

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-173-186

*Д.Г. САМАРИН, В.Л. УСТЮЖАНИН, А.А. ЛОБАНОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, ОСНОВАННЫМ НА СХЕМЕ ДВУХ КАНАЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Поверхностный акустический метод исследований свайных фундаментов находит на практике все большее применение, т. к. является эффективным средством для определения длины свай и их различных дефектов. Однако использование указанного метода для диагностики монолитных свайных конструкций, например буронабивных свай, может приводить к значительной погрешности измерений. Это связано с тем, что скорость прохождения акустических волн в свайном теле, как правило, принимается расчетным путем, где не учитываются многие факторы, влияющие на скорость их распространения в буронабивных сваях. Ранее было показано, что применение схемы двух каналов измерения, при определении длины буронабивных свай поверхностным акустическим методом, позволяет с высокой точностью устанавливать скорость распространения в них акустических волн и, соответственно, длину этих свай. В настоящей статье показано, что применение данной схемы в поверхностном акустическом методе исследований буронабивных свай позволяет с достаточной для практической значимости точностью фиксировать такие дефекты, как отклонения размеров поперечного сечения ствола сваи по ее длине.

Ключевые слова: акустические методы; буронабивные сваи; дефекты; скорость распространения акустических волн в свае; свайные фундаменты; определение длины свай.

Для цитирования: Самарин Д.Г., Устюжанин В.Л., Лобанов А.А. Исследования по определению изменений геометрических параметров буронабивных свай акустическим методом, основанным на схеме двух каналов измерения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 173–186.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-173-186

*D.G. SAMARIN, V.L. USTYUZHANIN, A.A. LOBANOV,
Tomsk State University of Architecture and Building*

GEOMETRIC PARAMETERS OF BORED PILES DETERMINED BY DUAL CHANNEL ACOUSTIC MEASUREMENTS

Surface acoustic measurements in examining pile foundations is increasingly used in practice, as it is an effective tool for the measuring the length and defects of piles. However, this method for diagnostics of monolithic pile structures, for example, bored piles, can lead to significant measurement errors. This is because the propagation velocity of acoustic waves in a bored pile is usually calculated theoretically, and many factors affecting the propagation velocity of acoustic waves are not taken into account. According to earlier research, dual channel acoustic measurements used to determine the length of bored piles, makes it possible to accurately calculate the propagation velocity of acoustic waves and, accordingly, the pile length. It

is shown that dual channel acoustic measurements applied to bored piles allow detecting with sufficient accuracy such defects as cross-sectional deviations of the pile shaft along its length.

Keywords: acoustic measurement; bored pile; defects; acoustic wave propagation; pile foundation; pile length.

For citation: Samarин D.G., Ustyuzhanin V.L., Lobanov A.A. Issledovaniya po opredeleniyu izmenenii geometricheskikh parametrov buronabivnykh svai akusticheskim metodom, osnovannym na skheme dvukh kanalov izmereniya [Geometric parameters of bored piles determined by dual channel acoustic measurements]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 173–186. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-173-186

В практике свайного фундаментостроения часто возникают задачи по определению длины свай и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих работоспособность свай, что, в свою очередь, связано с возникновением высоких рисков образования в них различных дефектов (изменения размеров поперечного сечения сваи по ее длине, нарушение сплошности ствола сваи, трещины, включения инородного материала, пустоты и т. д.).

Для решения задач находят применения различные волновые методы [1–14], где проводимые наблюдения заключаются в изучении распространения упругих или электромагнитных колебаний в системе свая – грунт. Среди них наиболее экономичным и позволяющим в короткие сроки провести большое количество испытаний является поверхностный акустический метод.

Метод основан на принципе акустической дефектоскопии – анализе прохождения в исследуемых конструкциях упругих волн и их отражений от границ раздела сред, имеющих различный акустический импеданс. Исследования проводятся в соответствии со стандартом ASTM D5882 Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations (Стандартный метод испытаний целостности фундамента глубокого заложения путем приложения ударной нагрузки малой интенсивности) [8].

Возбуждение упругой волны происходит в результате механического удара специального молотка по оголовку сваи, параллельно оси сваи. Возникающее при ударе возмущение распространяется по стволу сваи. От подошвы сваи и дефектов, имеющихся в ней, в стволе возникает отраженная волна, распространяющаяся в обратном направлении к источнику исходной волны.

Отраженные волны регистрируются датчиком (акселерометром), устанавливаемым на оголовке сваи, и с помощью аналого-цифрового преобразователя передаются на компьютер для дальнейшей обработки и визуализации в виде набора рефлектограмм (зависимостей скорости смещения частиц сваи от времени) (рис. 1).

На основе полученных опытных данных производится выделение и измерение временного интервала Δt между моментом удара и моментом прихода на приемное устройство волны, отраженной от границы раздела сред (рис. 1, б). При заданной скорости распространения волны в свае определяется расстояние до границы раздела сред. При этом, как правило, скорость распространения акустических волн в свае принимается исходя из следующего условия:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга; ρ – плотность материала сваи.

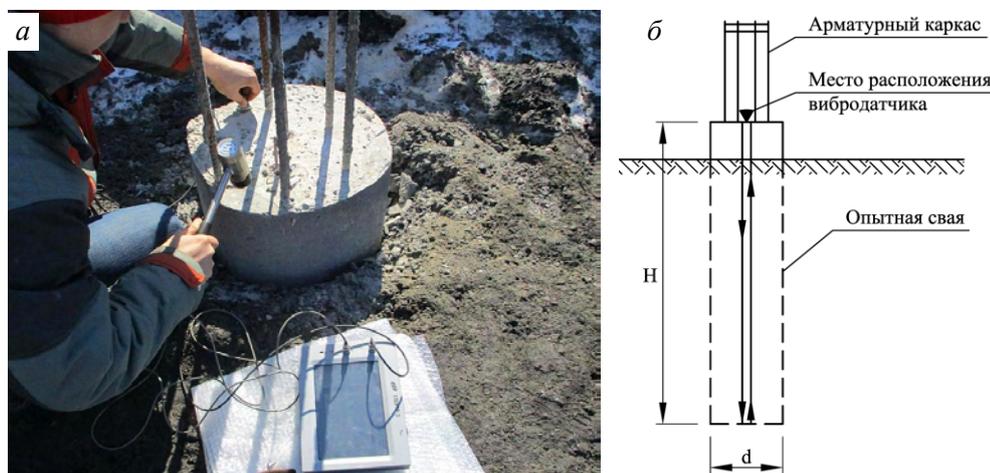


Рис. 1. Пример проведения исследований свай поверхностным акустическим методом:
 а – общий вид проведения исследований свай; б – схема установки вибродатчика
 и распространения акустической волны в свае

Однако на практике для буронабивных свай подобное условие практически не выполняется. Из приведенной зависимости (1) видно, что погрешность определения расстояния до границы раздела сред напрямую зависит от того, насколько точно задана скорость распространения акустических волн в свае. Для буронабивных свай эта скорость зависит от множества дополнительных факторов (однородности строения материала тела сваи, возраста бетона, вида и количества крупного заполнителя в бетоне и т. д.), которые приводят к изменению интервального времени пробега продольной волны. В результате этого фактическая скорость акустических волн может существенно отличаться от расчетной.

Повысить точность определения скорости распространения упругих волн в буронабивных сваях при их исследовании поверхностным акустическим методом позволяет способ, основанный на схеме двух каналов измерения [15].

Актуальность рассматриваемой темы вызвана возникновением непредвиденной ситуации при выполнении работ по устройству свайных фундаментов на одном из объектов строительства комплекса сооружений угольной фабрики, расположенной в г. Киселевске Кемеровской области.

При устройстве буронабивных свай был обнаружен значительный перерасход бетонной смеси по сравнению с проектным, что может произойти при отклонениях геометрических параметров буронабивных свай (длины и диаметра свай). Перед подрядной организацией была поставлена задача обоснования сверхнормативного расхода бетонной смеси.

Целью настоящей работы является оценка возможности определения изменений геометрических параметров буронабивных свай поверхностным акустическим методом по схеме двух каналов измерения.

Инженерно-геологические условия строительной площадки

В геологическом строении участка расположения рассматриваемого объекта в пределах глубины бурения до 14 м было выделено семь инженерно-геологических элементов (рис. 2).

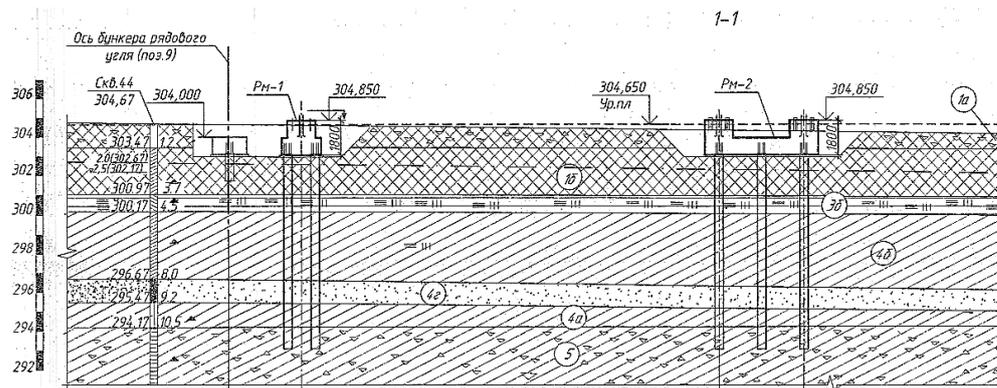


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез площадки строительства объекта с посадкой свайного фундамента

ИГЭ 1а. Техногенный (насыпной) щебенисто-дресвяный грунт с суглинистым заполнителем до 30 %.

Вскрытая мощность отложений составляет от 0,5 до 1,2 м.

ИГЭ 1б. Техногенный (насыпной) суглинистый грунт, от полутвердой до мягкопластичной консистенции, с включением щебня, дресвы, строительного мусора до 15 %.

Вскрытая мощность отложений составляет от 2,2 до 2,5 м.

ИГЭ 3б. Суглинки озерно-болотные, голубовато-серого цвета, слабозаторфованные.

Вскрытая мощность отложений составляет от 0,8 до 1,0 м.

ИГЭ 4а. Суглинки аллювиальные, серо-коричневые, пылеватые мягкопластичной консистенции, с примесью органического вещества.

Вскрытая мощность отложений составляет от 0,5 до 1,3 м.

ИГЭ 4б. Суглинки аллювиальные, серо-коричневые, пылеватые, мягкопластичной консистенции, с примесью органического вещества.

Вскрытая мощность отложений составляет от 3,5 до 4,0 м.

ИГЭ 4г. Песок гравелистый (отложения р. Абы), серый, водонасыщенный.

Вскрытая мощность отложений составляет от 1,0 до 1,2 м.

ИГЭ 5. Коренные породы, представленные элювием аргиллита, алевролита, выветренного до состояния суглинка и глины с включением дресвы и щебня до 30 %.

По гидрогеологическим условиям площадка относится к подтопляемой. При бурении скважин уровень грунтовых вод обнаружен на отметке 302,6.

Сваи запроектированы буронабивные железобетонные диаметром 450 мм, длиной 10 м. Для свай принят бетон по прочности В25, по морозостойкости F150, по водонепроницаемости W8. Бетонирование железобетонных свай производится с применением добавки «Пенетрон-Адмикс» из расчета 4 кг добавки на 1 м³.

Сваи заглубляются в ИГЭ 5. Вдоль боковой поверхности сваи значительная толща грунтов основания сложена слабыми грунтами – мягкопластичными суглинками ($IL = 0,75$) слабозаторфованными и с примесью органических веществ.

Методика измерений

Для исследований использован прибор «Спектр-3» производства ООО «НПП Интерприбор», состоящий из ударного инструмента, двух вибродатчиков и устройства для считывания сигналов. Первый вибродатчик совмещен с ударным инструментом (силоизмерительный молоток).

Первый этап проведения работ является подготовительным. Для проведения измерений предварительно были подготовлены опытные сваи: № 6; № 9; № 12 (рис. 3), которые откапывались на глубину ~1 м (рис. 4). Далее на сваях устраиваются горизонтальные площадки, на оголовке сваи и на заданном расстоянии $L_{изв}$ по длине сваи размером 5×5 см (рис. 5). На боковой поверхности свай горизонтальные площадки устраивались путем прорезки штрабы.

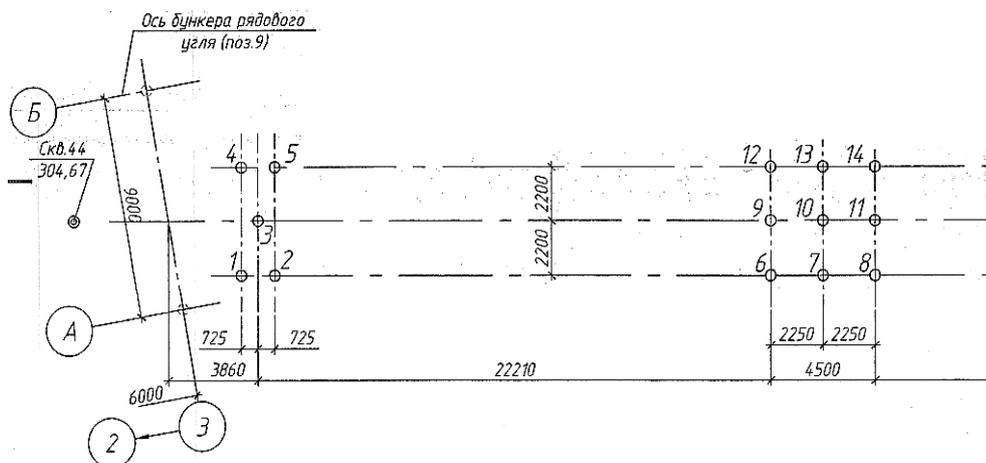


Рис. 3. Фрагмент плана свайного поля с опытными сваями: № 6, № 9, № 12

Первый вибродатчик – акселерометр, который может быть также совмещен с ударным инструментом (первый канал измерения), располагается на оголовке сваи, второй датчик устанавливается на площадку, расположенную на расстоянии $L_{изв}$ (второй канал измерения) (рис. 5).

Оси вибродатчиков и вектор распространения ударного импульса должны лежать максимально близко к одной прямой.



Рис. 4. Вскрытие опытных свай для проведения исследований

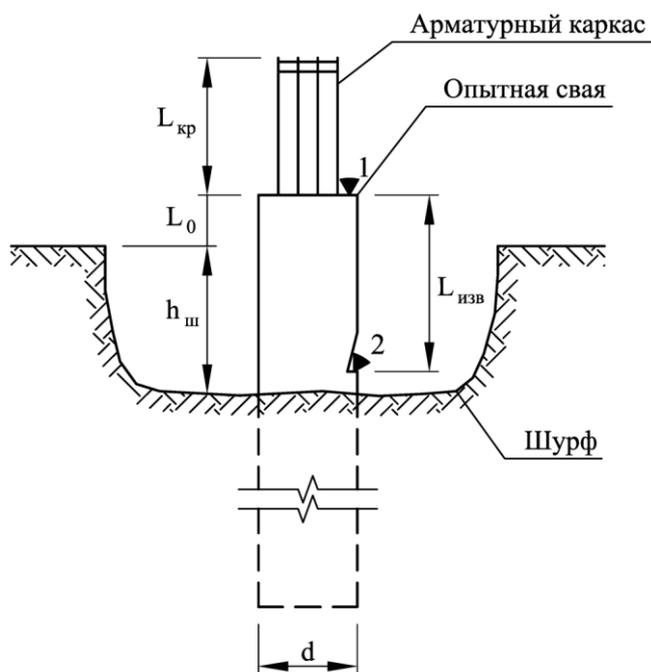


Рис. 5. Схема подготовки свай к исследованиям:

1, 2 – места расположения вибродатчиков; $L_{изв}$ – заданное расстояние между датчиками; $h_{ш}$ – глубина шурфа

Второй этап включает в себя определение скорости распространения акустической волны в теле буронабивной свай по схеме двух каналов измерения.

Поверхностный акустический метод исследования свай по схеме двух каналов измерений заключается в следующем: ударным инструментом осу-

ществляется механическое воздействие на верхний торец сваи. Это приводит к созданию упругих колебаний в свайном теле. При помощи акселерометров прибором регистрируется виброакустический отклик. Расстояние между зафиксированными сигналами $L_{уст}$ показывает пройденный акустической волной путь при принятой скорости $V_{прин}$. Тогда значение фактической скорости распространения акустической волны $V_{уст}$ можно определить по формуле

$$V_{уст} = \frac{L_{изв}}{2L_{уст}} V_{прин}, \quad (2)$$

где $V_{прин}$ – типовое значение скорости волны в свае данного типа, определяемое по формуле (1) м/с; $L_{изв}$ – база измерений (заданное расстояние между датчиками), м; $L_{уст}$ – расстояние между пиками сигналов датчиков, м.

Третий этап заключается в исследованиях свай поверхностным акустическим методом при использовании значений установленной фактической скорости $V_{уст}$ по схеме, показанной на рис. 2.

Четвертый этап – камеральная обработка полученных опытных данных – рефлектограмм виброакустических откликов во временной и/или спектральной интерпретации.

Характерные рефлектограммы по исследованиям свай представлены на рис. 6. На графиках во временной области пики соответствуют моменту регистрации датчиком волны возбуждения/отражения. Первый пик соответствует моменту создания колебания ударным инструментом. Последующие пики являются отражениями волны от границ раздела сред.

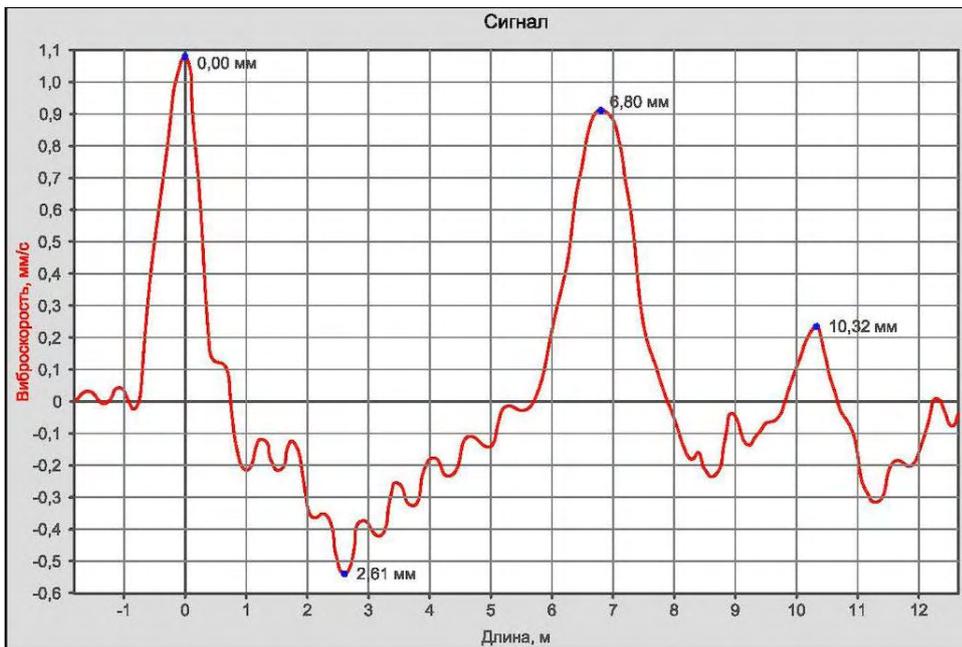


Рис. 6. Рефлектограмма отражений акустической волны с установленными частными значениями длины свай и границ расположения изменений размеров поперечного сечения свай (опыт № 6, свая № 12)

Результаты исследований

Результаты исследований буронабивных свай представлены на рис. 6 и в табл. 1–5.

Таблица 1

Скорость распространения сигнала в свае № 6

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
1	0,95	0,64	2968,75
2	0,95	0,64	2968,75
3	0,95	0,66	2878,79
4	0,95	0,62	3064,52
5	0,95	0,62	3064,52
6	0,95	0,64	2968,75
7	0,95	0,70	2714,29
8	0,95	0,62	3064,52
9	0,95	0,64	2968,75
10	0,95	0,64	2968,75

Таблица 2

Скорость распространения сигнала в свае № 9

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
1	0,91	0,58	3137,93
2	0,91	0,52	3500,00
3	0,91	0,57	3192,98
4	0,91	0,64	2843,75
5	0,91	0,52	3500,00
6	0,91	0,56	3250,00
7	0,91	0,57	3192,98
8	0,91	0,60	3033,33
9	0,91	0,54	3370,37
10	0,91	0,72	2527,78

Таблица 3

Скорость распространения сигнала в свае № 12

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
1	0,92	0,61	3016,39
2	0,92	0,60	3066,67
3	0,92	0,62	2967,74
4	0,92	0,61	3016,39
5	0,92	0,64	2875,00

Окончание табл. 3

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
6	0,92	0,66	2787,88
7	0,92	0,68	2705,88
8	0,92	0,64	2875,00
9	0,92	0,68	2705,88
10	0,92	0,64	2875,00

Таблица 4

Фактическая скорость распространения сигнала в сваях на объекте

№ сваи	Скорость волны в свае, м/с	Фактическое значение скорости волны в свае, м/с
6	2963,04	3002,38
9	3154,91	
12	2889,18	

Таблица 5

Таблица результатов определения длин некоторых буронабивных свай на объекте

№ сваи	Измерения длины свай, м										Установлен- ная длина свай, м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6	10,02	10,05	9,93	10,02	10,02	10,05	9,96	10,02	9,93	9,96	10,0
7	10,09	10,09	10,15	10,18	10,15	10,12	10,12	10,15	10,15	10,18	10,1
9	9,29	9,48	9,48	9,25	9,38	9,25	9,38	9,38	9,32	9,38	9,4
11	9,89	9,93	9,89	9,93	9,93	9,83	9,83	9,89	9,83	9,86	9,9
12	10,54	10,41	10,70	10,69	10,60	10,32	10,5	10,63	10,73	10,66	10,6
13	10,12	10,09	10,12	10,09	10,12	10,15	10,15	10,18	9,96	10,02	10,1

Согласно приведенным в табл. 4 результатам, имеется существенное различие между фактической скоростью распространения акустических волн в буронабивных сваях и скоростью, определенной расчетным путем по формуле (2), и скоростью, определенной расчетным путем по формуле (1). Так, установленная по схеме двух каналов измерения фактическая скорость составила $V_{\text{уст}} = 3002,38$ м/с (табл. 4), при этом расчет скорости акустических волн по формуле (1) дает значение $V_{\text{расч}} = 3535$ м/с.

Из полученных данных видно, что при использовании значений расчетной скорости следует ожидать значительной погрешности измерения длины свай.

Одна из задач данных исследований заключалась в обосновании перерасхода бетонной смеси при устройстве буронабивных свай, что может наблюдаться при длине буронабивных свай больше проектной и/или при увеличении размеров сваи за счет ее самопроизвольного уширения в слабых грунтах.

Результаты исследований (табл. 5) по определению фактической длины свай показывают, что ее длина соответствует проектной. Измеренная длина свай составляет 9,4–10,6 м, проектная – 10,0 м. Таким образом, было установлено, что размер свай по длине не связан с перерасходом бетонной смеси.

Известно, что при устройстве буронабивных свай на строительных площадках, сложенных слабыми грунтами, поперечное сечение свай по глубине может меняться в результате действия собственного веса тела сваи на околосвайный грунт.

При установлении дефекта в виде уменьшения или увеличения поперечного сечения свай акустический импеданс не меняется в случае постепенного изменения диаметра сваи по ее длине. Любое скачкообразное изменение площади поперечного сечения сваи (рис. 7), т. е. наличие границы раздела между частями сваи с разными размерами поперечного сечения, приведет к изменению акустического импеданса и распространению от границы раздела отраженной волны. При этом интенсивность виброакустического отклика в определенной степени будет зависеть от величины разности размеров частей сваи на границе раздела.

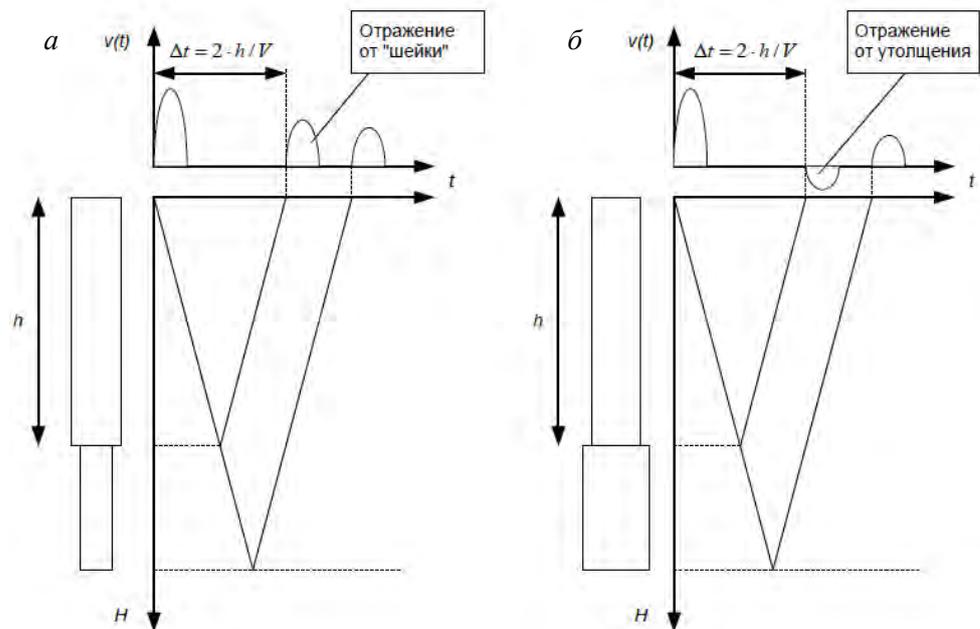


Рис. 7. Влияние формы сваи на получаемый виброакустический отклик [8]:
а – сужение ствола сваи; б – уширение ствола сваи

От знака изменения импеданса на границе раздела будет зависеть и знак отражения. Если происходит уменьшение поперечного сечения, то отражение

будет совпадать по знаку с виброакустическим откликом от ударного воздействия на сваю (рис. 7, а). Если идет увеличение поперечного сечения, то виброакустический отклик отраженной волны будет противоположен с ударом знака (рис. 7, б).

Анализ рефлектограмм (рис. 7) показывает, что контрастная смена слоев и наличие прослойки слабого грунта вызывают на их границах изменения размеров поперечного сечения сваи в сторону увеличения ее диаметра (рис. 8). Так, первый пик «полезного» сигнала соответствует моменту возникновения ударного импульса. Второй пик свидетельствует об уширении ствола свайного тела – виброакустический отклик отраженной волны имеет обратный знак. Третий пик соответствует границе раздела слабого грунта, суглинка мягкопластичного и песка гравелистого. При этом происходит уменьшение диаметра сваи и образование «шейки». Четвертый пик является виброакустическим откликом от подошвы сваи.

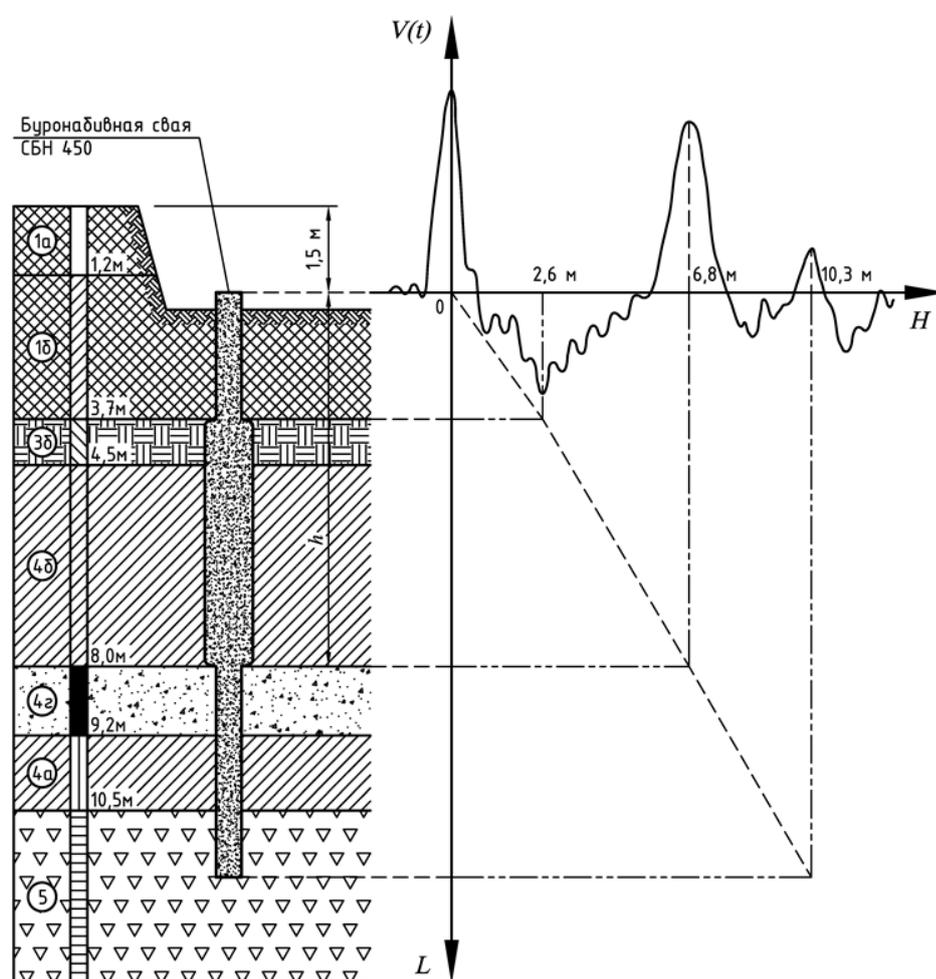


Рис. 8. Схема влияния изменения поперечного сечения буронабивной сваи на виброакустический отклик

На инженерно-геологическом разрезе рассматриваемой строительной площадки можно выделить толщу слабых грунтов – инженерно-геологические элементы: ИГЭ 3б, 4а, 4б, представленные суглинком мягкопластичным ($IL = 0,75$) с содержанием органических веществ, перекрываемые прочными техногенными грунтами (ИГЭ 1а, 1б) и подстилаемые песком гравелистым – ИГЭ 4г.

На рис. 7 показаны характерные сигналы виброакустического отклика для буронабивной сваи длиной 10 м со сформированной в слабом грунте уширенной частью. Видно, что на глубинах $h \sim 3,7$ м и $h \sim 8,0$ м, на границах изменения поперечного сечения ствола сваи, зафиксированы ярко выраженные отклики отраженной акустической волны. Это говорит о формировании в этом месте участка свайного тела со значительными изменениями размеров поперечного сечения, что было также выявлено при сопоставлении объемов бетонной смеси – фактических и предполагаемых по проекту. Здесь подрядной организацией была предоставлена только ограниченная информация. Было заявлено о существенном перерасходе бетонной смеси, что качественно подтверждается полученными опытными данными.

По результатам исследований буронабивных свай поверхностным акустическим методом, основанным на схеме двух каналов измерения, можно сделать следующее заключение.

Использование для поверхностного акустического метода исследований буронабивных свай расчетной скорости, определяемой по формуле (1), может привести к значительной погрешности измерений требуемых параметров.

Применение в поверхностном акустическом методе исследований буронабивных свай схемы двух каналов измерения позволяет с высокой точностью определять имеющиеся в них дефекты, например такие как изменения геометрических параметров по длине свай [15] и поперечному сечению. На рис. 8 видно, что промежуточный виброакустический отклик отраженной волны получен с глубины $h \sim 2,6$ м и $h \sim 6,8$ м. Это хорошо согласуется с границей раздела контрастных сред – техногенный грунт, суглинок и песок гравелистый – с расположением слоев $h_1 \sim 3,7$ м, $h_2 \sim 6,8$ м (рис. 8), где наблюдаются изменения диаметра свай. Полученные сигналы свидетельствуют о скачкообразных и относительно больших изменениях в этом месте размеров поперечного сечения.

Необходимо отметить, что становится возможным определять не только изменение размеров поперечного сечения по длине сваи, но и характер этого изменения, образование уширения или «шейки» ствола сваи. В данном случае характер полученного сигнала свидетельствует об уширении ствола сваи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Капустин В.В. Применение волновых методов для определения длины свай // Технологии сейсморазведки. 2009. № 2. С. 113–117.
2. Капустин В.В. Методика изучения особенностей распространения акустических волн в бетонных сваях с использованием методов численного моделирования // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2008. № 3. С. 65–70.
3. Хмельницкий А.Ю., Владов М.Л., Капустин В.В. Экспериментальное исследование влияния вмещающего грунта на распространение акустических волн в свайных конструкциях // Инженерные изыскания. 2012. № 6. С. 16–23.

4. *Капустин В.В.* К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // Инженерные изыскания. 2011. № 11. С. 10–15.
5. *Капустин В.В.* Акустические методы контроля качества свайных фундаментных конструкций // Разведка и охрана недр. 2008. № 12. С. 1216.
6. *Капустин В.В.* Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций // Технологии сейсморазведки. 2008. № 1. С. 91–99.
7. *Алешин Д.Н., Котова Н.В., Алешина Е.А.* Комплекс методов неразрушающего контроля для обследования фундаментов зданий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 4 (10). С. 40–42.
8. *ASTM D5882–16.* Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations.
9. *Carino, N.J.* The Impact-Echo Method: An Overview [Text] / N.J. Carino. – Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8611 USA, 2001.
10. *Davis A.G.* Nondestructive Testing of Wood Piles [Text] / A.G. Davis // Proceeding, Second International Conference on Wood Poles and Piles. 1994. March 21–23. Fort Collins, CO.
11. *Xiping Wang, Ross R.J.* Nondestructive Evaluation of Standing Trees with a Stress Wave Method // J. Wood and Fiber Science. 2001. № 33 (4). P. 522–533.
12. *Schubert F., Kohler B., Pfeiffer A.* Time Domain Modeling of Axisymmetric Wave Propagation in Isotropic Elastic Media with CEFIT // Cylindrical Elastodynamic Finite Integration Technique: Journal of Computational Acoustics. 2001. V. 9. № 3. P. 1127–1146.
13. *Niederleithinger E., Taffe A., Fehner, T.* Improved Parallel Seismic Technique for Foundation Assessment: SAGEEP, 2005, Extended Abstracts: Atlanta, USA.
14. *Niederleithinger E.* Numerical simulation of low strain dynamic pile tests. Proceedings of Stresswave: Lisbon, 2008.
15. *Самарин Д.Г., Устюжанин В.Л., Лобанов А.А.* Исследования по определению длины буронабивных свай акустическими методами, основанными на схеме двух каналов измерения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 4. С. 180–191.

REFERENCES

1. *Kapustin V.V.* Primenenie volnovykh metodov dlya opredeleniya dliny svaj [Pile length measurement using acoustic wave methods]. *Tekhnologii sejsmorazvedki*. 2009. No. 2. Pp. 113–117. (rus)
2. *Kapustin V.V.* Metodika izucheniya osobennostej rasprostraneniya akusticheskikh voln v betonnykh svayah s ispol'zovaniem metodov chislennogo modelirovaniya [Acoustic wave propagation in concrete piles studied by numerical simulation methods]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya*. 2008. No. 3. Pp. 65–70. (rus)
3. *Hmel'nickij A.Yu., Vladov M.L., Kapustin V.V.* Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya vmeshchayushchego grunta na rasprostranenie akusticheskikh voln v svajnykh konstrukciyakh [Containment soil impact on acoustic wave propagation in pile structures]. *Inzhenernye izyskaniya*. 2012. No. 6. Pp. 16–23. (rus)
4. *Kapustin V.V.* K voprosu o fizicheskikh osnovakh akusticheskogo metoda ispytaniya svaj [Physical bases for acoustic pile testing]. *Inzhenernye izyskaniya*. 2011. No. 11. Pp. 10–15. (rus)
5. *Kapustin V.V.* Akusticheskie metody kontrolya kachestva svajnykh fundamentnykh konstrukcij [Acoustic quality control for pile foundation structures]. *Razvedka i ohrana neдр*. 2008. No. 12. Pp. 1216. (rus)
6. *Kapustin V.V.* Primenenie sejsmicheskikh i akusticheskikh tekhnologij pri issledovanii sostoyaniya podzemnykh stroitel'nykh konstrukcij [Seismic and acoustic technologies in studying underground structure conditions]. *Tekhnologii sejsmorazvedki*. 2008. No. 1. Pp. 91–99. (rus)
7. *Aleshin D.N., Kotova N.V., Aleshina E.A.* Kompleks metodov nerazrushayushchego kontrolya dlya obsledovaniya fundamentov zdaniy [Non-destructive testing of building foundations]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2014. No. 4 (10). Pp. 40–42. (rus)

8. ASTM D5882–16. Standard test method for low strain impact integrity testing of deep foundations.
9. Carino N.J. The impact-echo method: an overview. Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8611 USA, 2001.
10. Davis A.G. Nondestructive testing of wood piles. In: *Proc. 2nd Int. Conf. on Wood Poles and Piles*. Fort Collins, CO, 1994.
11. Xiping Wang, Ross R.J. Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. *Wood and Fiber Science*. 2001. No. 33 (4). Pp. 522–533.
12. Schubert F., Kohler B., Pfeiffer A. Time domain modeling of axisymmetric wave propagation in isotropic elastic media with CEFIT – Cylindrical Elastodynamic Finite Integration Technique. *Journal of Computational Acoustics*. 2001. V. 9. No. 3. Pp. 1127–1146.
13. Niederleithinger E., Taffe A., Fechner, T. Improved parallel seismic technique for foundation assessment. *Proc. Annu. Meeting “The Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems”*. Atlanta, USA, 2005.
14. Niederleithinger E. Numerical simulation of low strain dynamic pile tests. *Proceedings of Stresswave*. Lisbon, 2008.
15. Samarин D.G., Ustyuzhanin V.L., Lobanov A.A. Issledovaniya po opredeleniyu dliny buronabivnykh svai akusticheskimi metodami, osnovannymi na skheme dvukh kanalov izmereniya [Acoustic measurements of bored pile length using two channels]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 4. Pp. 180–191. (rus)

Сведения об авторах

Самарин Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sdgsamara@mail.ru

Устюжанин Владимир Леонидович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgasu9k@mail.ru

Лобанов Александр Александрович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, oflaa2010@mail.ru

Authors Details

Dmitry G. Samarин, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sdgsamara@mail.ru

Vladimir L. Ustyuzhanin, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tgasu9k@mail.ru

Alexander A. Lobanov, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, oflaa2010@mail.ru