф.-м. н. Спец.: 01.04.06. Владивосток, 1993. 139 с.
21. Горбатов А. А., Рудашевский Г. Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. М., Изд-во Энергоиздат, 1985. 207 с.

22. Капустин В. В. Применение волновых методов для определения длины свай // Технологии сейсморазведки. 2009. №2. С.113-117.