



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 2, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.05

УДК 624.152.63: 620.179.1

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА «СТЕН В ГРУНТЕ» ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А.А. Чуркин¹, И.Н. Лозовский²

¹ООО «ЭГЕОС», Москва, Россия

²Центр геоэлектромагнитных исследований – Филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Троицк, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 30 января 2020
Принята: 29 марта 2020
Опубликована: 30 июня 2020

Ключевые слова:

«стена в грунте», контроль качества «стен в грунте», неразрушающий контроль, контроль сплошности бетона, инженерная геофизика, ультразвуковой метод, термометрический метод.

АННОТАЦИЯ

«Стены в грунте» – подземные железобетонные конструкции, используемые для организации противодиффузионных завес, защиты бортов котлованов и передачи нагрузок от возводимых сооружений. Нарушения технологического процесса изготовления конструкций могут приводить к образованию дефектов. Для предотвращения неблагоприятных последствий перед разработкой котлована необходимо выполнять контроль сплошности бетона «стен в грунте» с применением неразрушающих геофизических методов.

Представлен обзор геофизических методов контроля качества «стен в грунте», основанных на возбуждении и регистрации физических полей через установленные в составе арматурного каркаса трубы доступа, в пробуренных рядом с конструкцией скважинах или на поверхности сооружения. Приведены основные возможности и ограничения методов.

Ультразвуковым методом исследован опытный участок траншейной «стены в грунте», устраиваемой для ограждения котлована при строительстве станции Московского метрополитена. Результаты параллельных просвечиваний позволили выделить аномальные зоны, интерпретируемые в качестве дефектов конструкции. Геометрические размеры одной из зон уточнены в результате применения межскважинной ультразвуковой томографии.

Для исследования траншейной «стены в грунте», возводимой в основании жилого дома, впервые в отечественной практике применен термометрический метод. Представлены результаты мониторинга температуры в процессе твердения бетона. По данным метода выявлена зона нарушения сплошности, превышение проектной отметки низа бетона и уширение поперечного сечения конструкции. Результаты термометрических измерений хорошо согласуются с данными ультразвукового контроля.

Совместное применение термометрического и ультразвукового методов может быть рекомендовано в качестве надежного инструмента контроля сплошности «стен в грунте» как траншейного, так и свайного типа. Для проведения измерений данными методами на этапе проектирования в арматурный каркас конструкции должны быть включены трубы доступа.

© ПНИПУ

© Чуркин Алексей Андреевич – руководитель отдела геофизики, e-mail: piles@aigeos.ru.
Лозовский Илья Николаевич – научный сотрудник, e-mail: piles@aigeos.ru.

Aleksei A. Churkin – Head of the Geophysical Department, e-mail: piles@aigeos.ru.
Ilya N. Lozovsky – Research Scientist, e-mail: piles@aigeos.ru.

QUALITY ASSURANCE OF DIAPHRAGM AND PILE WALLS BY GEOPHYSICS

A.A. Churkin¹, I.N. Lozovsky²

¹“AIGEOS” LLC, Moscow, Russian Federation

² Geoelectromagnetic Research Center, Branch of Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Troitsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 30 January 2020

Accepted: 29 March 2020

Published: 30 June 2020

Keywords:

diaphragm wall, secant pile wall quality control, nondestructive testing, concrete integrity testing, near-surface geophysics, crosshole ultrasonic logging, thermal integrity profiling.

ABSTRACT

Underground structures like diaphragm and pile walls are constructed to organize waterproof curtains, protect pit sides, and transfer loads from the structures. Violations of the construction technological process can lead to the formation of defects. To prevent adverse consequences, before excavation, it is necessary to control the integrity of the slurry walls using non-destructive geophysical methods.

A review of geophysical slurry wall quality control methods based on the excitation and registration of physical fields through access tubes installed in the reinforcement cage, in wells drilled near the structure or on the surface of the structure, is presented. The main capabilities and limitations of the methods are given.

Cross-hole ultrasonic logging was used to study the section of the slurry wall during the construction of the Moscow Metro station. The results of parallel soundings made it possible to identify anomalous zones, interpreted as defects. The geometric dimensions of one of the major defects were refined by ultrasonic tomography.

For the first time in Russian testing practice, thermal integrity profiling was applied to study the diaphragm wall at the base of a residential building. The results of temperature monitoring during the concrete hardening are presented. According to the method, a major flaw, excess of the design mark of the wall bottom and bulging of the structure were revealed. The results of thermal integrity profiling were verified by ultrasonic logging.

The combined use of thermal and ultrasonic methods can be recommended as a reliable tool for integrity testing of diaphragm and pile walls. To carry out the measurements, the access tubes shall be included in the reinforcement cage of the structure at the design stage.

© PNRPU

Введение

Для защиты бортов котлованов, устройства противофильтрационных завес, строительства подземных частей зданий или восприятия нагрузок от возводимых сооружений изготавливают железобетонные «стены в грунте». По способу устройства «стены в грунте» разделяются на изготавливаемые траншейным способом из последовательно выполняемых участков (захваток) (ТСГ, рис. 1, а) и свайные (ССГ), выполняемые из буросекущихся (рис. 1, б) или бурокасательных свай (рис. 1, в) [1, 2].

При возведении траншейных «стен в грунте» могут возникнуть следующие типы дефектов: трещины или заполненные посторонним материалом полости в теле отдельных захваток; шламовый слой в верхней и нижней частях конструкции; зазоры в областях стыковки захваток [3, 4]. При сооружении свайных «стен в грунте», помимо нарушения сплошности отдельных свай, возможны: появление зазоров, связанных с отклонением осей свай от проектной ориентации; деформация свай первой очереди при некорректном выборе интервала времени для изготовления свай второй очереди; разрушение свай первой очереди при неправильно выбранном размере зоны перекрытия между сваями первой и второй очереди [5, 6].

Дефекты в противофильтрационных завесах могут послужить причиной прорывов обводненных грунтов в котлованы, а снижение эффективности работы фундаментов – вызывать аварийные осадки и разрушение возводимых на них сооружений. Для предотвращения

ния неблагоприятных последствий перед разработкой котлована необходимо выполнять контроль сплошности бетона «стен в грунте» с применением неразрушающих геофизических методов, основанных на анализе искусственно возбужденных в конструкции физических полей различной природы.

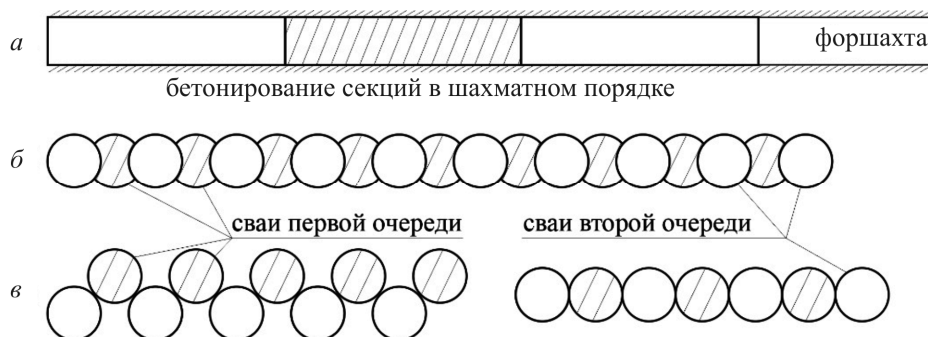


Рис. 1. Схема конструкций, устраиваемых способом «стена в грунте»: а – монолитная траншейная «стена в грунте»; б – свайная «стена в грунте» из буросекущихся свай; в – свайная «стена в грунте» из бурокасательных свай

Fig. 1. Diaphragm and pile walls types in: a – diaphragm wall; b – secant piles; c – tangent piles wall

1. Исследование «стен в грунте» геофизическими методами

Геофизические методы контроля качества «стен в грунте» различаются по способу возбуждения и регистрации физических полей: через установленные в составе арматурного каркаса трубы доступа, в пробуренных рядом с конструкцией скважинах или на поверхности сооружения.

Методы, основанные на проведении измерений через трубы доступа, обеспечивают максимальную разрешающую способность и позволяют наиболее надежно выполнять диагностику сооружений. Для проведения испытаний на стадии проектирования в арматурный каркас конструкции должны быть включены стальные или пластиковые трубы диаметром не менее 50 мм, равномерно распределенные по поперечному сечению конструкции.

Наиболее распространенная методика контроля заключается в возбуждении и регистрации в теле конструкции упругих волн в акустическом или ультразвуковом диапазоне частот [7–12]. Измерения выполняются не ранее чем через 5 дней после окончания бетонирования, после набора бетоном требуемой прочности.

Для проведения измерений по методике параллельного просвечивания в одну трубу доступа до нижней отметки погружают источник, а в другую – приемник упругих волн. Источник и приемник синхронно поднимают и с заданным шагом производят возбуждение и регистрацию волн. Нарушения сплошности конструкции (включения грунта, шламового материала, бентонита, бетона пониженной прочности и пр.) приводят к локальному снижению скорости распространения волн и повышению значений затухания зарегистрированного сигнала.

Измерения, выполненные по методике межскважинной сейсмической томографии, основанные на применении встречных веерных систем наблюдений, позволяют уточнить геометрические размеры, местоположение и физические свойства выявленных аномальных зон [11].

Длины волн в ультразвуковом диапазоне частот на порядок меньше длин волн в акустическом диапазоне, что обеспечивает более высокую разрешающую способность. Выявление нарушений сплошности малого размера особенно важно для обнаружения дефектов зоны контакта между соседними захватками или сваями [3, 5]. Существенным ограничением методики является невозможность сделать вывод о сплошности бетона конструкции за пределами плоскостей между осями труб доступа [12].

Новым и перспективным направлением контролем сплошности фундаментов глубокого заложения является термометрический метод, основанный на измерении температуры через трубы доступа [13–15]. Сроки проведения измерений определяются интервалом времени, в течение которого температура в конструкции близка к максимальному значению (обычно не ранее 8 и не позднее 48 ч после окончания бетонирования).

Метод испытаний позволяет выявить и локализовать по глубине изменения поперечного сечения конструкции, включения бетона с нарушенным составом или инородного материала (как внутри, так и снаружи арматурного каркаса), а также обнаружить смещение или наклон арматурного каркаса.

Для исследования готовой конструкции без установленных труб доступа применяют альтернативные методики контроля:

- ◆ Методы, использующие пробуренные около конструкции скважины (сейсмоакустические, георадиолокационные и радиоволновые просвечивания, вертикальное сейсмическое профилирование и др.), могут применяться как для определения глубины заложения конструкции [16], так и для оценки состояния контакта между соседними захватками ТСГ [4, 17].

- ◆ Методы электроразведки: методы постоянного тока могут использоваться для локализации нарушений сплошности неармированных «стен в грунте» [18], методика использования наземно-скважинных измерений – для определения глубины залегания и качества фундаментов [19].

- ◆ Методы профилирования (георадиолокационного или сейсмоакустического) вдоль верхней или боковой грани конструкции могут дать информацию о наличии дефектов и армировании в верхней части конструкции [20], возможности и ограничения данных методик нуждаются в уточнении.

2. Исследование опытного участка «стены в грунте» ультразвуковым методом

Для устройства ограждения котлована при строительстве станции Московского метрополитена был подготовлен проект траншейной «стены в грунте», отличающийся густым армированием и небольшим защитным слоем – 52 мм (рис. 2, а). Для уточнения возможности реализации проекта был изготовлен опытный участок конструкции размером 7×1×34 м (класс бетона – В40). В арматурный каркас захватки было установлено 24 стальных трубы внутренним диаметром 50 мм для выполнения ультразвукового контроля.

Измерения проводились спустя 9 сут после бетонирования конструкции с использованием комплекта оборудования «Пульсар 2.2 ДБС» (ООО «НПП Интерприбор», Россия). Центральная частота ультразвуковых датчиков – 35 кГц. Общее количество выполненных профилей измерений – 56 шт.

Результаты измерений ультразвуковым методом на диагональных профилях наблюдений представлены на рис. 2, б в виде разрезов изменения скорости распространения упру-

гих волн в зависимости от глубины погружения датчиков. Значениям скорости распространения ультразвуковых волн сопоставлены оттенки зеленого, желтого и красного цветов (зеленому цвету соответствуют значения скорости в бетоне приемлемого качества, желтому – в бетоне со сниженными физико-механическими характеристиками, красному – anomalously низкие значения скорости, связываемые с дефектами).

В верхней и нижней частях конструкции выделены многочисленные ультразвуковые аномалии, интерпретируемые в качестве нарушений сплошности защитного слоя. Яркая ультразвуковая аномалия у грани захватки была дополнительно исследована с использованием томографической съемки. По результатам инверсии полученных данных была уточнена форма обнаруженного дефекта (рис. 2, в).

Результаты исследования опытной захватки ультразвуковым методом указали на невозможность качественной реализации подготовленного проекта «стены в грунте», и в проект были внесены изменения.

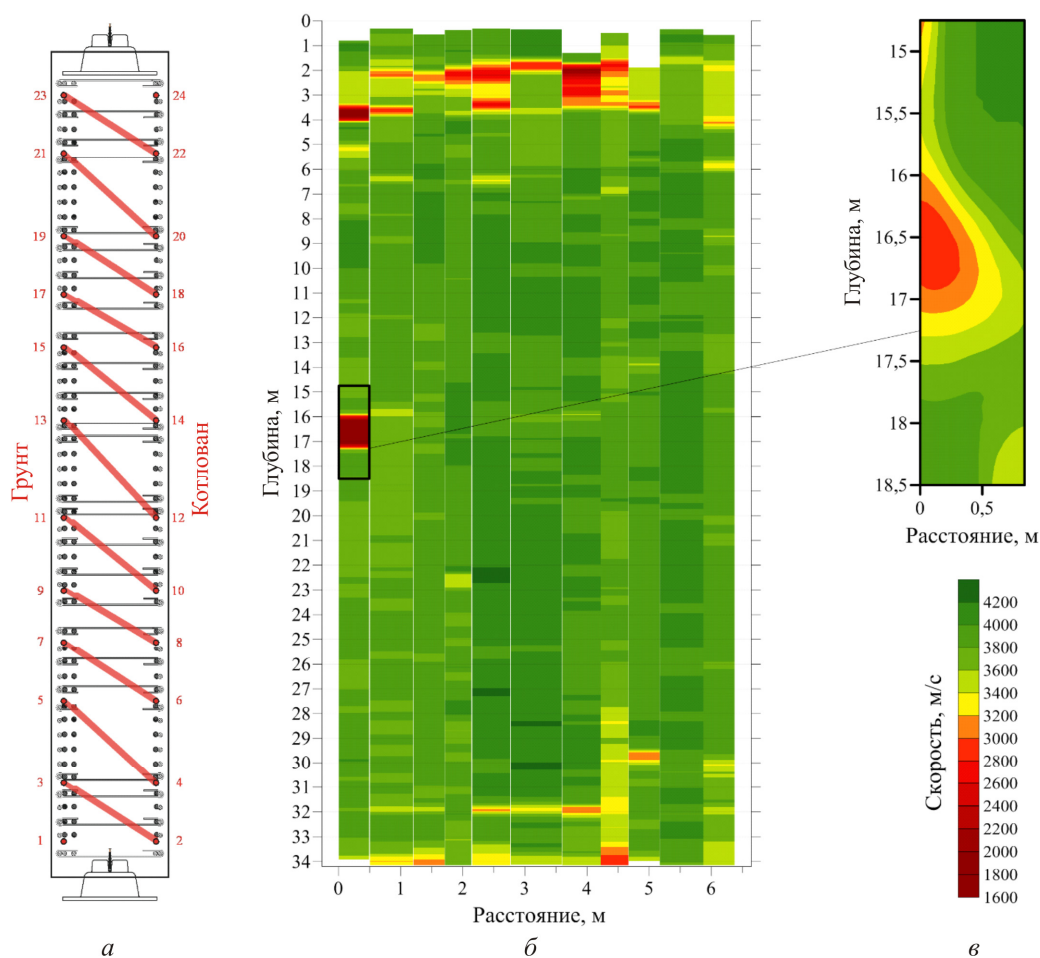


Рис. 2. Контроль сплошности опытного участка ТСГ ультразвуковым методом:
а – расположение труб доступа и диагональных профилей измерений на схеме захватки;
б – результаты измерений по методике параллельного просвечивания для серии
диагональных профилей наблюдений; в – результат инверсии данных межскважинной
томографии вдоль профиля 2–3

Fig. 2. Diaphragm wall section integrity testing using cross-hole ultrasonic logging:
a – locations of access tubes and diagonal ultrasonic profiles; b – measurement results for selected
diagonal ultrasonic profiles; c – the result of tomographic data inversion along profile 2–3

3. Исследования «стены в грунте» в основании жилого дома термометрическим и ультразвуковым методами

Термометрический метод широко применяется за рубежом для контроля сплошности буронабивных свай с середины 2010-х. Практика использования метода для контроля «стен в грунте» до настоящего времени сводилась к лабораторным измерениям [17]. При строительстве жилого комплекса в г. Москве новая методика была опробована компанией ООО «ЭГЕОС» на траншейной «стене в грунте». Полученные результаты были сопоставлены с данными ультразвукового метода.

В качестве объекта исследований были выбраны два участка монолитной железобетонной «стены в грунте» – захватки № 28 и 33, сечением 0,6×3,1 м, высотой 8,5 и 10,0 м. В каждую секцию было установлено по 8 стальных труб доступа внутренним диаметром 40 мм (рис. 3).

Для изучения изменения количества выделяемого конструкцией тепла с течением времени был выполнен мониторинг температуры в теле захваток (таблица). Измерения были начаты спустя 13–16 ч после бетонирования конструкций и выполнялись с шагом 2–3 ч.

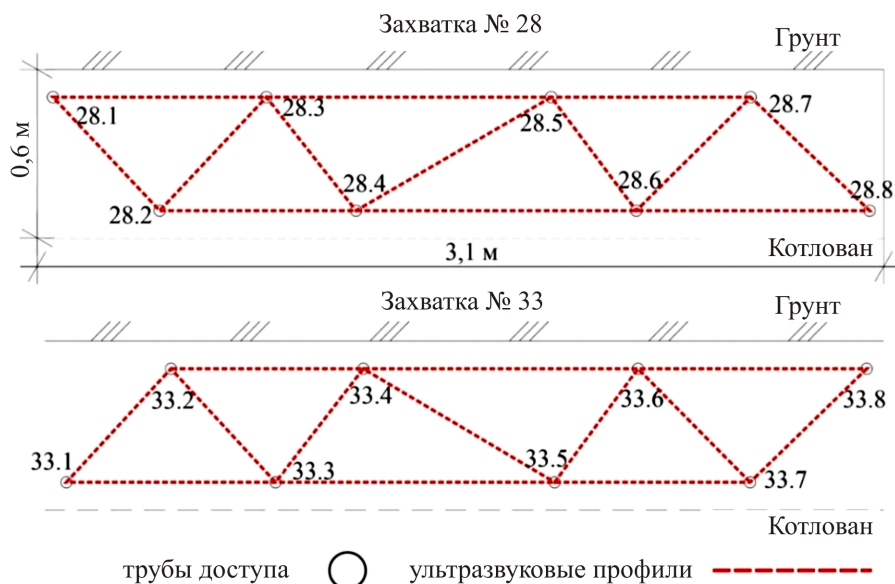


Рис. 3. Схема расположения труб доступа
 Fig. 3. Location of access tubes

Мониторинг температуры на секциях «стены в грунте» Temperature monitoring for sections of the diaphragm wall

Номер секции	Начало измерений (после завершения бетонирования), ч	Длительность мониторинга, ч	Время регистрации максимальных значений температуры (после завершения бетонирования), ч
28	16	41,5	28–30
33	13	56,0	28–30

Измерения проводились с использованием термометрического дефектоскопа ТДБС–МГ4 (ООО «СКБ Стройприбор», Россия), разработанного по техническому заданию ООО «ЭГЕОС» и оснащенного скважинным зондом с 4 инфракрасными датчиками.

На рис. 4 представлены графики изменения температуры в захватке № 33 на глубине 1,5 м (относительно проектной отметки верха бетона конструкции) в зависимости от времени, прошедшего с окончания бетонирования. Средний уровень значений температуры в трубах доступа 1, 2, 7 и 8 ниже значений, зарегистрированных в трубах 3–6. Это объясняется расположением труб доступа 1, 2, 7 и 8 в пределах сечения захватки и, соответственно, меньшим объемом активного вещества (цемента) вокруг труб. Характер изменения графиков температуры близок для всех труб доступа. Максимальные значения температуры достигаются спустя 28–30 ч после окончания бетонирования.

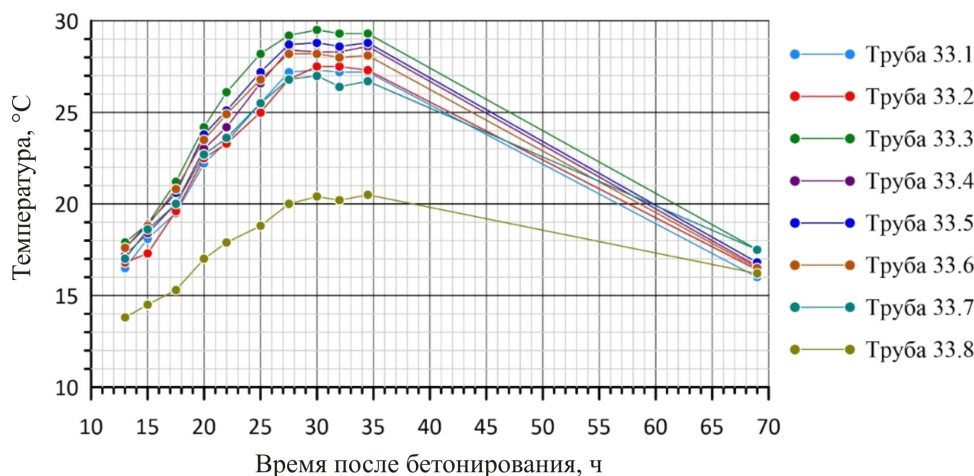


Рис. 4. Мониторинг температуры в захватке № 33 на глубине 1,5 м (относительно отметки верха бетона «стены в грунте») / Fig. 4. Temperature monitoring for section № 33 at depth 1.5 m from the top of the diaphragm wall

Результаты мониторинга температуры для захваток № 33 и 28 представлены на рис. 5 в виде графиков изменения значений температуры в зависимости от глубины погружения зонда (относительно проектной отметки верха бетона). Распределение температуры в процессе твердения бетона «стены в грунте» с ненарушенной сплошностью должно быть неизменно по всей длине конструкции, за исключением участков у верхнего и нижнего концов конструкции, где должно быть зарегистрировано снижение температуры, связанное с выделением тепла не только в поперечном, но и в продольном направлении.

В центральной части температурных профилей захватки № 28, в трубах доступа, расположенных с «внешней» стороны секции (сторона конструкции, не вскрываемая при разработке котлована), выделена значительная положительная аномалия температуры мощностью до 2,2 м. Аномалия интерпретируется в качестве уширения сечения конструкции (рис. 5, б; зона 1) – косвенно это подтверждает зафиксированный в исполнительной документации повышенный расход бетона.

В центральной части температурных профилей в трубах доступа, расположенных с «внутренней» стороны секции (со стороны разработки котлована), выделена менее яркая положительная аномалия мощностью до 1 м (рис. 5, зона 2). Глубина аномалии соответствует 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 [13].

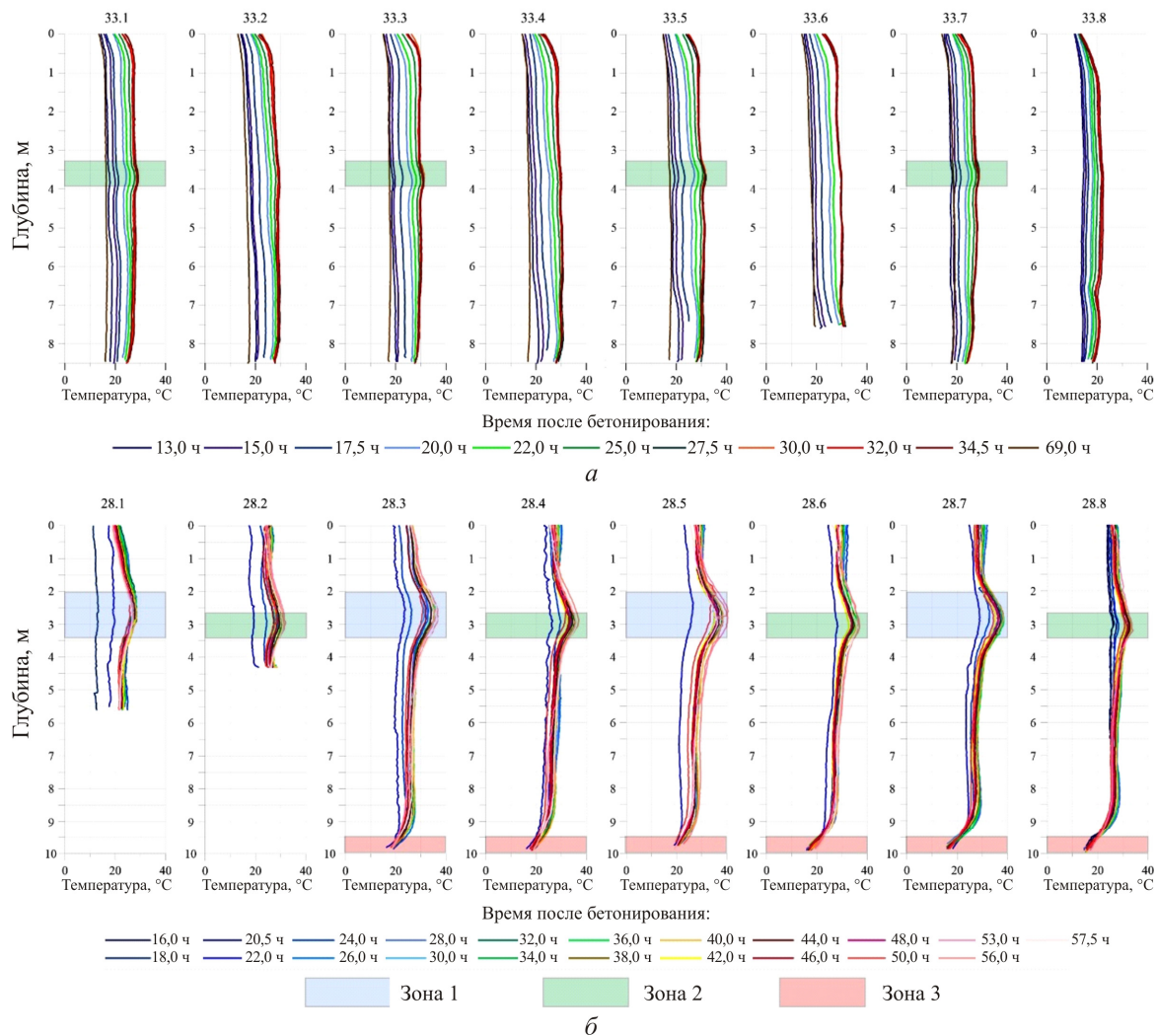


Рис. 5. Результаты мониторинга температуры «стены в грунте»: а – захватка № 33; б – захватка № 28
 Fig. 5. Temperature monitoring results for diaphragm wall section: a – section № 33; b – section № 28

В нижней части температурных профилей захватки № 33 не зарегистрировано ожидаемого снижения температуры (рис. 5, а). Это свидетельствует о том, что нижний конец труб доступа удален от проектной отметки низа конструкции.

В нижней части профилей захватки № 28 зарегистрировано снижение температуры начиная с отметки 9,5–9,7 м (см. рис. 5, б; зона 3). Для изучения аномалии была применена процедура коррекции данных путем ввода поправок за распространение тепла через нижний торец сооружения по методике, предложенной в работе [15]. Результаты коррекции указывают на то, что нижний торец захватки расположен на 30–40 см выше проектной отметки (рис. 6).

Спустя 10 дней после бетонирования секций, после набора бетоном конструкции необходимой прочности, были выполнены ультразвуковые измерения с использованием аппаратного комплекса Multichannel Cross-Hole Analyzer (Solgeo srl, Италия). Результаты контроля представлены в виде графиков скорости распространения и затухания ультразвуковых волн (рис. 7, а, б; результаты приведены для 4 профилей измерений). Ультразвуковой контроль захватки № 33 подтвердил сплошность бетона конструкции. В нижней части ультразвуковых профилей захватки № 28 зарегистрированы аномальное снижение значений скорости ультразвуковых волн и повышенные значения затухания сигнала, которые интерпретируются в качестве нарушения сплошности бетона конструкции мощностью до 40 см.

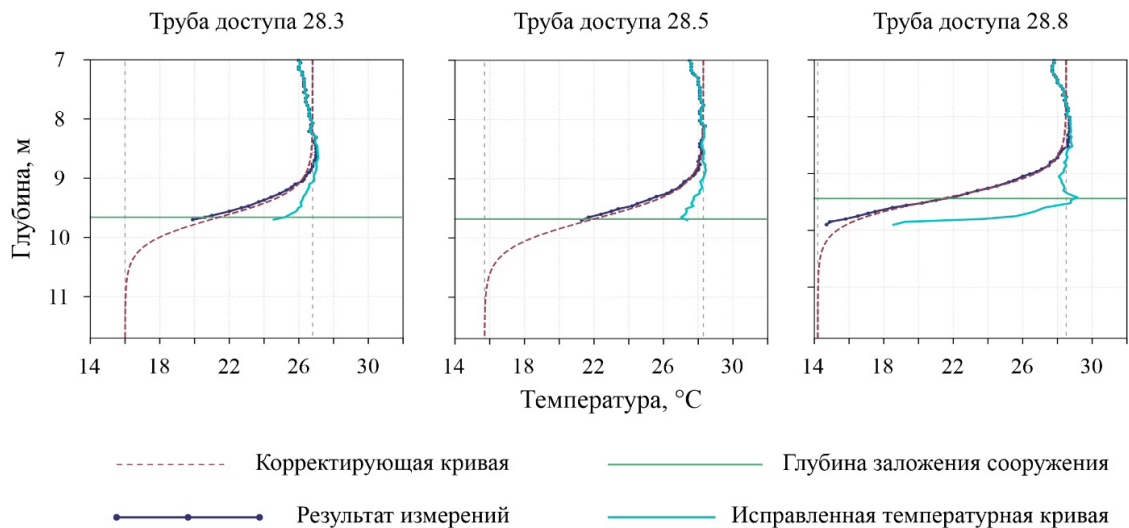
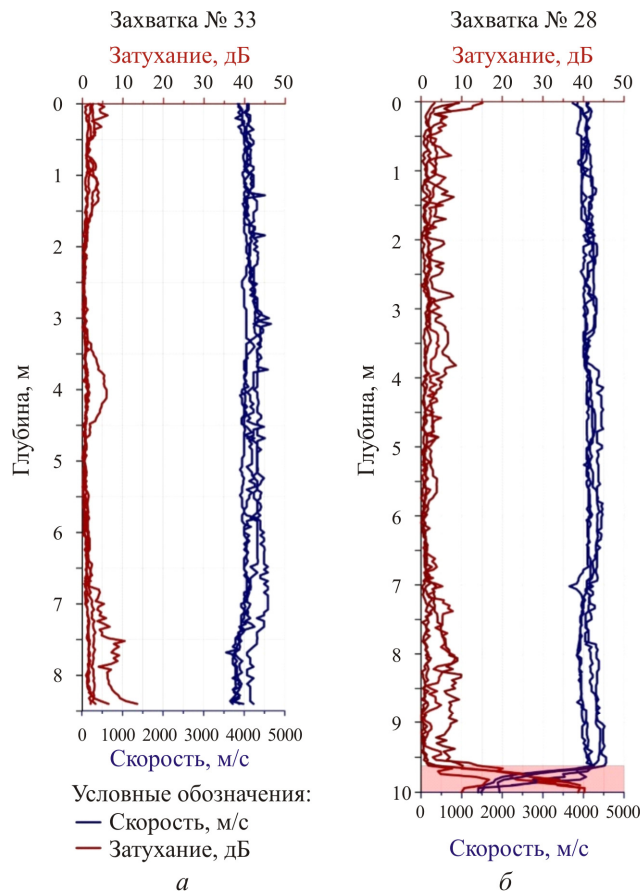


Рис. 6. Захватка № 28. Коррекция нижней части температурных профилей
 Fig. 6. Section 28. Toe correction procedure for temperature profiles



б



с

Рис. 7. Контроль сплошности «стены в грунте» термометрическим и ультразвуковым методами: а, б – результаты контроля сплошности захваток № 33 и 28 ультразвуковым методом; в – проведение измерений термометрическим методом; г – проведение измерений ультразвуковым методом

Fig. 7. Thermal and ultrasonic diaphragm wall integrity testing: а, б – cross-hole ultrasonic logging results for sections № 33 and 28; в – thermal integrity profiling procedure; г – ultrasonic integrity testing procedure

Результаты ультразвукового контроля хорошо согласуются с результатами термометрических измерений. Однако термометрический метод позволил дополнительно выявить превышение проектной отметки низа бетона захватки № 33 и уширение сечения в центральной части захватки № 28.

Заключение

1. Применение неразрушающих геофизических методов для контроля качества «стен в грунте», различных по способу возбуждения и регистрации физических полей, позволяет выявить основные дефекты конструкций данного типа.

2. Для обеспечения возможности эффективного контроля на стадии проектирования «стены в грунте» в арматурный каркас конструкции рекомендуется включить трубы доступа.

3. Ультразвуковой контроль опытного участка траншейной «стены в грунте», выполненной для ограждения котлована станции Московского метрополитена, выявил многочисленные нарушения сплошности бетона. Результаты испытаний указали на необходимость пересмотра проекта конструкции.

4. Новая методика неразрушающего контроля качества фундаментов глубокого заложения – термометрический метод – была успешно применена для исследования сплошности захваток траншейной «стены в грунте». Результаты термометрического контроля хорошо согласуются с ультразвуковыми измерениями – сплошность бетона конструкций была подтверждена, за исключением участка мощностью 40 см в нижней части одной из захваток. Термометрический метод позволил подготовить заключение о сплошности бетона спустя 2 сут после бетонирования и дополнительно выявить превышение проектной отметки низа бетона и уширение сечения конструкций.

5. Совместное использование термометрического и ультразвукового методов позволяет получить достаточно полную информацию о сплошности бетона «стен в грунте» и может быть рекомендовано проектным организациям в качестве инструмента неразрушающего контроля качества «стен в грунте».

Библиографический список

1. Смородинов М.И., Федоров Б.С. Устройство фундаментов и конструкций способом «стена в грунте». – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.

2. Шахтное и подземное строительство. Т. 2. – 2-е изд. – Б.А. Картозия, Е.Ю. Куликова, В.И. Курносков, В.Г. Лернер, Ю.Н. Малышев, А.Н. Панкратенко, В.И. Разуненко, Ю.П. Рахманинов, В.И. Смирнов, Б.И. Федунец, В.К. Фисейский, М.Н. Шуплик. – М.: Академия горных наук, 2001. – 583 с.

3. Niederleithinger E., Amir J.M., Schneider N. New possibilities for quality assurance of diaphragm wall joints // Proceedings of 11th International Conference on Piling and Deep Foundations, May 2014. – Stockholm, Sweden, 2014. – P. 911–918.

4. Detection of diaphragm wall defects using crosshole GPR / H. Qin, X. Xie, Y. Tang, Z. Wang // Proceedings of 2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 18–21 June 2018. – Rapperswil, Switzerland. – 2018. – P. 1–4. DOI: 10.1109/icgpr.2018.8441657

5. Niederleithinger E., Hubner M., Amir J.M. Crosshole sonic logging of secant pile walls – a feasibility study // Proceedings of the Symposium on the application of geophysics to environmental and engineering problems (SAGEEP). – Keystone, USA, 2010. – P. 685–693.

6. Wharmby N., Perry B., Waikato H. Development of Secant Pile Retaining Wall Construction in Urban New Zealand // *Proceedings of the New Zealand Concrete Industry Conference, 2010.* – Wellington, New Zealand, 2010. – P. 1–8.
7. Detection of anomalies in diaphragm walls with crosshole sonic logging / Spruit R., van Tol F., Broere W., Slob E., Niederleithinger E. // *Canadian Geotechnical Journal.* – 2013. – Vol. 51, № 4. – P. 369–380. DOI: 10.1139/cgj-2013-0204
8. Архипов А.Г. Сейсмоакустическая диагностика состояния массивов естественных и искусственных грунтов // *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, XI общерос. конф. из. орг-й.* – СПб., 2015. – С. 162–166.
9. Архипов А.Г., Матинян А.А. Мониторинг состояния панелей и стыков стены в грунте методами ультразвукового и акустического прозвучивания из закладных трубок // *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, XI общерос. конф. из. орг-й.* – СПб., 2015. – С. 166–169.
10. Оценка качества возведения «стены в грунте» по данным сейсмоакустического межскважинного просвечивания / Ю.С. Исаев, О.В. Бойко, К.А. Дорохин, Е.В. Костромитина // *Метро и тоннели.* – 2016. – № 6. – С. 13–16.
11. Лозовский И.Н., Чуркин А.А. Контроль сплошности буронабивных свай методом межскважинной ультразвуковой томографии // *Транспортное строительство.* – 2018. – № 7. – С. 6–9.
12. Мухин А.А., Лозовский И.Н., Чуркин А.А. Технические стандарты ООО ЭГЕОС по применению неразрушающего контроля сплошности свай. Ультразвуковой метод // *Геотехника.* – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 64–79. DOI: 10.25296/2221-5514-2019-11-3-64-79
13. Мухин А.А., Лозовский И.Н., Чуркин А.А. Неразрушающий контроль сплошности бетона буронабивных свай термометрическим методом // *Транспортное строительство.* – 2018. – № 10. – С. 6–9.
14. Комплексное исследование качества буронабивных свай на опытной площадке с использованием методов неразрушающего контроля / А.А. Чуркин, И.Н. Лозовский, В.Е. Фролов, Ю.Н. Бровиков // *Геотехника.* – 2018. – Т. 10, № 5–6. – С. 72–83.
15. Mullins G., Johnson K. Optimizing the use of the thermal integrity system for evaluating auger-cast piles. Final Report // *Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL. FDOT-BDV35-977-09.* – 2016. – 163 p.
16. Возможности сейсмоакустических и ультразвуковых методов при контроле качества свайных фундаментов / В.В. Капустин, А.А. Чуркин, И.Н. Лозовский, А.В. Кувалдин // *Геотехника.* – 2018. – Т. 10, № 5–6. – С. 62–71.
17. Spruit R., Hopman V., Van Tol A.F., Broere W. Detecting defects in diaphragm walls prior to excavation // *Proceedings of the 8th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics 12–14 September.* – Berlin, Germany, 2011. – P. 1–14.
18. Лозовский И.Н., Чуркин А.А. Определение местоположения дефектов в стене из бурсекущихся свай методом электроразведки на сооружении вентиляционного ствола Московского метрополитена // *Метро и тоннели.* – 2018. – № 2. – С. 32–35.
19. Татаркин А.В. Оценка системы «фундамент – грунтовое основание» // *Геотехника.* – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 52–62.
20. Капустин В.В., Хмельницкий А.Ю. Применение комплекса сейсмоакустических и георадарных наблюдений при обследовании состояния гидротехнических сооружений // *Геотехника.* – 2014. – № 1–2. – С. 74–85.

References

1. Smorodinov M.I. Fedorov B.S. Ustrojstvo fundamentov i konstrukcij sposobom «stena v grunte» [Design of foundations and structures by the slurry wall technology] Stroyizdat, Moscow, 1986, 216 p.
2. Kartoziya B.A., Kulikova E.Y., Kurnosov V.I., Lerner V.G., Malyshev Y.N., Pankratenko A.N., Razunenkov V.I., Rahmaninov Y.P., Smirnov V.I., Fedunec B.I., Fisejskij V.K., Shuplik M.N. Shahtnoe i podzemnoe stroitel'stvo. Tom 2. Izdanie 2 [Mine and underground construction. Volume 2. Edition 2]. Akademiya gornyh nauk, Moscow, 2001, 583 p.
3. Niederleithinger E., Amir J.M. Schneider N. New possibilities for quality assurance of diaphragm wall joints. *Proceedings of 11th International Conference on Piling and Deep Foundations*, May, Stockholm, Sweden, 2014, pp. 911–918.
4. Qin H., Xie X., Tang Y., Wang Z. Detection of diaphragm wall defects using crosshole GPR. *Proceedings of 2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, 18-21 June, Rapperswil, Switzerland, 2018, pp. 1-4. DOI: 10.1109/icgpr.2018.8441657.
5. Niederleithinger E., Hubner M., Amir J.M. Crosshole sonic logging of secant pile walls - a feasibility study. *Proceedings of the Symposium on the application of geophysics to environmental and engineering problems (SAGEEP)*, Keystone, USA, 2010, pp. 685–693.
6. Wharmby N., Perry B., Waikato H. Development of Secant Pile Retaining Wall Construction in Urban New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Concrete Industry Conference*, Wellington, New Zealand, 2010, pp. 1–8.
7. Spruit R., van Tol F., Broere W., Slob E., Niederleithinger E. Detection of anomalies in diaphragm walls with crosshole sonic logging. *Canadian Geotechnical Journal*, 2013, Vol. 51, № 4, pp. 369–380. DOI: 10.1139/cgj-2013-0204.
8. Arkhipov A.G. Seismoacusticheskaya diagnostika sostoyaniya massivov estestvennikh i iskusstvennikh gruntov [Seismoacoustic diagnostics of the arrays of natural and technical soils] *Proceedings of XI Conference of survey organisations «Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation»*, Saint-Petersburg, Russia, 2015, pp. 162-166.
9. Arkhipov A.G., Matinyan A.A. Monitoring sostoyaniya paneley i stykov steni v grunte metodami ultrazvukovogo i akusticheskogo prozvuchivania iz zakladnikh trubok [Monitoring the condition of diaphragm wall panels and joints using ultrasonic and acoustic sounding methods from embedded tubes] *Proceedings of XI Conference of survey organisations «Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation»*, Saint-Petersburg, Russia, 2015, pp. 166-169.
10. Isaev Y.S., Boiko O.V., Dorokhin K.A., Kostromitina E.V. Otsenka kachestva vozvedeniya «steni v grunte» po dannim seismoacusticheskogo mejskvaginnoogo prosvechivania [Quality assessment of the of the diaphragm wall according to seismoacoustic crosshole sounding]. *Metro and tunnels*, no. 6, 2016, pp. 13-16.
11. Lozovsky I.N., Churkin A.A. Kontrol sploshnosti buronabivnikov svai metodom mejskvaginnoi ultrazvukovoi tomographii [Application of cross-hole ultrasonic tomography technique for pile foundation integrity testing]. *Transport Construction*, 2018, no. 7, pp. 6–9.
12. Mukhin A.A., Lozovsky I.N., Churkin A.A. Technicheskie standarti AIGEOS LLC po primeneniю nerazrushayushego kontrolya sploshnosti svai. Ultrazvukovoi metod [AIGEOS LLC Technical standards for the nondestructive pile integrity testing. Crosshole Ultrasonic Logging]. *Geotechnics*, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 64–79. DOI: 10.25296/2221-5514-2019-11-3-64-79.

13. Mukhin A.A., Lozovsky I.N., Churkin A.A. Nerazrushayushii kontrol sploshnosti betona buronabivnikov svai termometricheskim metodom [Non-destructive pile integrity testing using thermal integrity profiling]. *Transport Construction*, 2018, no. 10, pp. 6-9.

14. Churkin A.A., Lozovsky I.N., Frolov V.E., Brovnikov Y.N. Kompleksnoe issledovanie kachestva buronabivnikov svai na opitnoi ploshadke s ispolzovaniem metodov nerazrushayushogo kontrolya [Complex study of bored piles quality on experimental site by nondestructive integrity testing methods]. *Geotechnics*, 2018, no. 5-6, pp. 72-83.

15. Mullins G., Johnson, K.R. Optimizing the Use of the Thermal Integrity System for Evaluating Auger-Cast Piles. Final Report. Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL. FDOT-BDV35-977-09., 2016, 163 p.

16. Kapustin V.V., Churkin A.A., Lozovsky I.N., Kuvaldin A.V. Vozmozhnosti seismoakusticheskikh i ultrazvukovikh metodov pri kontrole kachestva svainikh fundamentov [Capabilities of seismoacoustic and ultrasonic methods for quality control of pile foundations]. *Geotechnics*, 2018, no. 5-6, pp. 62-71.

17. Spruit R., Hopman V., Van Tol A.F., Broere W. Detecting defects in diaphragm walls prior to excavation. *Proceedings of FMGM 2011: 8th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics, Berlin (Germany)*, 12-14 September, Berlin, Germany, 2011, pp. 1–14.

18. Lozovsky I.N., Churkin A.A. Opredelenie mestopolozhenia defektov v stene iz burosekushihsvai metodom elektrorazvedki na sooruzhenii ventilazionnogo stvola Moskovskogo metropolitena [Goelectrical survey of defects in secant pile wall during the construction of the Moscow metro ventilation shaft]. *Metro and tunnels*, 2018, no. 2, pp. 32–35.

19. Tatarkin A.V. Otsenka sistemi «fundament – gruntovoe osnovanie» [Evaluation of the «foundation – soil base» system]. *Geotechnics*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 52-62.

20. Kapustin V.V., Khmel'nitskiy A.Y. Primenenie kompleksa seismoakusticheskikh i georadarnikh nabludenii pri obsledovanii sostoyania gidrotekhnicheskikh sooruzhenii [Using a complex of seismoacoustic and georadar observations for examination of the state of hydraulic structures]. *Geotechnics*, 2014, no. 1-2, pp. 74–85.