УДК 624.154.5

Р.А. Мангушев¹, А.Б. Пономарев²¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия²Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИЕМКИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

В представленной статье авторами рассматриваются вопросы практического применения буровых и набивных свай в практике строительства. Подчеркивается важность контроля качества конструкций таких свай, представлены основные требования по контролю качества при производстве строительных работ и их приемке. Дано описание основных методов контроля, представлены практические примеры, а также описаны положительные и отрицательные стороны широкой применимости буровых и набивных свай в геотехническом строительстве.

Ключевые слова: буровые и набивные сваи, требования к контролю качества работ, методы испытаний и контроля.

R.A. Mangushev¹, A.B. Ponomaryov²¹St. Petersburg State University of Civil Engineering, Saint-Petersburg,
Russian Federation²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

FOR QUALITY CONTROL ISSUES MANUFACTURING AND ACCEPTANCE OF BORED CAST-IN-PLACE PILE PILES

In this article the author examines the practical application of bored and cast-in-place piles in construction practice. Emphasizes the importance of quality control structures such piles, presented the basic requirements for quality control during the construction works and their acceptance. A description of the main methods of control, provides practical examples and describes the positive and negative sides of the broad applicability of bored and cast-in-place piles in geotechnical construction.

Keywords: bored and cast-in-place piles, requirements for monitoring the quality of work, methods of test and inspection

Введение

Контроль качества выполненных свай является неотъемлемой частью строительного производства. Российские строительные нормы (СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты), при устройстве свай, изготавливаемых в грунте предполагают контроль следующих показателей:

- 1) положение свай в плане;
 - 2) отметки голов свай;
 - 3) глубина скважин;
 - 4) качество зачистки забоя от шлама путем медленного опускания в забой рабочего органа бурового станка и забора проб со дна скважины;
 - 5) удобоукладываемость бетонной смеси по ГОСТ 10181-2000.
- Смеси бетонные. Методы испытаний;

6) прочность бетона по результатам испытаний контрольных образцов по ГОСТ 10180-90;

7) прочность и сплошность бетона по результатам испытаний кернов – цилиндрических образцов, выбуренных из стволов свай по ГОСТ 28570-90. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.

Основной опасностью при некачественном устройстве буровых и набивных свай является снижение их несущей способности и, как следствие, развитие деформаций и потеря устойчивости здания.

Несущая способность свай-стоек зависит от прочности материала сваи и прочности грунта под пятой сваи. Поэтому при изготовлении свай-стоек особое внимание следует уделять соответствию фактических свойств материалов, используемых для бетонирования свай (входной контроль). Кроме этого, необходимо исключать возможность образования сужений в результате оплывания стенок скважины, перемены в бетонировании, расслоение бетонной смеси и контролировать герметичность соединения обсадных труб при бетонировании свай в водонасыщенных грунтах (операционный контроль).

Для висячих свай наиболее опасно снижение несущей способности сваи по грунту из-за недобросовестного уменьшения проектной длины сваи в результате «недобура» скважины. Это нарушение можно предотвратить при операционном контроле изготовления свай. При устройстве кустов свай или свайных полей из предварительно изготовленных свай или буронабивных свай, выполненных методом вытеснения грунта, возможен подъем ранее погруженных свай, что также ведет к уменьшению несущей способности свай и их значительной осадке при последующем загружении [8].

Контроль и приемку свай и свайных ростверков осуществляет служба технического надзора заказчика с участием авторов проекта свайных фундаментов и исполнителей, выполнивших работы по сооружению фундаментов. Приемку свайных фундаментов осуществляют в два этапа: после погружения или изготовления свай и после выполнения работ по устройству ростверков.

Приемка работ по устройству фундаментных конструкций из свай должна производиться на основании:

- проектов фундаментов из свай и проектов производства работ;
- технологических регламентов на производство работ;
- паспортов заводов-изготовителей на погружаемые сваи и сборные ростверки, а также щебень (гравий), арматуру и товарный бетон для изготавливаемых на площадке свай и монолитных ростверков;
- журнала учета входного контроля качества материалов и конструкций;
- общего журнала работ;
- акта на сдачу-приемку котлована под погружение или изготовление свай;
- акта на геодезическую разбивку осей здания и фундаментов и закрепление строительных осей;
- актов лабораторных испытаний контрольных бетонных образцов;
- исполнительных схем расположения свай с указанием их отклонений в плане, по глубине и по вертикали;
- журналов погружения или изготовления свай;
- сводных ведомостей погруженных или изготовленных свай;
- документации по результатам опытных работ, включающей результаты испытаний свай по ГОСТ 5686. Грунты. Методы полевых испытаний сваями;
- актов освидетельствования арматурных каркасов и скважин перед бетонированием изготавливаемых на площадке свай.

Приемка работ по устройству фундаментных конструкций из свай должна сопровождаться:

- изучением предъявленной документации;
- освидетельствованием свай с проверкой соответствия выполненных работ проекту;
- инструментальной проверкой правильности положения свай;
- контрольными испытаниями свай, если их несущая способность вызывает сомнения.

1. Контроль качества изготовления буронабивных свай

Контроль качества изготовления буронабивных свай выполняется в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 1, 2 и 3. Допускаемые отклонения свай не должны превышать допускаемых, приведенных в табл. 4.

Таблица 1

Пооперационный контроль за изготовлением буронабивных свай

Процесс	Контролируемый параметр	Кто выполняет	Техническая документация	Кому передаются материалы
Бурение скважин	Планово-высотная привязка свайных групп (кустов) и отдельных свай	Геодезическая группа	Акты разбивки	Подрядная организация
	Фактическое положение свайных групп (кустов) и свай	Подрядная организация	Исполнительная съемка	Технадзор, авторский надзор
	Бурение скважины (диаметр ствола, уширения; вертикальность; способ бурения; параметры глинистого раствора, если последний применяется)	Подрядная организация, контрольный пост	Исполнительная ведомость	То же
	Соответствие фактических данных по геологии, принятым в проекте	Строительная лаборатория – группа геологов	Журнал работ, акты	– –
	Наличие воды в скважине	То же	То же	– –
	Наличие вывалов грунта	Строительная лаборатория – группа геологов, контрольный пост	– –	– –
	Состояние забоя скважины после очистки	То же	– –	– –
	Соответствие фактической конструкции армокаркасов принятой в проекте	Завод по изготовлению армокаркасов, контрольный пост	Паспорт, акты	Технадзор, авторский надзор, подрядная организация
	Фактическое положение (в плане и по высоте) армокаркаса в скважине	Подрядная организация, контрольный пост	Исполнительная съемка	Технадзор, авторский надзор
	Порядок бурения скважин при кустовом или рядовом расположении в плане (исключение опережающего бурения скважины)	То же	Журнал работ	То же
Укладка бетонной смеси в скважину	Перерывы между окончанием бурения и началом бетонирования	Подрядная организация, контрольный пост при участии технадзора	Журнал работ, акты	Технадзор, авторский надзор, служба обеспечения
	Перерывы в процессе бетонирования	То же	То же	То же
	Характеристика бетонной смеси	Бетонный завод	Заводской паспорт	Подрядная организация, контрольный пост, технадзор
	Способ доставки бетонной смеси	Подрядная организация, контрольный пост при участии технадзора	Журнал работ	Подрядная организация, контрольный пост, технадзор

Окончание табл. 1

Укладка бетонной смеси в скважину	Фактическая интенсивность бетонирования	То же	То же	То же
	Фактический объем бетонной смеси, уложенной в скважину	— —	Журнал работ, паспорта на бетонную смесь	— —
	Температура воздуха в скважине (для зимних условий)	— —	То же	— —
	Температура окружающего воздуха (для зимних условий)	— —	— —	— —
	Температура бетонной смеси при отгрузке на бетонном заводе	Бетонный завод	— —	— —
	Температура бетонной смеси перед укладкой в скважину	Подрядная организация, контрольный пост при участии технадзора	— —	— —
	Электропрогрев	То же	— —	— —
	Отбор бетонных кубиков и условия их хранения	— —	Журнал работ, паспорта	— —
	Осадка конуса бетонной смеси перед укладкой в скважину	— —	То же	— —

Таблица 2

Способы контроля при бурении скважин

Контролируемый параметр	Способ контроля	Тип свай
Состояние скважины	Визуальный контроль с лампочкой Сравнение объема грунта выбуренной породы с геометрическим объемом свай По расходу глинистого раствора	БСС, БСС _м , БСВ* _о , БСИ* БСВ* _о БСВ _г
Вертикальность скважины	Отвесом, инклинометром По длине троса бурового снаряда, лотом	БСС, БСС _м , БСВ _о , БСВ _г , БСИ БСС, БСС _м , БСВ _о , БСВ _г , БСИ
Размеры скважины	Шаблоном По диаметру обсадной трубы По раскрытию лопастей бурового уширителя	БСС, БСС _м , БСВ _г БСВ _о , БСИ БСС, БСС _м , БСВ _г
Состояние забоя скважины	Стальным шупом Освещением воды, используемой при промывке	БСС, БСС _м , БСВ _о , БСИ БСВ _о , БСИ, БСВ _г

* При сухой скважине; * БСС и БСС_м – буронабивные сваи, устраиваемые без крепления стенок скважин; БСВ_г – то же с применением глинистого или полимерного бурового раствора; БСИ – то же с применением извлекаемых обсадных труб; БСВ_о – то же, применением неизвлекаемых обсадных труб.

Таблица 3

Способы контроля качества готовых свай

Контролируемый параметр	Способ контроля	Тип свай
Сплошность ствола	Сравнение объема бетона, фактически уложенного в скважину, с ее геометрическим объемом Бурение стволов с отбором кернов	БСС, БСС _м , БСВ _Г , БСИ
	Акустический метод	БСС, БСС _м , БСВ _О , БСВ _Г , БСИ, БСС, БСС _м , БСВ _О , БСВ _Г , БСИ
Наличие уширения	Бурение скважин малого диаметра (36 мм) в зоне уширения	БСС, БСС _м , БСВ _Г
Прочность бетона ствола	Испытание контрольных кубиков и образцов кернов на раздавливание. По скорости бурения бетона ствола (шарошечное бурение без отбора керна). Склерометрический метод для оценки прочности бетона в голове свай. Ультразвуковой метод для оценки прочности бетона в голове свай	БСС, БСС _м , БСВ _О , БСВ _Г , БСИ

Таблица 4

Допускаемые отклонения свай

Отклонения	Значения допускаемых отклонений	
	При устройстве забивных, вибропогружаемых, вдавливаемых и завинчиваемых свай	При выполнении буронабивных свай
В плане: а) при однорядном расположении свай поперек оси ряда вдоль оси ряда б) для кустов и лент с расположением в два и три ряда для крайних свай поперек оси свайного поля для остальных свай и крайних свай вдоль оси свайного ряда	$\pm 0,2d$ $\pm 0,3d$ $\pm 0,2d$ $\pm 0,3d$	± 10 см ± 15 см

Окончание табл. 4

в) для сплошного свайного поля		
для крайних свай		
для средних свай		
Фактических отметок голов свай от проектных:	$\pm 0,2d$	
	$\pm 0,4d$	
а) при монолитном ростверке или плите		
б) при сборном ростверке	± 3 см	± 3 см
в) в безростверковом фундаменте со сборным оголовком	± 1 см	± 1 см
По вертикали:		
По глубине скважины	± 5 см	± 5 см
	± 2 %	± 2 %
		± 100 мм

Помимо этого, для определения фактической несущей способности свай по грунту проводят полевые контрольные испытания свай.

2. Полевые испытания свай

2.1. Испытание статической вдавливающей нагрузкой

Испытания свай статической нагрузкой выполняют согласно ГОСТ 5686-2012. Количество свай испытываемых статической вдавливающей нагрузкой при строительстве должно составлять не менее 0,5 % от общего количества свай на объекте, но не менее 2 шт. (рис. 1).

Данный метод определения несущей способности свай является наиболее надежным, но в то же время весьма дорогим и трудоемким. Испытанию подвергают сваи, имеющие проектные размеры, погруженные в местах сооружения фундаментов с использованием тех же средств, которые будут применены для погружения остальных свай. Вследствие трудоемкости проведения подобных испытаний на стадии проектирования сооружения их нередко выполняют уже в процессе строительства. Испытываемую сваю чаще всего загружают с помощью гидравлических домкратов. Реактивные усилия от домкратов передаются на анкерные сваи. Если испытания ведут после сооружения плиты ростверка, то реактивные усилия могут быть восприняты плитой ростверка или надфундаментной частью сооружения.

При испытании небольших свай упором для гидравлических домкратов может служить грузовая платформа. Практика показывает, что для нормального хода испытаний число анкерных свай должно

быть не менее четырех, а при устройстве свай в слабых грунтах их число рекомендуется увеличить до шести.

Для устранения эффекта влияния расстояния в осях между анкерной и испытываемой свай, а также опорой реперной системы принимается равным $3d$, но не менее 1,5 м при толщине ствола свай $d = 0,8$ м. При испытаниях несущих элементов с большой толщиной ствола это расстояние может быть уменьшено до $2d$. Для свай с уширенной подошвой за d следует считать диаметр уширения.

Рис. 1. Испытание свай статической вдавливающей нагрузкой:

1 – испытываемая свая; 2 – анкерная свая; 3 – домкрат с манометром;
4 – насосная станция; 5 – система упорных балок

Для измерения осадки свай можно применять любые приборы, позволяющие определить перемещения с точностью 0,1 мм – прогибомеры, индикаторы часового типа. Для измерения осадки испытываемой сваи применяется не менее двух приборов, установленных симметрично. Замерять следует как перемещения испытываемой сваи, так и перемещения анкерных свай, которые работают на растяжение.

Срыв анкерных свай будет указывать на недостаточную несущую способность анкерной системы и невозможность дальнейшего нагружения испытываемой сваи без усиления анкерной системы. Для установки измерительных приборов применяют специальные реперные системы (рис. 2) [1].

Рис. 2. Схемы анкерной и реперной системы для испытания свай:
 а – кустовое расположение свай; б – рядовое расположение свай;
 1 – балочная клетка; 2 – реперные уголки; 3 – реперные сваи;
 4 – анкерные сваи; 5 – испытываемые сваи; 6 – измерительные приборы

В качестве опоры реперной системы используют сваи, в которых не возникает перемещений от влияния испытываемой и анкерных свай, или дополнительные опоры.

Нагрузку на сваю прикладывают ступенями, составляющими $1/10 \dots 1/15$ от ожидаемого значения предельной нагрузки. К следующей

ступени нагрузки переходят после того, как произойдет затухание осадок предыдущей ступени. Осадка при данной ступени нагрузки практически считается затухшей, если приращение осадки составит не более 0,1 мм/ч при опирании на глинистые грунты полутвердой и тугопластичной консистенции и не более 0,2 мм/ч при опирании на песчаные и глинистые твердые грунты. Опыты показывают, что при таких нормах затухания осадок величины предельных нагрузок на сваи значительно не искажаются.

График зависимости осадки свай S от нагрузки P

График зависимости осадки свай S во времени (по ступеням нагружения)

Рис. 3. Графики статического испытания свай

Предельное сопротивление соответствует точке перелома на графике «осадка-нагрузка», и его принимают на одну ступень меньше максимальной нагрузки, при которой свая теряет устойчивость.

Нагрузку, соответствующую F_u , можно оценить по отношению приращений осадок от данной и предыдущей ступеней нагрузок. Можно считать, что F_u соответствует нагрузке на одну ступень меньше нагрузки, при которой приращение осадки за ступень нагружения будет

в 5 раз и более превышать приращение осадки за предыдущую ступень нагружения. Нагрузку F_u можно считать и такую, при которой осадка не затухает в течение суток и более.

2.2. Испытания свай динамическими нагрузками

По сравнению с методом статических испытаний динамический метод определения несущей способности свай более простой и дешевый. Пользуясь им, можно определить несущую способность каждой погружаемой сваи. Однако динамический метод дает менее точные результаты, что обусловлено различным характером работы грунта, окружающего сваю при динамических нагрузках во время забивки и статических нагрузках от сооружения.

Силу предельного сопротивления погружения сваи F_u определяют в зависимости от значения погружения e сваи от одного удара молота (отказ сваи) [1]. Схема испытания приведена на рис. 4.

Рис. 4. Схема к определению несущей способности свай динамическим методом

За отказ свай принимают среднюю глубину погружения от одного удара молотом или глубину погружения от работы вибропогружателя за 1 мин, выраженные в сантиметрах. Приборы для измерения отказов должны обеспечивать погрешность измерения не более 1 мм.

При динамических испытаниях свай забивку и добивку испытываемой свай необходимо производить тем же оборудованием, какое будет использовано для погружения свай в составе фундамента. Процесс испытания свай динамической нагрузкой включает в себя подсчет количества ударов молота на каждый метр погружения и общего количества ударов. На последнем метре забивки, ведется подсчет ударов на каждые 10 см погружения.

При выводе расчетных формул для этого метода принимают различные допущения, которые не всегда приводят к надежным результатам. Динамический метод неприменим для оценки несущей способности свай-столбов и свай с уширенной пятой.

Энергию падающего молота $\mathcal{E}$, равную QH , можно выразить уравнением:

$$QH = F_u e + \delta_c QH + E_y, \quad (1)$$

где Q – вес ударной части молота; H – высота падения молота; $F_u e$ – полезная работа, расходуемая на преодоление сопротивления F_u погружению свай на значение отказа e ; $\delta_c QH$ – работа, которая тратится на преодоление вредных сопротивлений (остаточные деформации, нагревание и др.); δ_c – коэффициент, показывающий, какая часть общей работы затрачивается на преодоление вредных сопротивлений; E_y – работа упругих деформаций материала свай и грунта.

Формула F_u , принятая для практических расчетов, приведена в СП24.13330.2011. В данной формуле не учитывается работа упругих деформаций материала свай и грунта, поэтому формула применяется при отказах e , больших 0,2 мм. Как и в случае со статическими испытаниями свай, при проведении шести и более испытаний, несущая способность свай определяется с учетом требований ГОСТ 20522-96 на статистическую обработку данных.

2.3. Испытания свай методом Остенберга

Испытания свай методом Остенберга выполняют на предпроектной стадии, т.е. до начала проектирования и массового заглубления свай. Метод позволяет отдельно определить несущую способность грунта по острию и по боковой поверхности свай. Его обычно используют для испытания буровых или набивных свай больших габаритов.

При испытании свай методом погруженного домкрата силовую ячейку устанавливают непосредственно в тело испытываемой сваи (рис 5.). Силовая ячейка представляет собой систему калиброванных гидравлических домкратов в защитном корпусе. Она разделяет испытываемую сваю на два элемента: верхний, расположенный над силовой ячейкой, и нижний, расположенный под силовой.

Рис. 5. Испытания свай методом Остенберга:
1 – балка реперной системы; 2 – компьютер;
3 – устройство регистрации данных; 4 – коммутатор;
5 – датчик перемещений; 6 – магистраль гидравлической

системы; 7 – пост управления гидравлической системой;
8 – преобразователь перемещений; 9 – ячейка Остенберга;
10 – арматурный каркас; 11 – распределительная плита

Контролируемая нагрузка в силовой ячейке создаётся посредством гидравлического давления от насоса маслостанции, находящейся на поверхности и соединённой с силовой ячейкой маслопроводом. Давление контролируется прецизионным электронным манометром, откалиброванным в общей схеме гидравлической системы. В процессе увеличения нагрузки на стенки поршня домкрата происходит раскрытие силовой ячейки. Результатом этого раскрытия является подвижка верхнего элемента сваи вверх и нижнего элемента вниз. Перемещение верхнего элемента измеряется стержневыми тензометрами, установленными на верхней плите домкрата, и датчиками перемещения, установленными в верхней части стальной трубы. Перемещение нижнего элемента измеряется стержневыми тензометрами, установленными на нижней плите силовой ячейки [4].

Испытания продолжают до тех пор, пока не наступит одно из трех условий: будет достигнут предел поверхностного трения или бокового сдвига; будет достигнута предельная несущая способность; будет достигнута максимальная мощность силовой ячейки. Метод Остенберга [6] позволяет испытывать сваи больших габаритов без использования анкерных свай, что сокращает расходы на стадии геотехнических изысканий.

Для испытания свай заводского изготовления, погружаемых статическим или динамическим способом, используют специальные конструкции свай с внутренним каналом, а ячейки Остенберга монтируют на нижних концах свай с помощью специальных креплений ГОСТ 18105-86. Бетоны. Правила контроля прочности.

3. Контроль качества изготовления стволов свай

Наряду с входным и операционным контролем, осуществляемым представителями технического надзора заказчика и производителя, часто для устранения подозрений в некачественном устройстве свай используют разрушающие и неразрушающие методы контроля качества.

3.1. Разрушающие методы контроля

Контроль прочности бетона буровых и набивных свай осуществляют в проектном возрасте разрушающим методом по ГОСТ 18105-86.

Для этого при бетонировании свай из произвольно выбранных замесов в соответствии с ГОСТ 10181.2000 отбирают не менее двух проб бетонной смеси от каждой партии бетона и не менее одной пробы в 1 сутки. Из каждой пробы бетонной смеси в соответствии с ГОСТ 10180-90 изготавливают по одной серии образцов бетона. Образцы изготавливают в поверенных формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685-89.

По результатам испытаний контрольных образцов бетона оформляется акт, в котором указываются фактическая прочность бетона.

Согласно п. 2.4 ГОСТ 18105-86 и п. 15.3.28 СП 50-102-2003 контрольные образцы бетона монолитных конструкций должны твердеть в условиях, одинаковых с условиями твердения конструкций. В действительности контрольные образцы твердеют на улице, в условиях, отличных от условий твердения бетона в скважинах. Поэтому наиболее показательными являются результаты испытаний на прочность образцов керна, выбуренного из ствола свай.

Помимо контроля прочности бетона, производят контроль качества стволов буровых и набивных свай, который заключается в испытании на прочность образцов кернов, выбуренных по вертикали с различных глубин через 0,5 м.

Рис. 6. Керны, выбуренные из стволов свай с нанесенной маркировкой

Отбор проб производят в присутствии авторского надзора с использованием малогабаритной установки вращательного бурения, которую устанавливают над свайей и анкеруют в основание.

Для отбора керна на конец колонковой трубы навинчивают буровую алмазную или твердосплавную коронку. Когда коронка достигает требуемой глубины, колонну штанг, колонковую трубу и коронку извлекают из скважины, а керн – из колонковой трубы. Полость, образованную в стволе скважины, заполняют мелкозернистым бетоном. После этого керны маркируют (рис. 6), и составляется акт отбора проб, в котором указывается номер свай, из которой отобрана проба, абсолютная отметка головы свай на момент отбора, количество отобранных проб и их диаметр, глубина и дата отбора.

Контролю качества стволов подвергают одну свайю из ста, но не менее двух свай из общего количества.

Контроль качества стволов буроинъекционных свай осуществляют путем откопки голов у 2 % выполненных свай и определения их прочности неразрушающими способами ГОСТ 17624-87; ГОСТ 22690-88).

При обнаружении дефектов в испытываемых сваях число испытаний увеличивают (рис. 7).

Рис. 7. Головы свай, откопанные для контроля качества

Отметим, что контроль качества стволов буровых и набивных свай, осуществляемый отбором и испытанием кернов, является разрушающим, трудоемким и дорогим методом.

3.2. Неразрушающие методы контроля

Для определения фактических длин свай, локализации дефектов (трещин, «шеек» – ослаблений сечений) и оценки механических характеристик бетона свай используют сейсмоакустические (звуковые) и ультразвуковые методы контроля.

Работа по оценке качества изготовленных свай делится на два этапа: первый – собственно тестирование свай на строительной площадке (рис. 8), второй – интерпретация полученной информации с помощью специального программного обеспечения.

Рис. 8. Тестирование буронабивной сваи
сейсмоакустическим прибором ИДС-1

На рис. 9 изображены сейсмоакустический прибор отечественного производства и его зарубежные аналоги.

Принцип действия сейсмоакустических средств основан на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых в контролируемых объектах – сваях с помощью ударного импульса, переданного оголовку сваи (рис. 10).

Рис. 9. Сейсмоакустические приборы: а – прибор ИДС-1 (россия); б – pocket pile Echo Tester (Великобритания); в – Integrity Testing System (Нидерланды); г – Pile Echo Tester (Великобритания)

Рис. 10. Принцип действия сейсмоакустических приборов

После удара молотком по голове сваи продольная волна растяжения-сжатия распространяется по стволу сваи с некоторой скоростью c . На границе раздела сред (бетон – инородное включение, бетон – грунт и т.п.) звуковая волна отражается. Временной интервал между первоначальным ударом молотка и отражением от границы сред измеряется прибором и равняется времени t , необходимому для распространения волны по стволу сваи длиной l дважды – вниз и вверх,

$$t = \frac{2l}{c}. \quad (2)$$

С помощью акселерометра (датчика ускорений) или велосиметра (датчика скоростей) прибор преобразует вызванные возбудителем волны в рефлектограмму – график изменения скорости звуковой волны во времени (или по длине сваи). Анализ рефлектограмм позволяет определить длину сваи и локализовать дефекты в её стволе. Для улучшения акустического контакта между свайей и датчиком используют специальную мастику или пластилин.

После измерения с помощью прибора времени распространения t звуковой волны по свае определяется один из двух параметров:

- 1) скорость распространения волны по свае известной длины;
- 2) длина сваи по известной скорости распространения волны.

Длина сваи l определяется косвенным методом, т.е. Исходя из измеренного прибором временного интервала t ; при этом скорость продольной волны c в свае считается известной

$$l = \frac{ct}{2}. \quad (3)$$

Погрешность определения (именно определения, а не измерения) длины сваи l (скорости волны c) напрямую зависит от того, как точно будет задана скорость волны c (длина сваи l).

Для строительных материалов и, в частности, для бетона при отсутствии прямой функциональной зависимости существует достаточно устойчивая и тесная корреляция (то есть статистическая связь) между скоростью звука и прочностью материала.

Дефекты свай можно характеризовать изменением площади поперечного сечения от A_1 до A_2 или свойств материала E и ρ . В таком случае, когда волна встречает такую неоднородность, она частично отражается назад, частично проходит вперед.

На рис. 11 изображена рефлектограмма, полученная при тестировании забивной сваи сейсмоакустическим методом с использованием прибора Integrity Testing System фирмы IFCO Funderin gsexpertise (Нидерланды).

Рис. 11. Пример рефлектограммы для забивной сваи (длина сваи 9 м; скорость звуковой волны 3692 м/с; период колебания 0,45 мс)

Для получения достоверных результатов необходимо, чтобы торцы свай были горизонтальными, чистыми с шероховатостью не более 2,0 мм. На торцах свай не допускается наличие воды, цементного молока и трещин. Возраст бетона на момент испытаний должен быть не менее 7 дней. В период тестирования свай сейсмоакустическим методом не допускается работа механизмов, создающих вибрации. Дефекты свай можно характеризовать изменением площади поперечного сечения от A_1 до A_2 или свойств материала E и ρ . В случае когда волна встречает такую неоднородность, она частично отражается назад, частично проходит вперед (рис. 12).

Из условия равновесия и соображений непрерывности среды можно получить следующие соотношения одномерной теории распространения волн:

напряжение, вызываемое отраженной волной

$$\sigma_{refl} = -\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \sigma_{inc}; \quad (4)$$

напряжение, вызываемое пройденной волной

$$\sigma_{trans} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \frac{A_1}{A_2} \sigma_{inc}, \quad (5)$$

где $Z_i = A_i c_i \rho_i$ – акустическое сопротивление i -й среды; σ_{inc} – напряжение, вызванное волной в результате ударного воздействия.

Уравнения (4) и (5) позволяют моделировать поведение волны и применимы для стержней произвольной формы. Для визуализации процесса распространения волны удобной оказывается зависимость $x=f(t)$ – зависимость координаты продольной волны во времени.

Рис. 12. Графики и схема, иллюстрирующие интерференцию волн в результате ослабления поперечного сечения свай
 $(\sigma$ – напряжение в свае, вызванное ударным воздействием, Н/мм²;
 V – мгновенная скорость смещения частиц, м/с)

Выводы

В отличие от сборных железобетонных свай, погружаемых в грунтовое основание различными методами, сваи, изготавливаемые в грунте, требуют особого внимания к качеству технологии производства работ при их выполнении. Сложность и не всегда однозначность результатов контроля качества выполненных свай в грунте зачастую являются ограничением широкого использования этих конструкций в разнообразных грунтовых условиях.

Вместе с тем можно считать, что в настоящее время в России сложилась устойчивая система контроля качества выполнения буронабивных свай, изготавливаемых в грунте по различным технологиям, которая позволяет в зависимости от поставленных задач выбрать и применить наиболее оптимальный тип контроля.

Библиографический список

1. Костерин Э.В. Основания и фундаменты: учеб.пособие. – М.: Высш. шк., 1990 – 431 с.
2. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Безгоднов М.А. К вопросу о влиянии фактора времени на несущую способность свай // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: материалы междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2014. – Ч. II. – 44–51 с.
3. Bartolomei A.A., Ponomarev A.B. Experimental investigations and prediction of settlements of conical-pile foundations // Soil mechanics and foundation engineering. – 2001. – Vol. 38. – No 2. – С. 42–50.
4. Технотест // Веб-узел компании «Технотест». – URL: <http://www.tehnotest.kz>
5. Osterberg, J. O. New device for load testing driven piles and drilled shafts separates friction and end bearing // Proc. Int. Conf. on Piling and Deep Foundations. – London: Balkema, 1989. – P. 421–431.
6. Osterberg, J. O. The Osterberg load test method for bored and driven piles. The first ten years // Proc. 7th Int. Conf. and Exhibition on Piling and Deep Foundations, Vienna, Austria, June 1998; Deep Foundation Institute, Englewood Cliffs. – New Jersey, 1998. – P. 1.28.1–1.28.11.
7. Мангушев Р.А. [и др.]. Современные свайные технологии – М.: АСВ, 2010. – 235 с.
8. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и продземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014 – 728 с.

References

1. Kosterin E.F. Osnovaniya i fundamenti [Bases and foundations]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 431 s.
2. Ponomarev A.B. Zakharov A.V., Bezgodov M.A. K voprosu o vliianii faktora vremeni na nesushchiu sposobnost' svai [The question on influence of the time ratio for a piles capacity]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii "Sovremennye geotekhnologii v stroitel'stve i ikh nauchno-tekhnikeskoe soprovozhdenie"*, Saint-Petersburg, SPbGASU, 2014, vol. 2, pp. 44-51.

3. Bartolomei A.A., Ponomarev A.B. Experimental investigations and prediction of settlements of conical-pile foundations. *Soil mechanics and foundation engineer – ring*, 2001, vol. 38, no 2; pp. 42-50/
4. Tehnotest Veb-uzel kompanii «Tehnotest». – URL: <http://www.tehnotest.kz>
5. Osterberg, J.O. New device for load testing driven piles and drilled shafts separates friction and end bearing. *Proc. Int. Conf. on Piling and Deep Foundations*, London, Balkema, 1989. pp. 421-431.
6. Osterberg, J. O. The Osterberg load test method for bored and driven piles. The first ten years. *Proc. 7th Int. Conf. and Exhibition on Piling and Deep Foundations*, Vienna, Austria, June 1998. Deep Foundation Institute, Englewood Cliffs, New Jersey, 1998. pp. 1.28.1–1.28.11.
7. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. *Sovremennye svajnye tehnologii* [Modern technology pile]. Moscow: ASV, 2010. 235 s.
8. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya* [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Moscow: ASV, 2014. 728 s.

Сведения об авторах

Мангушев Рашид Абдулович (С-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, заведующий кафедрой «Геотехника» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: npk-cgt@yandex.ru

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: spstf@pstu.ru

About the authors

Mangushev Rashid Abdulovichh (S.-Petersburg, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member RAASN, Head of Department «Geotechnics», St. Petersburg State University of Civil Engineering; e-mail: npk-cgt@yandex.ru

Ponomaryov Andrey Budimirovich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department «Construction technology and geotechnics», Perm National Research Polytechnic University; e-mail: spstf@pstu.ru

Получено 26.03.2014