

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

TRANSPORT CONSTRUCTION

Основан в 1931 г. Выходит 12 раз в год

71/2018

ISSN 0131-4300



С ДНЁМ СТРОИТЕЛЯ!

МОСТОСТРОЕНИЕ

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

МЕТРОПОЛИТЕНА

Контроль сплошности буронабивных свай методом межскважинной ультразвуковой томографии

ЛОЗОВСКИЙ И.Н., зав. лабораторией, ООО «ЭГЕОС», Москва; науч. сотрудник ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Москва, Троицк; ЧУРКИН А.А., инженер-геофизик, ООО «ЭГЕОС»; асп. МГУ им. Ломоносова, Москва

Аннотация

Выполнен контроль сплошности бетона буронабивных свай фундаментов автодорожной эстакады ультразвуковым методом. Для уточнения геометрических размеров и местоположения аномальных зон проведены дополнительные исследования по методике межскважинной ультразвуковой томографии. По результатам исследований внесены изменения в технологию бетонирования свай.

Ключевые слова

Буронабивные сваи, исследования свай, контроль сплошности свай, неразрушающий контроль, сейсмическая томография, ультразвуковая дефектоскопия, ультразвуковая томография, фундаменты глубокого заложения

Abstract

The control of integrity of concrete of bored piles of the foundations of a road overpass by ultrasonic method is carried out. To clarify the geometric dimensions and location of abnormal zones, additional studies have been carried out on the method of ultrasonic cross-borehole tomography. Based on the results of the research, changes were made to the technology of concrete piles pouring.

Keywords

Bored piles, deep foundations, non-destructive testing, pile integrity testing, seismic tomography, ultrasonic flaw detection, ultrasonic tomography

Буронабивные сваи (БНС) широко применяются в основании фундаментов мостовых сооружений и других объектов транспортного строительства. Нарушение технологии изготовления БНС может приводить к образованию дефектов, снижающих несущую способность и долговечность конструкций, что ставит под угрозу безопасность сооружений.

Для оценки качества бетона БНС затруднено применение прямых методов контроля. В связи с этим распространение получили косвенные неразрушающие методы (ультразвуковой, сейсмо-

акустический, термометрический и др.), которые позволяют делать выводы о качестве бетона свай путем анализа параметров физических полей различной природы [5].

Ультразвуковой метод используется для контроля сплошности бетона буронабивных свай начиная с конца 1960-х гг. Применение метода регламентируется нормативными документами, принятыми во многих странах мира, в том числе стандартом ASTM D6760 [3].

В соответствии с требованиями [1] ультразвуковым методом должно испытываться не менее 30% свай в ростверке каждой опоры (но не менее четырех в ростверке) или 100% свай в безростверковых опорах.

Ультразвуковой метод контроля сплошности бетона буронабивных свай

Контроль сплошности бетона свай ультразвуковым методом основан на определении параметров ультразвуковых волн (скорость распространения и затухание), распространяющихся между установленными в составе арматурного каркаса трубами доступа, с целью получения выводов о сплошности бетона конструкции.

Скорость распространения ультразвуковых волн в бетоне требуемого качества обычно составляет 3500–4500 м/с. Наличие в свае инородных включений (грунт, шламовый материал, вода, бентонит, пустоты и т.д.) приводит к локальному снижению скорости распространения ультразвуковых волн и повышению значений затухания зарегистрированного сигнала.

Исследования буронабивных свай ультразвуковым методом позволяют обнаружить зоны нарушения сплошности бетона, расположенные в пределах плоскостей между осями труб доступа, локализовать их по глубине и производить оценку их расположения в пределах сечения свай.

Размер аномальных зон, которые можно выявить методом, сопоставим с длиной волны и зависит от центральной частоты ультразвуковых преобразователей, положения зоны в пределах контролируемой области, расстояния между трубами доступа, физических свойств зоны и пр. [8].

Аномалии параметров ультразвуковых волн могут быть вызваны не только нарушением сплошности бетона конструкции, но и нарушением контакта (пустотами) между трубами доступа и бетоном в верхней части конструкции, наклоном труб доступа относительно оси арматурного каркаса сваи и др. причинами [2].

Испытания ультразвуковым методом проводятся по методике параллельных прозвучиваний. В одну трубу доступа до нижней отметки погружают источник ультразвуковых волн, а в другую – приемник ультразвуковых волн (рис. 1). Источник и приемник синхронно поднимают и с заданным шагом производят возбуждение и регистрацию ультразвуковых сигналов. Контроль сплошности бетона выполняется для каждой пары труб доступа, установленных в конструкцию.

Зарегистрированные данные передаются на персональный компьютер для дальнейшей обработки и визуализации в виде графиков изменения скорости и затухания от глубины и «водопадных» диаграмм [2, 3].

Межскважинная ультразвуковая томография

Метод межскважинной сейсмической томографии широко применяется в инженерной, рудной и нефтяной геофизике для изучения характеристик массивов горных пород в пространстве между скважинами путем возбуждения и приема упругих волн с использованием встречных веерных систем наблюдений [4]. Данная методика может быть применена для контроля качества бетона БНС: вместо скважин используются трубы доступа, упругие волны возбуждаются в ультразвуковом диапазоне частот. Дополнительные исследования БНС по методике межскважинной ультразвуковой томографии позволяют производить оценку геометрических размеров, местоположения и физических свойств зон нарушений сплошности бетона сваи, выявленных ультразвуковым методом.

В основе томографической съемки лежит покрытие области исследований сетью заданных



Рис. 1. Контроль сплошности буронабивных свай ультразвуковым методом

направлений распространения волн с целью реконструкции параметров исследуемой среды. Для этого ультразвуковые преобразователи погружаются в трубы доступа до нижней отметки области исследований. Положение источника фиксируется, приемник перемещается до верхней отметки области исследований, с заданным шагом производится регистрация сигналов. Цикл измерений повторяется для набора положений источника, определяемого шагом измерений (рис. 2).

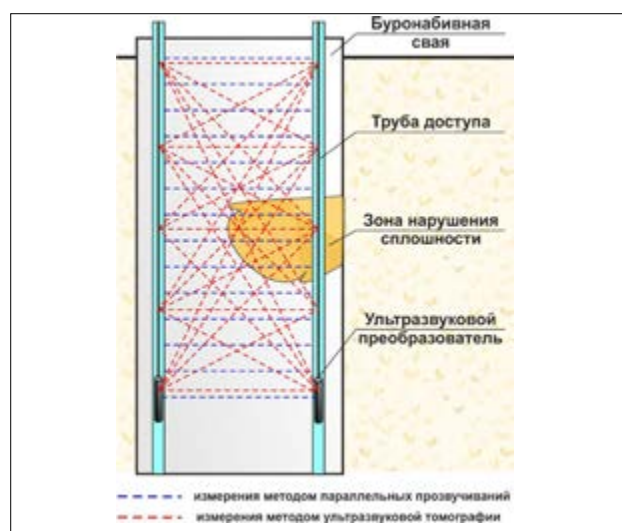


Рис. 2. Методика проведения измерений

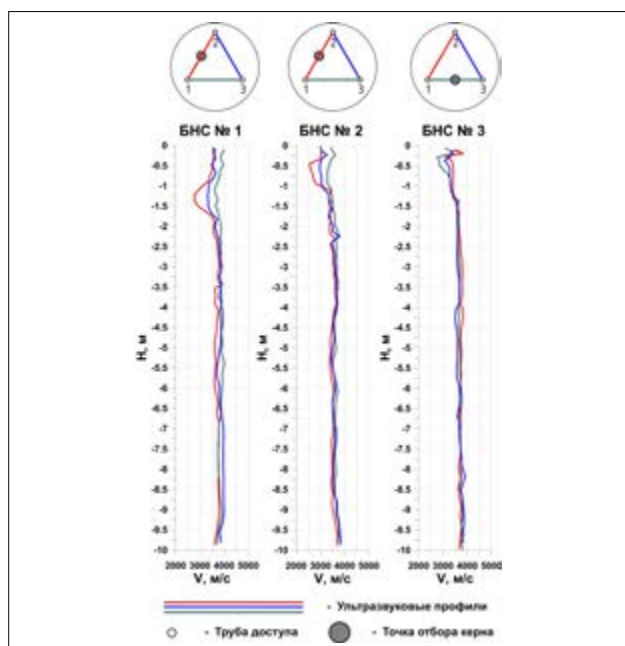


Рис. 3. БНС № 1-3. Графики скорости распространения ультразвуковых волн в зависимости от глубины

Для решения обратной задачи исследуемая область разбивается на ячейки и, исходя из априорных данных, задается стартовая модель. Для зарегистрированного массива данных производится расчет времен пробега и соответствующих лучевых траекторий. Расчет значений скорости для каждой ячейки производится с применением математических методов путем последовательных приближений [4].

Результаты исследований представляются в виде карт или трехмерных моделей значений скорости распространения волн.

Исследования свай опор автодорожной эстакады в Московской обл.

На этапе сооружения фундаментов автодорожной эстакады в Московской обл. был проведен контроль сплошности бетона буронабивных свай ультразвуковым методом. Диаметр БНС – 1200 мм; длина БНС – 10–14 м; класс бетона – В25. БНС изготовлены станками вращательного бурения с применением извлекаемых обсадных труб. В составе арматурного каркаса каждой БНС установлены три трубы доступа для проведения ультразвукового контроля. Для испытания свай использовался комплект оборудования ПУЛЬСАР-2.2 «ДБС» компании ООО НПП «ИНТЕРПРИБОР» (Россия, г. Челя-

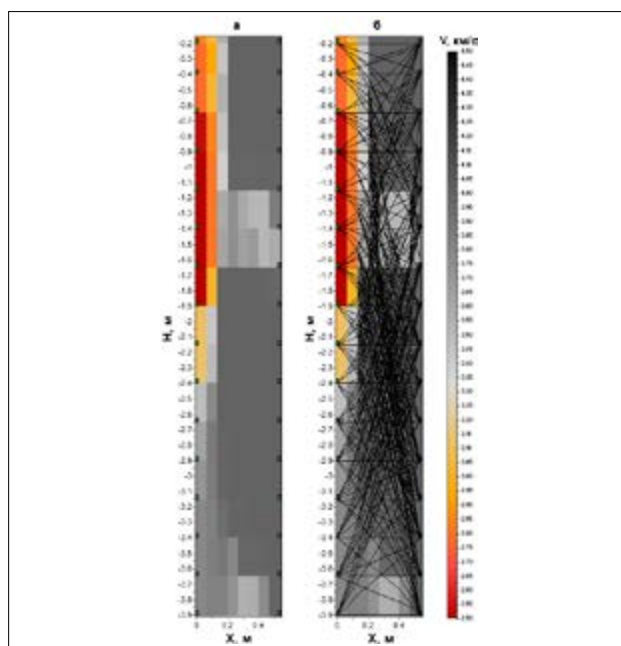


Рис. 4. БНС № 1. Профиль измерений 1-2: а – карта распределения скорости ультразвуковых волн; б – карта распределения скорости ультразвуковых волн с нанесенными лучевыми траекториями

бинск). Центральная частота ультразвуковых преобразователей – 35 кГц.

На первом этапе работ были проведены испытания десяти БНС ультразвуковым методом (по стандартной методике параллельных прозвучиваний). В пяти сваях были выделены аномальные зоны в верхней части ствола (рис. 3). Снижение скорости распространения ультразвуковых волн в аномальных зонах (до 2500–2750 м/с) составило для ряда профилей измерений более 25% от среднего значения скорости на профиле. Повторные измерения, выполненные через несколько дней, подтвердили полученные результаты.

Учитывая результаты исследований, Заказчиком было принято решение об отборе кернов на глубину 3 м из свай с выявленными аномальными зонами. Точки извлечения кернов были выбраны по центру между парами труб доступа, для которых были зарегистрированы наиболее значительные аномалии. Осмотр извлеченных образцов и результаты испытания образцов бетона, полученных из кернов, разрушающим методом не выявили снижения прочности бетона свай относительно проектных требований. Оставшиеся после извлечения кернов отверстия были забетонированы.

Для уточнения геометрических размеров и местоположения аномальных зон проведены дополнительные исследования по методике межскважинной ультразвуковой томографии.

Для профиля измерений 1–2 БНС № 1 исследования производились в диапазоне отметок от 0,1 до –4 м (относительно верха бетона сваи); шаг измерений составил 25 см и для источника, и для приемника ультразвуковых волн.

Решение обратной задачи производилось в программном комплексе ZondST2D (Zond Software, г. Санкт-Петербург, Россия) по методике лучевой межскважинной томографии [6].

Область исследований была разделена на 11 ячеек по горизонтали и на 18 ячеек по вертикали. В качестве стартовой модели выбрана модель с линейно уменьшающейся снизу вверх с 3,8 до 3,4 км/с скоростью (принятая по данным метода параллельных прозвучиваний). Подбор скорости был ограничен диапазоном 1,0–4,0 км/с.

Решение обратной задачи производилось методом наименьших квадратов в два этапа: с использованием сглаживающего оператора (30 итераций); с использованием сглаживающего оператора и дополнительной фокусировкой контрастности (30 итераций).

На полученной в результате расчета карте распределения скорости ультразвуковых волн в диапазоне относительных отметок от –1,9 до –0,65 м была локализована узкая аномальная зона, примыкающая к одной из труб доступа, характеризующаяся падением скорости до 2,5 км/с (рис. 4). Ширина аномальной зоны не превышает нескольких сантиметров и не может быть точно определена в связи с ограничениями разрешающей способности метода [7].

Выводы

На основании анализа данных ультразвуковой томографии сделано предположение, что причина возникновения узких аномальных зон у труб доступа в верхней части некоторых испытываемых свай заключается в нарушении контакта между бетоном и трубами доступа в результате укладки бетона повышенной жесткости.

Предложено скорректировать состав бетонной смеси и применить виброуплотнение

бетона на глубину не менее 3 м во всех сваях. После внесения изменений в технологию бетонирования аномальных зон в верхней части свай (испытано более 80 шт.) по данным ультразвукового метода зарегистрировано не было.

В отдельных случаях определить достоверно сплошность бетона свай ультразвуковым методом по стандартной методике испытаний не представляется возможным. Проведение дополнительных исследований по методике межскважинной ультразвуковой томографии позволило уточнить геометрические размеры и местоположение аномальных зон и избежать ложных выводов о качестве испытываемых конструкций.

Литература

1. СП-46.13330.2012. Мосты и трубы.
2. СТО ЭГЕОС 1–1.1–001–2018. Применение неразрушающего контроля сплошности свай ультразвуковым методом. – М., 2018.
3. ASTM D6760–16, Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing – West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2016.
4. Болгаров А.Г., Рослов Ю.В. Межскважинная сейсмическая томография для решения инженерно-геологических задач // Технологии сейсморазведки. – 2009. – № 1. – С. 105–112.
5. Капустин В.В., Хмельницкий А.Ю. Проблемы малоуглубинной сейсморазведки и георадиолокации в составе инженерно-геологических изысканий. Применение волновых методов для неразрушающего контроля фундаментных конструкций: учеб. пособие. – М.: Университетская книга, 2013.
6. Программа двумерной обработки и интерпретации сейсмических данных (наземный, скважинный и акваторный варианты). ZONDST2D. Руководство пользователя. – Режим доступа: <http://zond-geo.ru/software/seismic/zondst2d> (дата обращения: 26.03.2018).
7. Шишкина М.А., Фокин И.В., Тихоцкий С.А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой сейсмической томографии // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 5–21.
8. Amir J.M, Amir E. I. Capabilities and limitations of cross hole ultrasonic testing of piles // Proc. Conf. Contemporary topics in deep foundation. – Orlando.: ASCE GSP 185, 2009.

Для связи с авторами:

Алексей Андреевич Чуркин, 8 (495) 232-55-52,
доб. 174, piles@aigeos.ru