

ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

TRANSPORT CONSTRUCTION

Основан в 1931 г. Выходит 12 раз в год

10/2018

ISSN 0131-4300



Новая транспортная развязка на трассе М-4
«Дон» под Краснодаром (стр. 22)

МОСТОСТРОЕНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

ГЕОМЕХАНИКА

Неразрушающий контроль сплошности бетона буронабивных свай термометрическим методом

МУХИН А.А., ген. директор, ООО «ЭГЕОС», Москва; ЛОЗОВСКИЙ И.Н., зав. лабораторией, ООО «ЭГЕОС», науч. сотр., ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Троицк, Москва; ЧУРКИН А.А., инж.-геофизик, ООО «ЭГЕОС», асп., МГУ им. Ломоносова, Москва

Аннотация

Изложены основные принципы термометрического метода – нового направления неразрушающего контроля сплошности бетона фундаментов глубокого заложения, основанного на измерении температуры в процессе твердения бетона. Приведены результаты опытных работ ООО «ЭГЕОС».

Ключевые слова

Буронабивные сваи, дефектоскопия, контроль сплошности свай, неразрушающий контроль, термометрический метод, фундаменты глубокого заложения

Abstract

The paper describes general principles of the thermal integrity profiling as a new method for non-destructive testing of deep foundations based on temperature measurements during the concrete curing and provides some AIGEOS LLC case studies results.

Keywords

Bored piles, deep foundations, non-destructive testing, pile integrity testing, thermal integrity profiling

Обеспечение качества подземных конструкций из монолитного бетона, изготавливаемых в условиях непосредственного контакта с грунтом, является одной из наиболее сложных технических задач в строительстве и требует применения объективных методов контроля, в том числе неразрушающих.

Неразрушающий контроль качества фундаментов глубокого заложения в соответствии с требованиями нормативных документов [2, 3] осуществляется сейсмоакустическим и ультразвуковым методами, которые в силу своей физической природы не позволяют решать задачу контроля сплошности бетона для отдельных типов конструкций [6, 7].

Новый термометрический метод существенно дополняет возможности данных методов: по-

зволяет контролировать сплошность защитного слоя бетона над арматурой, производить оценку формы сваи, определять смещение и наклон арматурного каркаса [5, 6]. Метод позволяет получить информацию о качестве конструкции спустя часы после завершения бетонирования.

Разработка термометрического метода была начата в конце 1990-х гг. в Университете Южной Флориды (США). В конце 2000-х гг. компанией Pile Dynamics, Inc. (США) был разработан аппаратный комплекс Thermal Integrity Profiler (TIP). В 2014 г. был выпущен стандарт ASTM D7949–14 [1], регламентирующий применение термометрического метода.

В 2015 г. компания ООО «ЭГЕОС» совместно с предприятием ООО «СКБ Стройприбор» (г. Челябинск) разработала аппаратный комплекс ТДБС–МГ4, соответствующий требованиям [1]. На основе зарубежного и собственного опыта в 2017 г. в ООО «ЭГЕОС» был разработан стандарт организации [4], регламентирующий применение метода.

Теоретические основы метода

Контроль сплошности бетона фундаментов глубокого заложения термометрическим методом основан на измерении температуры в процессе твердения бетона через установленные в арматурном каркасе трубы доступа. В результате экзотермической реакции гидратации цемента в бетонной смеси происходит выделение тепла, количество которого зависит от объема цемента в исследуемой зоне, от состава бетонной смеси и от времени, прошедшего с начала гидратации.

Распределение температуры в процессе твердения бетона в идеальной цилиндрической свае

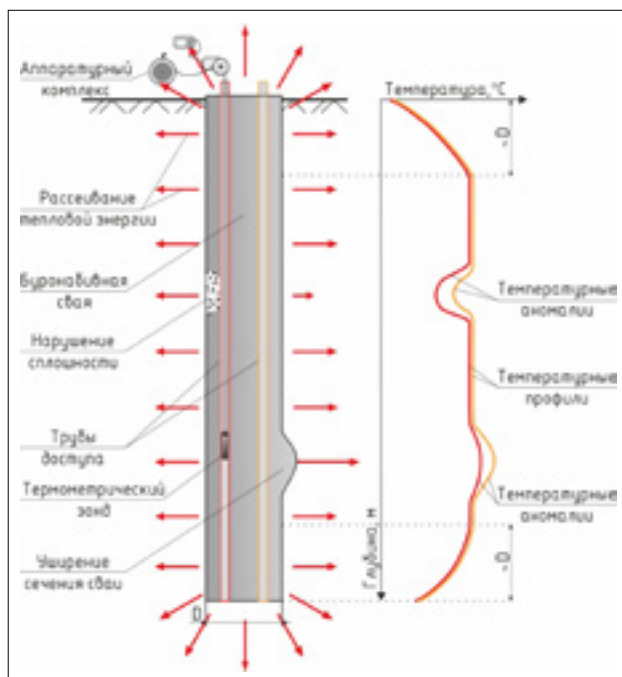


Рис. 1. Схема проведения испытаний термометрическим методом

в однородной среде неизменно по всей длине конструкции, за исключением участков длиной около одного диаметра сваи у верхнего и нижнего концов сваи, где наблюдается снижение температуры, связанное с выделением тепла не только в радиальном, но и в продольном направлении (рис. 1).

Локальное отклонение температуры в свае от нормы может свидетельствовать об изменении качества бетона или формы сваи на исследуемом участке. Наличие в свае сужений ствола и инородных включений (грунт, бетон с нарушенным составом, бентонит и др.) приводит к уменьшению количества тепла, выделяемого в данной зоне, и, как следствие, к локальному снижению температуры. Уширение ствола сваи приводит к увеличению количества тепла и к локальному повышению температуры. Чем ближе источник локального изменения выделяемого тепла расположен к трубам доступа, тем значительнее изменение температуры.

Изменения теплопроводности отдельных инженерно-геологических элементов могут также оказывать влияние на регистрируемые значения температуры. Поправки за теплопроводность вмещающей среды вводятся на этапе интерпретации данных.



Рис. 2. Проведение испытаний

Смещение или наклон арматурного каркаса сваи относительно ее оси приводит к пропорциональному отклонению значений температуры в свае, зарегистрированных в диаметрально противоположных трубах доступа, от средних значений.

Данные об объеме уложенного в сваю бетона могут быть использованы для расчета зависимости между зарегистрированными значениями температуры и формой сваи.

Методика проведения испытаний

Измерения термометрическим методом необходимо проводить в интервале времени, когда температура в свае близка к максимальному значению. Ориентировочный срок проведения испытаний обычно составляет 8–72 ч после окончания бетонирования сваи в зависимости от ее диаметра и от состава бетонной смеси.

Для проведения испытаний в тело сваи в составе арматурного каркаса устанавливают трубы доступа внутренним диаметром не менее 40 мм. Присутствие жидкостей (воды или бентонита) в трубах не допускается.

Измерения температуры проводят при опускании в трубы доступа термометрического зонда, оснащенного инфракрасными бесконтактными температурными датчиками (рис. 1, рис. 2).

После проведения измерений выполняют анализ, обработку и интерпретацию зарегистрированных данных с привлечением дополнительной априорной информации. На этапе обработки данных в температурные графики в области верхнего и нижнего концов сваи вводятся поправки за распространение тепла

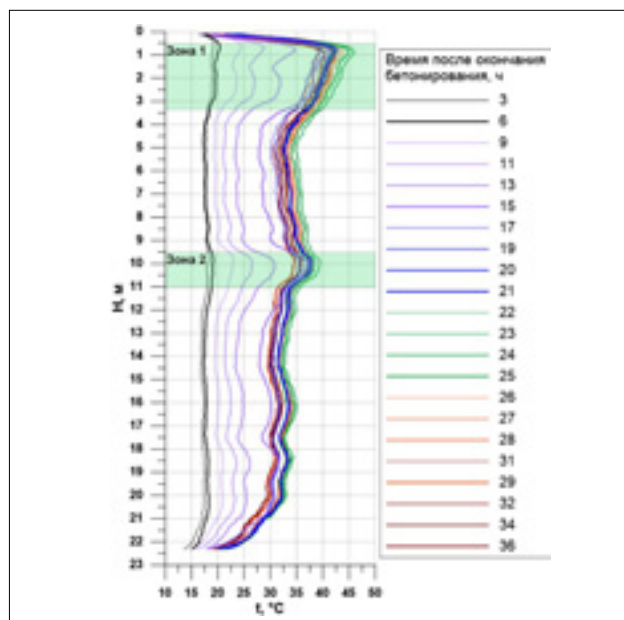


Рис. 3. Изменения температуры бетона в теле сваи по глубине в зависимости от времени после окончания бетонирования

в продольном направлении и, при необходимости, поправки за температуропроводность вмещающей среды.

Опытно-методические работы по определению оптимальных сроков измерений

Объект исследований – буронабивные сваи в основании автодорожного моста диаметром 1200 мм, длиной 22,5 м, изготовленные из бетона В35 F300 W8.

С целью определения оптимальных сроков проведения испытаний термометрическим методом был выполнен мониторинг изменения температуры в теле сваи (рис. 3). Мониторинг проводился на протяжении 36 ч после окончания бетонирования. Шаг между сериями измерений составил 1–3 ч.

На зарегистрированных температурных профилях были выделены две значительные аномальные зоны: зона повышенных значений температуры в интервале отн. отметок 0,5–3,2 м, интерпретируемая как увеличение сечения сваи в рыхлых отложениях речного русла (зона 1), и зона повышенных значений температуры в диапазоне отн. отметок 9,5–11,0 м, интерпретируемая как увеличение сечения сваи на отметках, соответствующих слою песка (зона 2).

По результатам мониторинга интервал времени, в который температура в свае близка к максимальному значению, составил от 17 до 36 ч после окончания бетонирования.

Проведение мониторинга изменения температуры рекомендуется выполнять на каждом объекте испытаний, на первой контролируемой свае. Определенные в результате мониторинга сроки проведения измерений могут быть использованы при планировании испытаний свай со сходными геометрическими размерами и свойствами бетонной смеси.

Опытно-методические работы по контролю сплошности «стены в грунте» термометрическим методом

Объект исследований – секция монолитной железобетонной «стены в грунте» 0,6 × 3,1 × 10,5 м, изготовленная из бетона В30 W12 F100. В секцию было установлено 8 труб доступа внутренним диаметром 40 мм.

На объекте испытаний выполнен контроль сплошности бетона термометрическим и ультразвуковым методами. Термометрические измерения были выполнены через 28 ч после бетонирования секции, ультразвуковые измерения проводились через 10 дней после бетонирования.

По результатам испытаний термометрическим методом выделены три аномальные зоны (рис. 4). На данных, зарегистрированных в трубах доступа 1, 3, 5, 7, выделена значительная положительная температурная аномалия в диапазоне абс. отметок 135,6–136,7 м, интерпретируемая как уширение сечения конструкции (зона 1). В расположенных со стороны котлована трубах доступа 2, 4, 6, 8 была выделена незначительная положительная аномалия (зона 2), с высокой точностью соответствующая местоположению установленной в конструкцию деревянной закладной детали, необходимой для отгиба арматурных выпусков в этом уровне на последующих этапах строительства. Причина повышения значений температуры связывается с теплоизолирующими свойствами материала детали.

Для всех труб доступа в нижней части конструкции зарегистрировано аномальное снижение значений температуры (зона 3). Эта зона

интерпретируется в качестве нарушения сплошности бетона.

По результатам испытаний ультразвуковым методом для всех пар труб доступа в нижней части конструкции зарегистрированы аномальное снижение значений скорости ультразвуковых волн и повышенные значения затухания сигнала (результаты для трех ультразвуковых профилей приведены на рис. 4), которые интерпретируются в качестве нарушения сплошности бетона мощностью до 40 см, что подтверждает результаты, полученные термометрическим методом.

Выводы

Термометрический метод – новое, перспективное направление неразрушающего контроля сплошности устраиваемых в грунте монолитных конструкций, основанное на измерении температуры в процессе твердения бетона.

Оперативное получение сведений о сплошности бетона в конструкции предоставляет уникальную возможность дать на начальном этапе производства работ оценку организации работ на площадке и в случае необходимости своевременно осуществить корректировку технологии производства работ.

Метод позволяет контролировать сплошность бетона как внутри, так и снаружи арматурного каркаса, производить оценку формы свай, определять смещение и наклон арматурного каркаса. Также он предоставляет потенциальную возможность контроля качества свай, изготавливаемых с применением напорного бетонирования, испытание которых другими методами может быть затруднено: буриноэжекторных, изготовленных по технологии полого шнека (CFA), с теряемым наконечником (Fundex), с применением раскатчика (DDS), а также изготовленных по разрядно-импульсной технологии (сваи-ПИТ).

Литература

1. ASTM D7949–14. *Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations* / ASTM International, West Conshohocken, PA. – 2014. – Режим доступа: <https://www.astm.org/Standards/D7949.htm>.
2. СП 45.13330.2017. *Земляные сооружения, основания и фундаменты.*

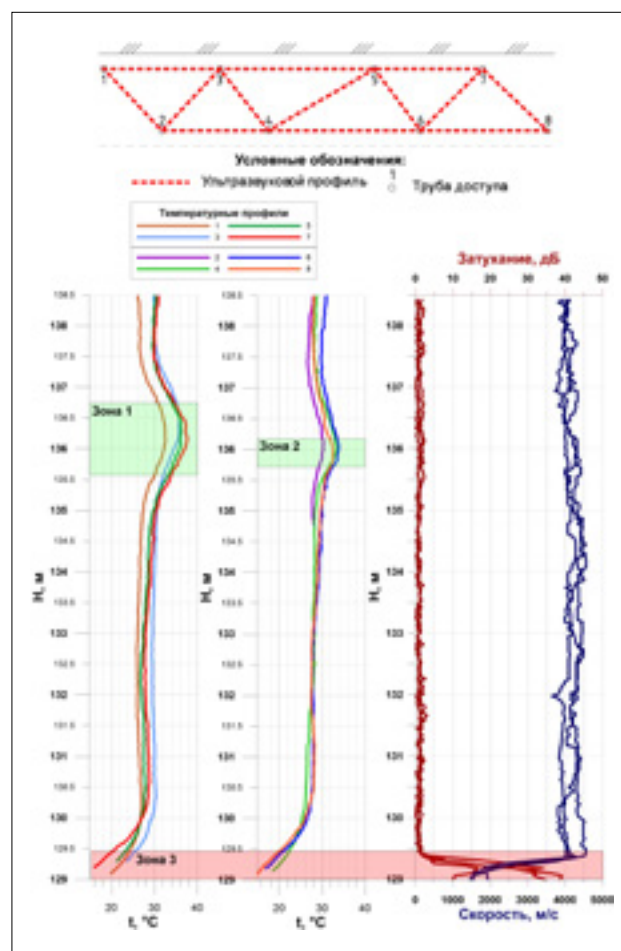


Рис. 4. Результаты контроля сплошности секции «стены в грунте» термометрическим (через 28 ч после бетонирования) и ультразвуковым методами

3. СП 46.13330.2012. *Мосты и трубы.*
4. СТО ЭГЕОС 1–1.3–001–2017. *Применение неразрушающего контроля сплошности буронабивных свай термометрическим методом* – М., 2017.
5. Johnson K. R. *Analyzing thermal integrity profiling data for drilled shaft evaluation* // *DFI Journal – The Journal of the Deep Foundations Institute*. 2016. Vol. 10. No. 1. P. 25–33. – DOI: 10.1080/19375247.2016.1169361.
6. Mullins G. *Thermal Integrity Profiling of Drilled Shafts* // *DFI Journal – The Journal of the Deep Foundations Institute*. 2010. Vol. 4. No. 2. P. 54–64.
7. Мухин А. А., Чуркин А. А., Лозовский И. Н. *Ограничения области применения сейсмоакустического метода контроля сплошности бетона свай* // *Транспортное строительство*. 2018. № 9. С. 20–24.

Для связи с авторами:
Алексей Андреевич Чуркин, 8 (495) 232-55-52,
доб. 174, piles@aigeos.ru