

НЕОБХОДИМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ СВАЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. Н. Невейков¹, В. Н. Дедок²

¹ К. т. н., ведущий инженер отдела искусственных сооружений ГП «Институт «Белжелдорпроект»», Минск, Беларусь, e-mail: geomonolith@gmail.com

² Старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ofig@bstu.by

Реферат

Статья посвящена проблемам устройства свайных фундаментов в Республике Беларусь. Основное внимание уделено дефектам, возникающим при устройстве буронабивных свай, с указанием причин их появления и возможностям основных неразрушающих методов контроля сплошности свай для выявления дефектов. В статье отмечены пробелы в техническом нормировании данных методов и необходимость их устранения для эффективного внедрения в практику проектирования и строительства в нашей стране.

Ключевые слова: буронабивная свая, дефект, контроль качества, контроль сплошности свай, техническое нормирование.

THE PILE INTEGRITY TESTING TECHNICAL LEGISLATION METHODS NEED IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A. N. Nevejkov, V. N. Dedok

Abstract

The article is devoted to the pile foundations erection problems in the Republic of Belarus. The main attention is paid to defects, which occur during the bored piles installation, their reasons indications, and to the pile integrity testing main nondestructive methods possibilities. The article notes these methods technical regulation gaps, and their elimination need for effective implementation in the practice of design and construction in our country.

Keywords: bored pile, defect, quality control, pile integrity testing, technical legislation.

Введение

Устройство свайных фундаментов входит в перечень работ, подлежащих подтверждению соответствия требованиям безопасности ТР 2009/013/BY. В соответствии с ним «сооружения должны быть запроектированы и построены таким образом, чтобы во время строительства и расчетного периода эксплуатации любые возможные воздействия не приводили к... обрушению всего сооружения или его части, деформации сооружения или его части сверх предельно допустимой величины» [1]. Чтобы обеспечить качество выполнения работ, производят контроль на всех этапах устройства свай, в том числе и испытанием статическими и динамическими нагрузками, которые определяют только несущую способность свай, но не гарантируют качество стволов свай как целостной железобетонной конструкции. Трудоемкость и высокая стоимость прямых методов контроля качества свай могут быть компенсированы и дополнены неразрушающими методами контроля. Для обоснования и понимания возможностей их применения необходимо иметь представление о дефектах устройства свайных фундаментов, возникающих на практике, и особенностях основных неразрушающих методов контроля сплошности свай.

1. Проблемы при контроле качества стволов свай и выявляемые дефекты

Среди различных типов фундаментов, применяемых в Беларуси, на долю свайных приходится 25–35 %, причем наибольшее распространение получили сваи заводского изготовления, хотя в мировой практике наиболее распространенными являются буронабивные сваи, на долю которых приходится более 50 % от общего объема применяемых свайных фундаментов, и в настоящее время эта тенденция сохраняется. Различные методы устройства свай могут приводить к различным дефектам в их стволах, что отражается на методах их контроля на соответствие требованиям проекта и действующих нормативных документов (далее – ТНПА).

В СТБ 1164.3-2009 [2] оговорен перечень контролируемых показателей для свай: уровень отметки планировки площадки; точность разбивки осей свай; отклонение в плане, по высоте и от вертикали; глубина погружения свай; несущая способность свай; смещение осей оголовков и ростерков в плане и по высоте; другие показатели, которые определяют технологию устройства свай. Требования к устройству свайных фундаментов до ввода новых ТНПА (СП и СН) по проектированию устройству фундаментов отражены в ТКП 45-5.01-188-2010; ТКП 45-5.01-254-2012, ТКП 45-5.01-256-2012, пособиях П13, П18, П19 к СНБ 5.01.01-99 и др. Но в этих ТНПА не содержится требований к контролю сплошности стволов свай.

Для свай заводского изготовления качество стволов контролируют как до погружения в процессе входного контроля (внешний вид поверхности, геометрические параметры, положение закладных деталей, марка бетона и др.), так и в процессе операционного контроля при погружении свай (пробном и массовом). Для свай построечного изготовления (буровых, буронабивных и набивных, далее – буронабивных) их качество контролируют при изготовлении скважин, укладке бетонной смеси и после твердения бетона. Это может вызывать затруднения и привести к неоднозначности результатов контроля качества из-за сложности грунтовых условий, разнообразия применяемых технологий их устройства и, как следствие, по ряду причин к появлению дефектов. Выявить нарушения однородности стволов при традиционных методах контроля (сравнение объема бетона, фактически уложенного в скважину, и ее геометрического объема или с объемом извлеченного грунта; инклинометрия, кавернометрия, осмотр техническим эндоскопом и другие способы визуального контроля не заполненных бетоном скважин; лабораторные испытания кубиков и выбуренных кернов бетона и др.) фактически невозможно. Основной опасностью при некачественном устройстве стволов свай является снижение их несущей способности и повышение деформативности, что может сказаться на надежности эксплуатации зданий и сооружений, а возникающие из-за дефектов осадки и деформации сооружений требуют дорогостоящих капитальных ремонтов и могут приводить к аварийным ситуациям.

К возникновению дефектов буронабивных свай приводят:

- нарушения при бурении и/или бетонировании из-за низкого качества производства работ;
- отсутствие надлежащего технического контроля в процессе выполнения работ;
- применение некачественных строительных материалов;
- выбор технологии устройства свай, не соответствующей грунтовым условиям площадки;
- неблагоприятные грунтовые условия, влияющие на взаимодействие ствола сваи с окружающими грунтами;
- ошибки в проекте работ и др.

По месту образования и расположению дефекты в буронабивных сваях можно разделить на следующие типы:

- 1) дефекты в зоне верхнего конца сваи – образуются при выгоне шлама, под воздействием фильтрации грунтовых вод и т. д.;
- 2) дефекты в зоне нижнего конца сваи – образуются при перемешивании грунта с бетоном на начальном этапе бетонирования;
- 3) дефекты ствола сваи – образуются в ходе проблем с бетонированием, влияния закарстованных грунтов и других сложных грунтовых условий;

- 4) дефекты защитного слоя – сужения сечений и оголение арматурного каркаса под воздействием фильтрации грунтовых вод;
- 5) дефекты армирования сваи – армирование сваи каркасом не на проектную длину;
- 6) дефекты контакта сваи и окружающего грунта – разрыхление грунта вдоль боковой поверхности сваи и/или наличия шлама на нижнем конце сваи.

W. C. Jones и Y. Wu по результатам многолетней работы по контролю сплошности буронабивных свай привели данные, в которых частота обнаружения дефектных свай составила 38 % от общего числа проконтролированных. Локализация дефектов по длине стволов свай была следующая: у нижнего конца – 44 %, в средней части ствола – 11 %, у верхнего конца – 45 % [3]. Схожие результаты, представленные на рисунке 1, получил В. Сатр, подводя итоги десяти лет работы по контролю сплошности свай [4].

Таким образом, чаще всего встречались дефекты типов 1 и 2, значительно влияющие на работу свай и заметно снижающие их несущую способность, как и реже встречающиеся дефекты типов 3 и 6. Влияние дефектов типов 4 и 5 проявляется при длительной эксплуатации, так как коррозия или нарушения в установке арматурного каркаса могут привести к снижению несущей способности с течением времени. Значительный процент дефектов на нижнем и верхнем концах буронабивных свай объясняется технологическими процессами, связанными с началом и окончанием бетонирования. Характерные дефекты в буронабивных сваях представлены на рисунке 2.

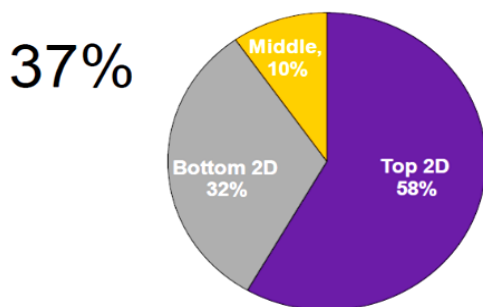
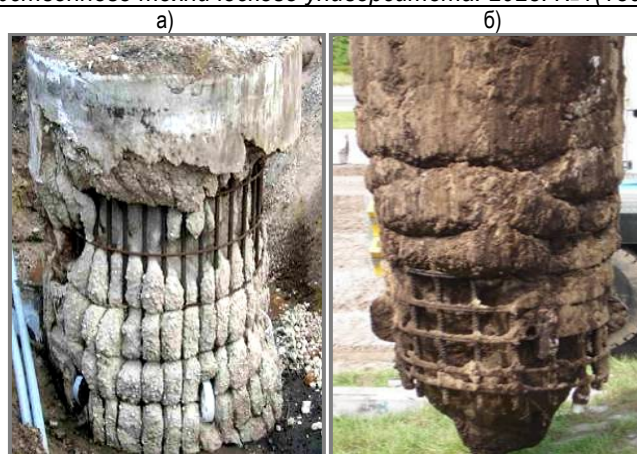


Рисунок 1 – Частота обнаружения дефектных буронабивных свай и локализация, выявленных дефектов [4]



а) верхний конец сваи;
б) нижний конец сваи

Рисунок 2 – Характерные дефекты в буронабивных сваях

Обобщение факторов, негативно влияющих на работу буронабивных свай под нагрузкой и создающих неопределенность при расчете (таблица 1), согласно данным [5–7 и др.], показывает, что наиболее эффективными и «беспроблемными» при соблюдении технологии устройства являются сваи с оставляемой обсадной трубой и изготавливаемые напорным бетонированием через полый шнек.

С учетом вышеизложенного необходимо не только контролировать свойства исходных строительных материалов при входном контроле (бетонной смеси и арматурных каркасов) и выполнять операционный контроль при производстве работ, но и проводить проверку качества стволов готовых буронабивных свай прямыми и неразрушающими методами контроля.

Долгое время единственными методами контроля сплошности бетона готовых буронабивных свай были откопка их верхних частей и освидетельствование выбуриванием из ствола керна. Данные методы дороги, трудоемки и ограничены в применении, так как с их помощью можно проверить выборочное количество свай и выявить только нарушения целостности, которые попадают в их зону.

Таблица 1 – Факторы, негативно влияющие на работу свай под нагрузкой [5–7 и др.]

Фактор	Типы буронабивных свай, устраиваемые по технологиям							Характер влияния
	«насухо»	под защитой обсадных труб	под защитой раствора	CFA	CFA под защитой обсадной трубы	в раскатываемых скважинах	с оставляемой обсадной трубой	
Потеря устойчивости стенок скважины	A	B	A	B	B	B	B	Уменьшение параметров прочности грунта, снижение несущей способности сваи
Разрыхление (-), доуплотнение (+) грунта стенок скважины	A(-)	B(-)	B(-)	B(-), A(+)	B(-), A(+)	B(-), A(+)	B(-), A(+)	Снижение (-), увеличение (+) характеристик грунта
Накопление шлама на дне скважины	A	A	B	B	B	B	B	Увеличение осадки сваи для достижения предельного сопротивления грунта под нижним концом
Упругая разгрузка контура скважины	A	A	A	A	A	A	B	Увеличение сдвиговой осадки сваи
Упругая разгрузка по дну скважины	A	A	A	A	A	A	B	Увеличение осадки сваи для достижения предельного сопротивления грунта под нижним концом
Формирование глинизированного контактного слоя	B	B	A	B	B	B	B	Неопределенность с параметрами прочности грунта
Усадка бетона	A	A	A	A	A	A	B	То же, что и при упругой разгрузке
Нарушение сплошности ствола сваи (шейки, трещины наплывы)	A	B	A	B	B	B	B	Неопределенность с параметрами прочности грунта, снижение несущей способности сваи
Динамические воздействия на грунт	B	B	B	B	B	B	B	Дополнительные осадки и перемещения соседних конструкций
Недобуривание до проектной отметки	B	B	B	B	B	B	B	Неопределенность с сопротивлением грунта под нижним концом сваи
Коррозия стали	B	B	B	B	B	B	A	Снижение несущей способности материала

Примечание – В таблице приняты следующие обозначения:

«A» – фактор имеет высокое значение; «B» – фактор имеет низкое значение или маловероятен при соблюдении технологии; «B» – фактор невозможен

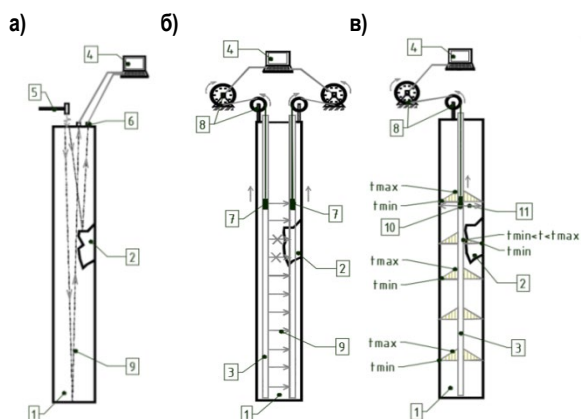
Метод контроля однородности стволов свай отбором кернов был закреплен в следующих ТНПА бывшего СССР: СНиП 3.02.01-87, СНиП 3.03.01-87, СНиП 3.06.04-91. Однако в ТНПА Республики Беларусь данный метод отсутствует, как и отсутствуют основные неразрушающие методы контроля сплошности свай рассмотренные ниже (сейсмоакустический, ультразвуковой, термометрический), которые получили широкое распространение в мировой практике. В СНБ 2242-2011 лишь упоминается, что «до начала испытаний производится определение глубины заложения и целостности (сплошности) ствола опытных свай» [8]. Ни один из этих методов подробно не отражен и в ТНПА России, а лишь указан объем контрольных испытаний для отдельных методов. Упомянутые выше методы контроля сплошности свай подробно отражены в американских стандартах: ASTM D5882-2016, ASTM D6760-2016, ASTM D7949-2014 [9–11], на которые ориентируются производители оборудования и испытатели свай во всем мире. Во многих странах существуют свои национальные стандарты, положения которых схожи со стандартами ASTM, например, в Китае – JGJ 106-2014 [12].

Применению неразрушающих методов контроля сплошности буронабивных свай благоприятствуют следующие факторы:

- затрудненность или невозможность применения методов прямого контроля качества, их трудоемкость и высокая стоимость;
- контраст физико-механических свойств бетона и окружающих грунтов.

2. Основные методы контроля сплошности буронабивных свай

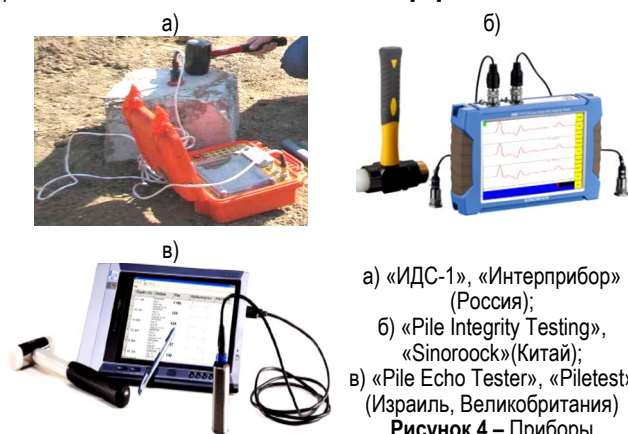
Работа по оценке целостности изготовленных буронабивных свай сейсмоакустическим, межскважинным ультразвуковым, термометрическим методами (односважинный ультразвуковой, параллельный сейсмический и другие методы не рассмотрены как менее применимые) состоит из тестирования свай на строительной площадке и интерпретации полученных результатов с помощью программного обеспечения при камеральной обработке в лабораторных условиях. Схемы проведения испытаний буронабивных свай на сплошность сейсмоакустическим, ультразвуковым, термометрическим методами представлены на рисунке 3.



1 – буронабивная свая; 2 – дефект в стволе сваи; 3 – диагностические трубки; 4 – регистрирующий блок прибора для сбора и обработки данных; 5 – ударный молоток (создание упругой волны); 6 – переставной приемник упругой волны; 7 – ультразвуковые преобразователи (передатчик и приемник); 8 – барабан с кабелем и направляющая катушка кабеля; 9 – направление волны прозвучивания; 10 – термозонд с инфракрасными датчиками; 11 – направление замера температуры инфракрасными датчиками
Рисунок 3 – Схемы проведения испытаний буронабивных свай сейсмоакустическим (а), ультразвуковым (б), термометрическим (в) методами

Сейсмоакустический метод (low strain stress method) контроля сплошности свай, как наиболее распространенный сегодня, был описан и применен на практике в 1960-х годах. Принцип действия сейсмоакустических средств основан на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых в контролируемых сваях с помощью ударного импульса, переданного на верхний конец сваи. После удара молотком по голове сваи продольная волна распространяется по стволу сваи и на границе раздела сред (бетон – инородное включе-

ние или грунт) звуковая волна отражается. Прохождение волны в стволе сваи улавливается ультразвуковым датчиком, закрепленным на ее оголовке, оцифровывается и анализируется акселерометром прибора (рисунок 4). После дополнительной автоматической обработки сигналов выводится рефлектограмма – график изменения скорости звуковой волны во времени или по длине сваи, которая сравнивается с наиболее характерными рефлектограммами (таблица 2 [13]). Их анализ позволяет определить длину сваи и установить наличие дефекта по длине ствола без определения его формы и занимаемого объема. «Если рефлектограмма на приборе соответствует типовой (за исключением последней), это означает, что мы можем объяснить значение того, что имеем. В последнем случае необходимо выбрать другое место на свае для повторного тестирования. Если все попытки оказались неудачными, значит, свая не была достаточно подготовлена для тестирования, или структура сваи просто не поддается звуковому тестированию, что может говорить о низком качестве изготовления сваи» [13].



а) «ИДС-1», «Интерприбор» (Россия);
 б) «Pile Integrity Testing», «Sinorooк»(Китай);
 в) «Pile Echo Tester», «Piletest» (Израиль, Великобритания)
Рисунок 4 – Приборы сейсмоакустического метода контроля свай

Таблица 2 – Типовые рефлектограммы для «Pile Echo Tester» [13]

СВАЯ	ОПИСАНИЕ	РЕФЛЕКТОГРАММА
	Прямая свая, свободный конец длиной, как ожидалось	
	Прямая свая с закрепленным концом, длиной, как ожидалось	
	Прямая свая, свободный конец, короче, чем ожидалось	
	Повышенное сопротивление	
	Сниженное сопротивление	
	Локально увеличенное сопротивление	
	Локально уменьшенное сопротивление	
	Многочисленные отражения в середине длины – нет донного отражения	
	Нерегулярные профили – нерегулярные рефлектограммы	

Контроль сплошности сейсмоакустическим методом может быть реализован, если проведение его не было предусмотрено проектной документацией и не требует дополнительных затрат при устройстве свай по любой технологии. Метод имеет ряд ограничений и, как правило, не определяет:

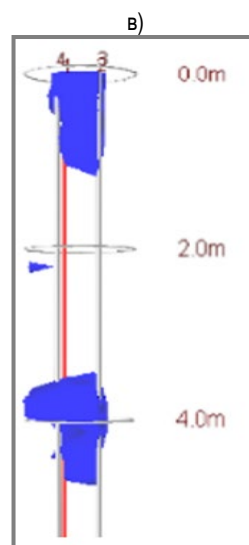
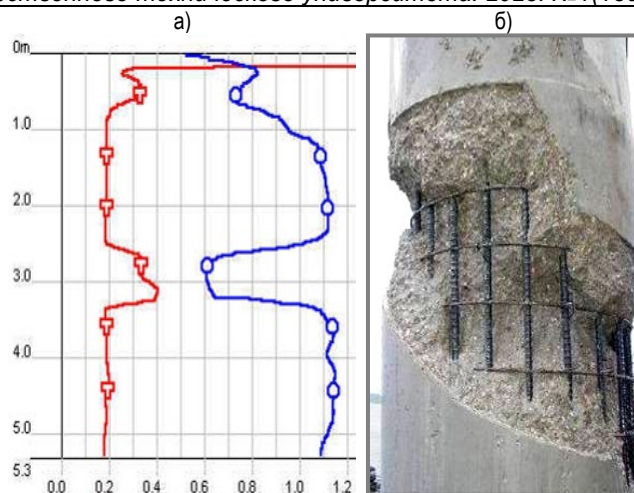
- отражение звуковой волны от нижнего конца сваи, когда соотношение длины сваи к диаметру (L/D) выходит свыше 20 (в очень плотных и прочных грунтах) и до 60 (для грунтов средней прочности и слабых);
- прогрессивные изменения формы сваи в поперечном сечении (проявляется при несоответствии выбранной технологии устройства сваи, ее параметров бурения грунтовым условиям площадки), образующиеся при устройстве свай по технологии непрерывного полого шнека, струйной цементации, в буроинъекционных сваях;
- незначительные включения дефектов, занимающие до 20–25 % поперечного сечения сваи, и наличие дефектов в коротких сваях;
- особенности сплошности сваи, расположенные ниже трещины или крупного включения в стволе, которое занимает более 50 % поперечного сечения сваи;
- наличие шлама под нижним концом сваи, а также дефекты на концах свай;
- длину составных свай и отклонение длины сваи на ± 10 %;
- отклонения от прямой линии и от вертикальной оси сваи;
- несущую способность сваи.

Межскважинный ультразвуковой метод (crosshole ultrasonic monitor – CHUM) был разработан в конце 1970-х годов. По этому методу в сваях заранее на всю их длину закладываются металлические трубки для прохождения в них ультразвукового преобразователя. Количество трубок зависит от диаметра сваи. В практике работ используют пьезоэлектрические и электроакустические преобразователи. Акустического контакта достигают путем заливки труб водой или незамерзающей жидкостью (при температуре ниже 0°C). Сущность метода состоит в контроле сплошности бетона, заключенного между трубками. Присутствие на пути волн каких-либо дефектов в бетоне уменьшает скорость прохождения ультразвукового импульса, его амплитуду и изменяет форму принимаемого сигнала. Большую роль в наиболее полном выявлении дефектов бетона играют расположение трубок по периметру сваи, их число, материал, из которого они изготовлены, а также характер установки их по длине сваи. При использовании приборов (рисунок 5) для межскважинного мониторинга свай могут быть обнаружены дефекты, занимающие более 15–20 % сечения сваи (рисунок 6).



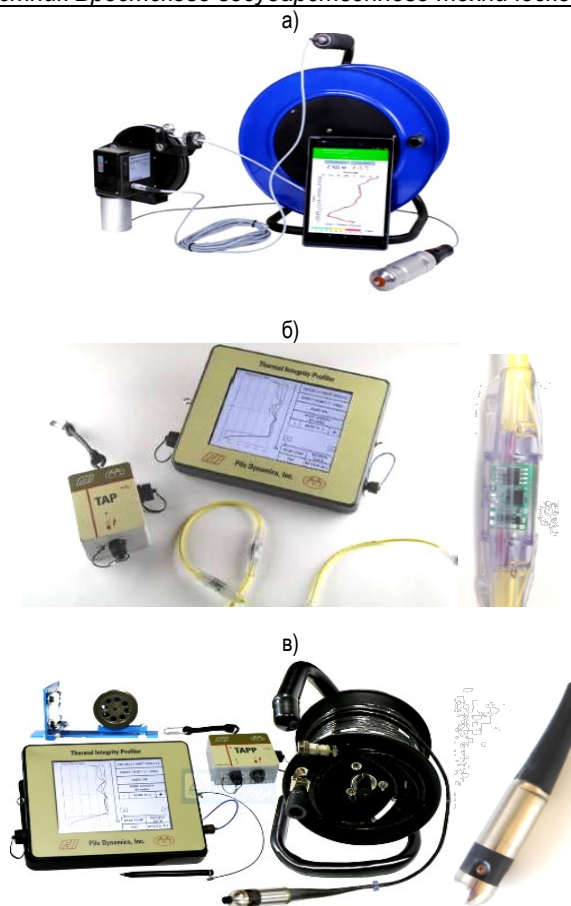
а) «ДБС-1», «Интерприбор» (Россия);
 б) «Ultra Sonic Pile Integrity Tester», «Sinoroock»(Китай);
 в) «Cross Hole Ultrasonic Monitor», «Piletest» (Израиль, Великобритания)

Рисунок 5 – Приборы для ультразвукового межскважинного мониторинга сплошности свай



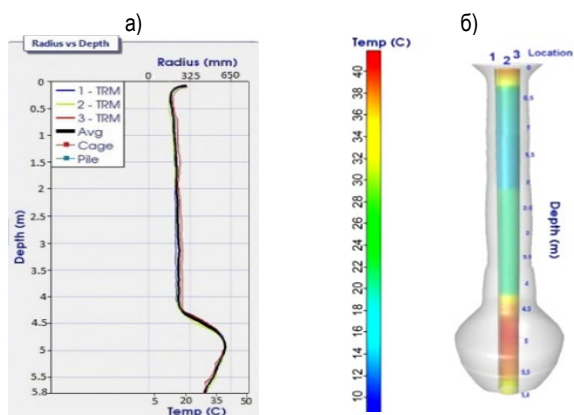
а) графики ультразвукового импульса между датчиками;
 б) общий вид дефекта ствола откопанной буронабивной сваи;
 в) 3D-модель дефектов буронабивной сваи
Рисунок 6 – Определение сплошности ствола буронабивной сваи в ОАО «Буровая компания «Дельта» прибором «Cross Hole Ultrasonic Monitor», «Piletest» (Израиль, Великобритания) [14]

Термометрический метод разработан в конце 1990-х годов в университете Южной Флориды, а в конце 2000-х годов компания «PDI» (США) представила первый аппаратный комплекс «Thermal Integrity Profiler» (TIP). Основной принцип термометрического метода контроля сплошности свай заключается в замере температуры бетона, повышающейся в результате экзотермических реакций при гидратации и твердении цемента и достигающей максимальных значений в $55\text{--}65^{\circ}\text{C}$ через 24–48 часов после бетонирования. Величина саморазогрева бетона зависит от состава бетонной смеси, диаметра устраиваемой сваи и ее однородности. Для контроля сплошности на всю длину сваи необходимо закладывать металлические трубки для перемещения в них термозонда с инфракрасными датчиками или располагать термодатчики по стержням арматурного каркаса. Количество трубок или стержней, задействованных для измерения, зависит от диаметра сваи. В программное обеспечение аппаратных комплексов (рисунок 7), реализующих данный метод, заложены эмпирические зависимости диаметра сваи от температуры бетона, вариантов добавок и времени измерения. Совокупность замеров по длине сваи формирует график зависимости температуры от диаметра сваи или защитного слоя арматуры. Измерения в полевых условиях в режиме реального времени позволяют увидеть предварительный график кривой температуры, характеризующий общую форму скважины (рисунок 8).



а) «Термоскан» с термозондом, «Интерприбор» (Россия);
 б) «Thermal Integrity Profiler» с термодатчиками, «PDI» (США);
 в) «Thermal Integrity Profiler» с термозондом, «PDI» (США)

Рисунок 7 – Приборы для определения сплошности ствола сваи по температурному профилю



а) профили буронабивной сваи по датчикам;
 б) 3D-модель буронабивной сваи;
 в) общий вид откопанной буронабивной сваи
Рисунок 8 – Определение профиля буронабивной сваи в ОАО «Буровая компания «Дельта»» прибором «Thermal Integrity Profiler» с термозондом, «PDI» (США) [15]

На основании изложенных материалов в таблице 3 представлены возможности основных методов неразрушающего контроля по выявлению дефектов в буронабивных сваях. Из таблицы 3 следует, что обеспечить полную проверку качества стволов может быть затруднительно даже при использовании комбинации методов неразрушающего контроля, однако данные методы помогут выявить сваи со значительными дефектами.

Таблица 3 – Возможности основных методов при анализе дефектов буронабивных свай

Метод неразрушающего контроля	Тип дефектов буронабивных свай ⁹⁾				
	Дефект верхнего конца (1)	Дефект нижнего конца (2)	Дефект ствола (3)	Дефект защитного слоя бетона (4)	Дефект армирования (5)
Сейсмоакустический (low strain stress method)	-	-	+1)	-	±4)
Ультразвуковой (crosshole ultrasonic monitor – CHUM)		+2)		-	-
Термометрический (method for thermal integrity profiling – TIP)		+3)		+3)	-

Примечание – В таблице приняты следующие обозначения:
 «+» – обнаружение дефекта возможно; «-» – обнаружение дефекта невозможно.

1) Обнаружение дефекта производится по длине ствола без определения его типа и занимаемого объема.

2) Обнаружение дефекта возможно в пределах установленных труб для тестирования.

3) Обнаружение дефекта возможно с учетом установленных труб для тестирования или термодатчиков на каркасе.

4) Возможно определение длины продольного стержня каркаса, после выполнения дополнительных исследований.

5) Дефекты контакта сваи и окружающего грунта не определяются рассматриваемыми методами.

Заключение

Для обеспечения качественного выполнения свай необходим контроль на всех этапах как в процессе их устройства, так и по завершении, что гарантирует надежность эксплуатации зданий и сооружений. В отличие от свай заводского изготовления сваи, изготавливаемые в грунте, требуют особого внимания к качеству производства работ и требуют знаний особенностей технологий их выполнения в данных грунтовых условиях строительной площадки. Трудоемкость и невозможность применения традиционных методов контроля качества буронабивных свай могут быть компенсированы применением неразрушающих методов контроля их сплошности. Использование основных неразрушающих методов контроля (сейсмоакустического, ультразвукового, термометрического) должно быть закреплено в практике проектирования и строительства Республики Беларусь, а также внесено в разрабатываемые национальные ТНПА. В них следует отразить возможности и ограничения методов, рекомендуемый объем контроля (должен учитывать уровень ответственности сооружения, величины нагрузок на фундаменты, тип свайного фундамента, количество и размеры свай в ростверке, а также прочие конструктивные особенности), требования к оборудованию и квалификации исполнителя, требования к программе производства работ и составлению отчета и другие факторы.

Список цитированных источников

1. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность : ТР 2009 / 013 / ВУ. – Минск : Госстандарт, 2015. – 25 с.
2. Строительство. Устройство свайных фундаментов. Контроль качества работ : СТБ 1164.3-2009. – Минск : Госстандарт, 2010. – 12 с.
3. Jones, W.C. Experiences with Cross-hole Sonic Logging and Concrete Coring for Verification of Drilled Shaft Integrity / W. C. Jones, Y. Wu // Proceedings GEO Construction Quality Assurance, Dalas, 12–16 Nov. 2005 / Quality Control Technical Conference. – Dallas-Ft., Worth TX, 2005. – P. 376–387.
4. Camp, B. Crosshole Sonic Logging of South Carolina Drilled Shafts: A Ten Year Summary / B. Camp // Presentation to ADSC Expo 2012, San Antonio, 20 March 2012. – 18 p.

5. O'Neill, M. W. Drilled Shafts. Construction procedures and design methods : technical report (final) : FHWA IF-99-025 / M. W. O'Neill, L. C. Reese. – Irvine, CA, 1999. – 758 p.
6. Geotechnical engineering circular № 8. Design and construction of continuous flight auger (CFA) Piles : technical report (final) : FHWA HIF-07-03 / D. A. Brown [et al.]. – Columbia, Maryland, 2007. – 293 p.
7. Богов, В. С. Проблемы устройства свайных оснований в городской застройке в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга / В. С. Богов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2008. – № 8. – С. 119–128.
8. Грунты. Методы полевых испытаний сваями : СТБ 2242-2011. – Минск : Госстандарт, 2012. – 37 с.
9. Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations : ASTM D5882-16. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. – 6 p.
10. Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing : ASTM D6760-16. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. – 8 p.
11. Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations : ASTM D7949-14. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2014. – 7 p.
12. Technical code for testing of building foundation piles : JGJ 106-2014. – Beijing: Ministry of Construction of China, 2014. – 71 p.
13. Руководство пользователя Pile Echo Tester (Эхо-тестер свай). – М. : PileTest, 2012. – 33 с.
14. Контроль сплошности буронабивных свай методом ЧУМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bkdelta.ru/kontrol-sploshnosti-buronabivnyh-svaj-chum/>. – Дата доступа: 30.11.2022.
15. Замер уширения свай термометрическим методом ТИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bkdelta.ru/zamer-ushireniya-svaj-termometricheskij-metodom-tip/>. – Дата доступа: 30.11.2022.
5. O'Neill, M. W. Drilled Shafts. Construction procedures and design methods : technical report (final): FHWA IF-99-025 / M. W. O'Neill, L. C. Reese. – Irvine, CA, 1999. – 758 p.
6. Geotechnical engineering circular № 8. Design and construction of continuous flight auger (CFA) Piles: technical report (final): FHWA HIF-07-03 / D. A. Brown [et al.]. – Columbia, Maryland, 2007. – 293 p.
7. Bogov, V. S. Problemy ustrojstva svajnyh osnovanij v gorodskoj zastrojke v usloviyah slabych gruntov Sankt-Peterburga / V. S. Bogov // Rekonstrukciya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo. – 2008. – № 8. – С. 119–128.
8. Grunty. Metody polevyh ispytaniy svayami: STB 2242-2011. – Minsk : Gosstandart, 2012. – 37 s.
9. Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations: ASTM D5882-16. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. – 6 p.
10. Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing : ASTM D6760-16. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. – 8 p.
11. Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations: ASTM D7949-14. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2014. – 7 p.
12. Technical code for testing of building foundation piles. JGJ 106-2014. – Beijing: Ministry of Construction of China, 2014. – 71 p.
13. Rukovodstvo pol'zovatelya Pile Echo Tester (Ekho-tester svaj). – М. : PileTest, 2012. – 33 s.
14. Kontrol' sploshnosti buronabivnyh svaj metodom CHUM [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://bkdelta.ru/kontrol-sploshnosti-buronabivnyh-svaj-chum/>. – Data dostupa: 30.11.2022.
15. Zamer ushireniya svaj termometricheskij metodom TIP [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://bkdelta.ru/zamer-ushireniya-svaj-termometricheskij-metodom-tip/>. – Data dostupa: 30.11.2022.

Материал поступил 12.01.2023, одобрен 10.02.2023, принят к публикации 10.02.2023

References

1. Zdaniya i sooruzheniya, stroitel'nye materialy i izdeliya. Bezopasnost': TP 2009 / 013 / BY. – Minsk : Gosstandart, 2015. – 25 s.
2. Stroitel'stvo. Ustrojstvo svajnyh fundamentov. Kontrol' kachestva rabot: STB 1164.3-2009. – Minsk : Gosstandart, 2010. – 12 s.
3. Jones, W. C. Experiences with Cross-hole Sonic Logging and Concrete Coring for Verification of Drilled Shaft Integrity / W. C. Jones, Y. Wu // Proceedings GEO Construction Quality Assurance, Dallas, 12–16 Nov. 2005./ Quality Control Technical Conference. – Dallas-Ft., Worth TX, 2005. – P. 376–387.
4. Camp, B. Crosshole Sonic Logging of South Carolina Drilled Shafts: A Ten Year Summary / B. Camp // Presentation to ADSC Expo 2012, San Antonio, 20 March 2012. – 18 p.