

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СТЕНЕ ИЗ БУРОСЕКУЩИХСЯ СВАЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ НА СООРУЖЕНИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО СТВОЛА МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

GEOELECTRICAL SURVEY OF DEFECTS IN SECANT PILE WALL DURING THE CONSTRUCTION OF THE MOSCOW METRO VENTILATION SHAFT

И. Н. Лозовский, заведующий лабораторией ООО «ЭГЕОС», научный сотрудник ЦГЭМИ ИФЗ РАН

А. А. Чуркин, инженер-геофизик ООО «ЭГЕОС», аспирант кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ им. Ломоносова

I. N. Lozovsky, Head of the laboratory, AIGEOS LLC, Researcher GEMRC IPE RAS

A. A. Churkin, Geophysicist, AIGEOS LLC, Postgraduate of the Department of Seismometry and Geoaoustics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University

На сооружении вентиляционного ствола Московского метрополитена были проведены геофизические исследования методом электроразведки с целью определения местоположения зон нарушения сплошности ограждающей конструкции из бетонных буросекущихся свай. В основу методики исследований легло изучение распределения электрического поля, создаваемого искусственным источником. Полученные результаты были использованы для разработки проекта работ по восстановлению ограждающей конструкции. Представленная в публикации методика исследований может применяться в качестве оперативного инструмента для решения сходных геотехнических задач.

The geoelectrical survey was carried out to locate the defects in secant pile wall during the construction of the Moscow metro ventilation shaft. The survey was based on electric field distribution study in inhomogeneous media. The results were used to design the secant pile wall recovery project. The technique provided in the current publication can be implemented as a prompt solution for similar geotechnical tasks.

В качестве ограждающих конструкций при строительстве подземных сооружений широко применяются бетонные и железобетонные «стены в грунте», выполненные из отдельных сопряженных между собой секций (захваток) или из стыкующихся между собой буронабивных свай [1]. Нарушение сплошности бетона «стен в грунте», особенно изготовленных в неустойчивых, обладающих плавунными свойствами грунтах, может приводить к прорыву обводненных масс грунта в процессе разработки котлована, осадке оснований близлежащих зданий, разрушению инженерных коммуникаций и др.

Для исключения неблагоприятных последствий до начала работ по разработке котлована должен быть выполнен контроль качества «стен в грунте» с применением неразрушающих геофизических методов. Для проведения межскважинного ультразвукового [7] или сейсмоакустического контроля [5] в тело конструкции должны быть установлены трубы доступа. В случае если установка труб доступа не производилась, необходимо применение альтернативных методов контроля, обеспечивающих высокую разрешающую способность и надежность решения поставленной задачи.

Данная статья посвящена опыту применения электроразведки для локализации местоположения нарушений сплошности ограждающей конструкции из буросекущихся бетонных свай (БСС), вскрытых в процессе разработки грунта при устройстве вентиляционного ствола метрополитена.

Описание объекта исследований

Объект исследований представляет собой вентиляционный ствол метрополитена диаметром 5500 мм, сооружаемый в толще неустойчивых обводненных грунтов под защитой ограждающей конструкции из буросекущихся бетонных свай диаметром 1000 мм (рис. 1).

В процессе экскавации на глубине около 24 м был вскрыт дефект в ограждающей конструкции и через него в выработку поступил большой объем водонасыщенного песка, который заполнил несколько метров ствола.

Для устранения последствий аварии ствол для создания избыточного давления был заполнен водой, несколько метров поступившего песка были извлечены, и на его месте методом подводного бетонирования была изготовлена бетонная плита мощностью 1,5 м, после чего вода из ствола была удалена.

Работы по сооружению ствола могли быть возобновлены только после восстановления целостности ограждающей конструкции. Для определения местоположения зон нарушения сплошности с целью разработки проекта тампонирования были проведены геофизические исследования методом электроразведки.

Метод исследований

Геофизические исследования были выполнены методом постоянного тока – модификацией электроразведки, теория которой основана на изучении распределения поля постоянного или низкочастотного переменного электрического тока от искусственного источника с известными параметрами в средах в зависимости от их удельного электрического сопротивления [2, 3, 4].

Электрическое поле создается с помощью тока заданной силы и частоты, стекающего с заземленных питающих электродов, подключенных к клеммам генератора электрического тока.

Напряженность электрического поля можно исследовать, измеряя с помощью вольтметра (измерителя) разность потенциалов между любыми двумя точками пространства, в которые устанавливают измерительные электроды.

Аномалии разности потенциалов проявляются за счет затекания токов в низкоомные неоднородности или обтекания током высокоомных неоднородностей.

Для иллюстрации принципа работы метода в программе IE2DL было выполнено двумерное моделирование распределения электрического поля в модели БСС с нарушением сплошности [6]. Удельное электрическое сопротивление бетона БСС было принято равным 400 Ом·м, вмещающих грунтов (водонасыщенный песок) – 20 Ом·м.

В программе DC_flow были построены силовые линии электрического поля, иллюстрирующие распространение электрического тока от электрода А к электроду В (рис. 2). В зоне нарушения сплошности БСС наблюдается высокая концентрация силовых линий, что позволяет выделить данную зону по результатам измерений разности потенциалов.

Методика проведения испытаний

Для возбуждения электрического поля на объекте исследований использовался электроразведочный генератор «АСТРА-100» (ООО «Северо-Запад», Москва). Форма выходного тока – «меандр» (прямоугольные разнополярные импульсы без паузы). Первый питающий электрод (А) был погружен в грунт на поверхности стройплощадки. Второй питающий электрод (В) был погружен в грунт на глубину 2 м ниже поверхности плиты через устроенное в центре плиты отверстие.

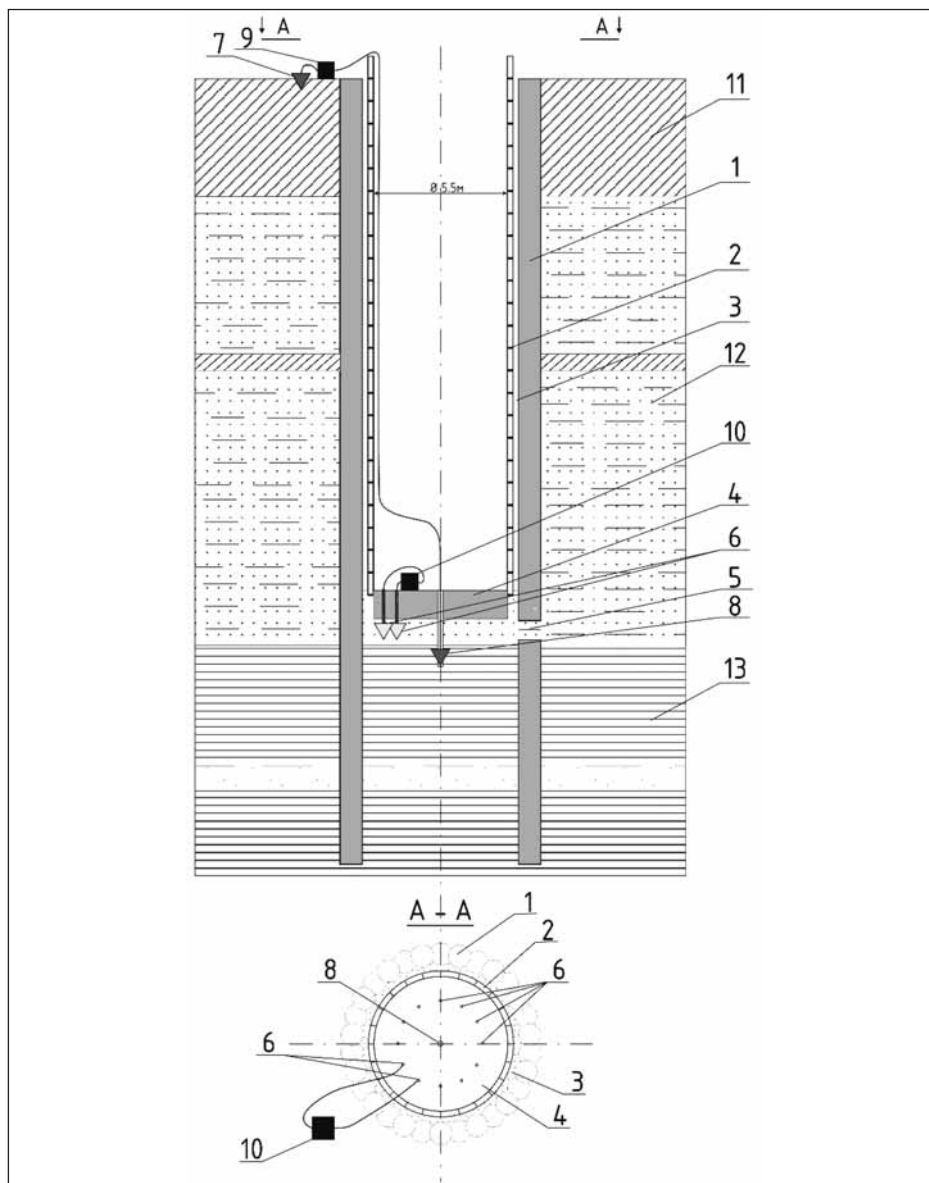


Рис. 1. Схема проведения исследований: 1 – БСС; 2 – чугунные тубинги; 3 – заполнение цементно-песчаным раствором; 4 – бетонная плита; 5 – дефект (показан условно); 6 – измерительные электроды; 7 – питающий электрод А; 8 – питающий электрод В; 9 – источник переменного тока; 10 – измерительное устройство; 11 – насыпные грунты, тугопластичный суглинок; 12 – водонасыщенный песок; 13 – твердая глина

Рис. 2. Карта распределения силовых линий электрического поля по результатам двумерного моделирования

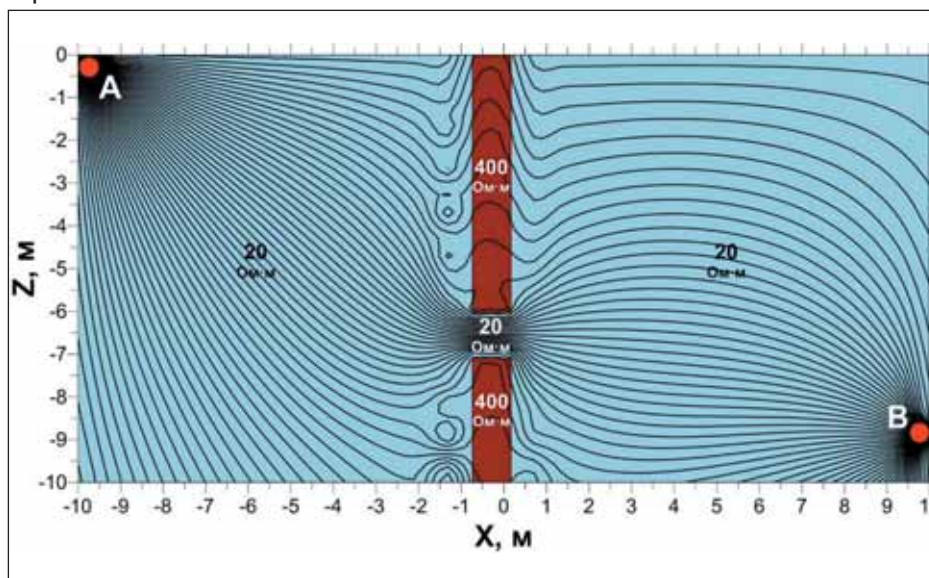
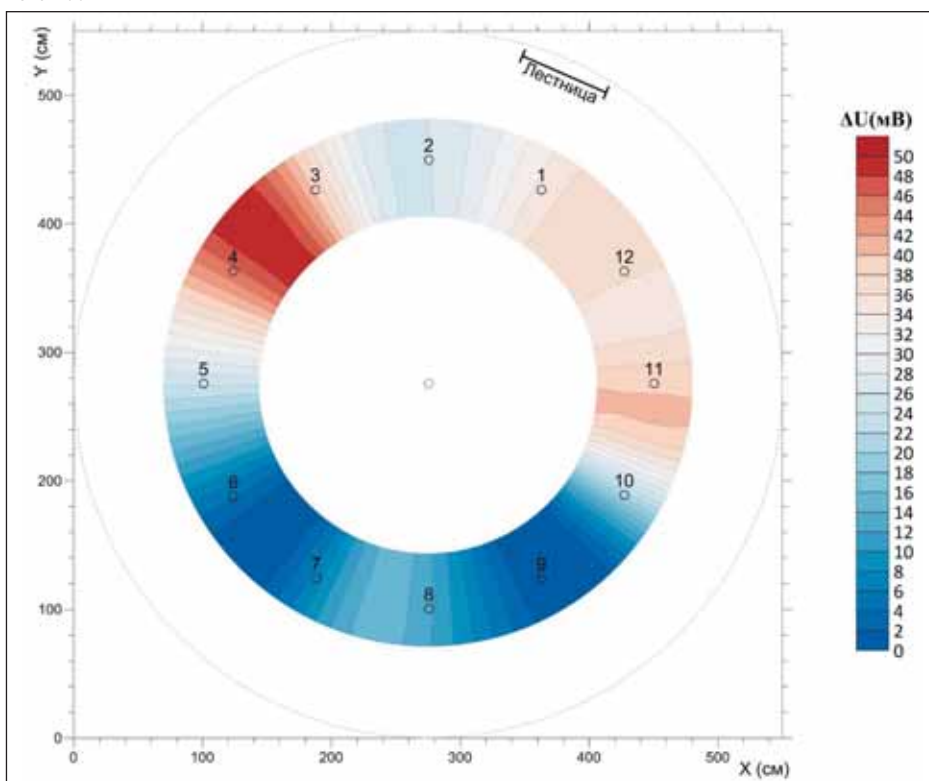




Рис. 3. Проведение геофизических исследований методом электроразведки в вентиляционном стволе метрополитена

Рис. 4. Карта разности потенциалов (первой гармоники сигнала) для рабочей частоты 4,88 Гц и силы тока 200 мА



Для регистрации значений разности потенциалов между измерительными электродами использовался электроразведочный измеритель «МЭРИ-24» (ООО «Северо-Запад», Москва). Измерительные электроды были погружены в грунт на глубину 0,5 м ниже поверхности плиты через заранее пробуренные по периметру ствола отверстия (12 шт, диаметр – 40 мм), удаленные в радиальном направлении от центра плиты на 1,75 м.

Измеритель последовательно производил измерения разности потенциалов (1-й и 3-й гармоник сигнала) между соседними измерительными электродами (рис. 3).

Обработка зарегистрированных сигналов производилась в автоматическом режиме измерителем «МЭРИ-24».

Результаты измерений представлены в табл. Значения амплитуды гармоник сигнала были умножены на величину, обратную коэффициенту ряда Фурье.

Для повышения надежности результатов исследования измерения производились на различных рабочих частотах: 2,44 и 4,88 Гц и на разной силе тока: 200 и 314 мА.

Распределение электрического поля зависит от выбранных значений частоты и силы тока. Амплитуда сигналов изменяется пропорционально изменению силы тока с точностью

Таблица

Результаты измерений разности потенциалов

Пара электродов	f = 4,88 Гц I = 200 мА		f = 4,88 Гц I = 316 мА		f = 2,44 Гц I = 200 мА		f = 2,44 Гц I = 316 мА	
	1-я гармоника, мВ	3-я гармоника, мВ	1-я гармоника, мВ	3-я гармоника, мВ	1-я гармоника, мВ	3-я гармоника, мВ	1-я гармоника, мВ	3-я гармоника, мВ
12-01	37,7	37,4	59,6	59,2	37,8	37,6	59,8	59,4
01-02	29,7	29,6	47,1	46,8	29,8	29,7	47,1	46,9
02-03	27,7	27,5	45,8	43,5	27,9	27,6	44,0	43,7
03-04	49,3	48,8	78,0	77,1	49,7	48,2	78,5	77,7
04-05	34,9	34,4	55,1	54,4	35,1	34,7	55,5	55,0
05-06	14,0	13,9	22,1	21,9	14,1	13,9	22,2	22,0
06-07	0,1	0,1	0,15	0,15	0,1	0,1	0,15	0,14
07-08	14,6	14,5	23,1	23,0	14,6	14,6	23,1	23,0
08-09	5,7	5,7	9,1	9,0	5,8	5,7	9,1	9,0
09-10	2,8	2,76	4,4	4,36	2,8	2,76	4,4	4,37
10-11	38,0	37,6	60,0	59,5	38,2	37,9	60,3	59,8
11-12	35,4	35,1	55,9	55,6	35,5	35,3	56,2	55,7

до 0,75 %. Среднеквадратическое расхождение измерений на частотах 2,44 и 4,88 Гц – 0,64 %. Среднеквадратическое расхождение амплитуд 1-й и 3-й гармоник сигнала, приведенных к уровню «меандра» – 0,79 %.

Контроль качества зарегистрированных данных производился с помощью контрольных (повторных) измерений. Среднеквадратическое расхождение между рядовыми и контрольными измерениями составило 0,81 %.

Результаты исследований

По результатам измерений было произведено построение карт распределения значений разности потенциалов. Результаты измерений были привязаны к геометрическому центру расстояния между парой измерительных электродов.

Карта разности потенциалов (первой гармоники сигнала) для рабочей частоты 4,88 Гц и силы тока 200 мА представлена на рис. 4.

На картах выделяются две аномальные зоны, характеризующиеся повышенными значениями разности потенциалов.

Первая аномальная зона (49 мВ) выделена между парой электродов 3–4. Зона интерпретируется в качестве нарушения сплошности бетона ограждающей конструкции из буросекущихся свай.

Вторая, менее интенсивная, аномальная зона (35–38 мВ) выделена между парами электродов 1–12, 11–12, 10–11. Зона может интерпретиро-

ваться как в качестве нарушения сплошности буросекущихся свай меньшего геометрического размера, так и в качестве нарушения, расположенного на большей глубине.

Заключение

Результаты исследования стены из буросекущихся свай методом электроразведки позволили определить местоположение зон нарушения сплошности бетона и разработать технические мероприятия для восстановления работоспособности ограждающей конструкции.

Представленный метод исследований не требует предварительной установки труб доступа, позволяет оперативно проводить полевую съемку и может сопровождать процесс выработки неустойчивых грунтов в котлованах под защитой бетонных конструкций с целью предотвращения аварийных ситуаций.

Авторы хотели бы выразить свою благодарность компании ООО «Северо-Запад» за предоставленное для исследований оборудование.

Ключевые слова

Буросекущиеся сваи, «стена в грунте», неразрушающий контроль, контроль сплошности свай, электроразведка, инженерная геофизика, Московский метрополитен.

Secant pile wall, diaphragm wall, nondestructive testing, pile integrity testing, geoelectric survey, engineering geophysics, Moscow metro.

Список литературы

1. Шахтное и подземное строительство. Учебное пособие для вузов, под ред. Б. А. Картозия. М, 2003. – 815 с.
2. Хмелевской В. К. Электроразведка. – М, 1984. – 420 с.
3. Якубовский Ю. В. Электроразведка. – М, 1980. – 384 с.
4. Электроразведка. Т. 2. Малоглубинная электроразведка – М, 2013. – 124 с.
5. Исаев Ю. С., Бойко О. В., Дорохин К. А., Костромитина Е. В. Оценка качества возведения «стены в грунте» по данным сейсмоакустического межскважинного просвечивания. – «Метро и тоннели» – № 6, 2016, с. 13–16.
6. Bobachev A. A., Modin I. N., Shevkin E. V. Stream-function, used for current lines' construction in 2 – dimensional dc modeling. – Proceedings of 5th EEGS-ES conference. – Budapest, Hungary, 1999.
7. Niederleitinger E., Hubner M., Amir, J.M. Crosshole sonic logging of secant pile walls – A feasibility study. – Symposium on the application of geophysics to environmental and engineering problems (SAGEEP) – Keystone, USA, 2010.

Для связи с авторами

Лозовский Илья Николаевич
piles@aigeos.ru
Чуркин Алексей Андреевич
piles@aigeos.ru

