

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Электропроводность как параметр контроля качества бетонных работ

УДК 624.159.4; 691.32

Авдушева Мария Алексеевна

Аспирант кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Архангельск); e-mail: m.avdusheva@narfu.ru

Статья получена: 17.11.2018. Рассмотрена: 20.11.2018. Одобрена: 23.11.2018. Опубликовано онлайн: 26.12.2018. ©РИОР

Аннотация. При производстве работ по устройству буронабивных свай, а также по усилению бутового фундамента путем инъектирования раствора, возникает проблема осуществления контроля качества, в частности, определения сплошности ствола сваи и степени заполнения пустот и трещин в теле фундамента.

Разработаны способы контроля качества путем измерения электропроводности цементного раствора и бетонной смеси. С этой целью в их состав вводятся порошки ферросодержащего материала. Лабораторные испытания показали, что указанные добавки позволяют получить раствор с повышенной электропроводностью. Применение таких добавок позволяет контролировать процессы заполнения скважин и пустот в кладке. Кроме того, измерение электрической проводимости можно использовать для контроля набора прочности бетоном или раствором.

Ключевые слова: усиление фундамента, буронабивные сваи, растворная смесь, электропроводность.

Работы, связанные с устройством, реконструкцией и восстановлением фундаментов представляют собой комплекс мероприятий, на который накладывается целый ряд требований и ограничений, таких как, сроки производства работ, качество используемых материалов и выполняемых работ и т.д.

Большую сложность представляет именно осуществление контроля в процессе производства работ, так как почти всегда отсутствует возможность визуального осмотра всей конструкции.

В первую очередь с данной проблемой сталкиваются при устройстве буронабивных свай [1]. Существующие методы контроля качества ствола путем отбора керна или ультразвукового зондирования через пластиковые трубы, закладываемые в тело сваи, дают возможность оценить качество ствола только после набора прочности бетоном, когда устранить выявленные дефекты уже нельзя [2, 3].

Кроме того, сложность представляет контроль качества работ, связанных с усилением фунда-

ELECTRICAL CONDUCTIVITY AS A PARAMETER FOR QUALITY CONTROL OF CONCRETE WORK

Avdusheva Maria

Postgraduate Student of the Geotechnical Department, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk; e-mail: m.avdusheva@yandex.ru

Manuscript received: 17.11.2018. **Revised:** 20.11.2018. **Accepted:** 23.11.2018. **Published online:** 26.12.2018. ©РИОР

Abstract. During the work on setting up bored piles, as well as on strengthening the quarry foundation by injecting the solution, there is a problem of quality control, in particular, determining

the integrity of the pile shaft and the degree of filling of voids and cracks in the foundation body.

Quality control methods have been developed by measuring the electrical conductivity of cement and concrete mix. To this end, powders of ferro-containing material are introduced into their composition. Laboratory tests have shown that these additives allow to obtain a solution with high electrical conductivity. The use of such additives allows you to control the processes of filling wells and voids in the masonry. In addition, the measurement of electrical conductivity can be used to control the curing of concrete or mortar.

Keywords: shoring of foundation, bored piles, cement mortar, conductivity.

ментов исторических зданий и памятников архитектуры. Необходимость усиления обусловлена, как правило, потерей прочности известково-песчаного раствора в бутовой кладке (рис. 1). Обычно в таких случаях усиление тела фундамента осуществляется нагнетанием раствора через инъекторы [4; 5]. Как правило, степень заполнения можно оценить лишь при визуальном осмотре, фиксируя появление раствора на поверхности фундамента после откопки шурфов или при выбуривании керна, что значительно усложняет работы и увеличивает их продолжительность.



Рис. 1. Потеря прочности бутовой кладкой фундаментов

Для решения этих проблем были разработаны способы контроля качества работ по устройству буронабивных свай и усилению фундаментов [6; 7]. Особенностью данных методов является использование бетонной смеси или цементного раствора с добавками электропроводного вещества, что позволяет контролировать сплошность ствола буронабивной сваи и процесс заполнения пустот в кладке путем измерения электрического сопротивления.

В работах ряда ученых отмечалось, что включение в состав смесей тонкодисперсных добавок, например, оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , позволяет улучшить структуру композита, благодаря тому что мелкие частицы указанных веществ способны становятся центрами кристаллизации, ускоряя процессы схватывания и твердения [8; 9].

Целью проведенных исследований стало изучение свойств цементного раствора с разным

количеством добавок электропроводных материалов и определение удельной электрической проводимости раствора.

В качестве добавок были взяты порошки электропроводных веществ: магнетита, добываемого на Кирыбинском месторождении в республике Башкирии, и мелкогранулированного ферросилиция марки *IMEXSAR 270D*. На основе исходного сырья было выделено 4 типа добавок, различной степени дисперсности, по две на каждый порошок. Первые были получены путем механического диспергирования сырья, а вторые — отсевом из него частиц размерами крупнее 0,1 мм.

Измельчение зерен и получение тонкодисперсных порошков выполнялось с использованием планетарной шаровой мельницы *Retsch PM-100*. Диспергирование производилось путем сухого помола помещенного в помольный стакан исходного материала массой 200 г в течение 60 мин. при частоте вращения ротора 420 об/мин.

В качестве основных компонентов инъекционного раствора выступали мелкий песок и цемент марки ЦЕМ I 42,5Н завода изготовителя «Петербургцемент». Затворение выполнялось дистиллированной водой. Соотношение компонентов по массе было принято следующим: цемент : песок : вода — 1 : 2 : 0,5.

Для установления зависимости электропроводящей способности смеси от количества вводимой в нее добавки был проведен ряд испытаний по измерению удельной электрической проводимости исходного образца цементного раствора, а также образцов с различным содержанием добавки 1, 3, 5, 10, 20%. Измерения выполнялись приборе-измерителе иммитанса *E7-20* в диапазоне частот 25 Гц ÷ 1 кГц. Смесь загружалась в ячейку размерами 50 × 50 мм при средней высоте около 3–3,5 мм.

Также при помощи измерителя иммитанса *E7-20* была проведена оценка электропроводности, как параметра для контроля за степенью гидратации, на пластинчатых образцах цементного раствора без добавки.

Аналогичные испытания были проведены на анализаторе коррозионной активности грунта (АКАГ), который благодаря предусмотренной защите от поляризационного эффекта позволяет определить значения электрического сопротивления при постоянном токе. Для ис-

следований были взяты образцы без добавки, а также с включением в исходный состав 20% порошка ферросилиция и 20% магнетита.

Анализа фракционного состава измельченных порошков (табл. 1, 2) показал, что средний размер частиц магнетита составил 258 ± 74 нм, ферросилиция 610 ± 108 нм.

Таблица 1

Фракционное распределение частиц диспергированного магнетита (99,1%)

Время помола <i>t</i> , мин	Размер по фракциям, нм Содержание, %							Средний размер, нм
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
60	230 7,6	249 21,2	263 12,5	277 10,9	316 20,6	392 17,5	600 8,8	258 ± 74

Таблица 2

Фракционное распределение частиц диспергированного ферросилиция (99,5%)

Время помола <i>t</i> , мин	Размер по фракциям, нм Содержание, %							Средний размер, нм
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	
60	461 8,3	519 25,5	584 27,8	656 20,1	739 11,2	832 5,0	936 1,7	610 ± 108

Размерные характеристики применяемых добавок сведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика применяемых добавок

Материал	Обозначение добавки	Способ получения	Размер частиц
Магнетит	M1	Отсев зерен крупнее 0,1 мм	< 0,1 мм
	M2	Помол на планетарной шаровой мельнице	258 ± 74 нм
Ферросилиций	FS1	Отсев зерен крупнее 0,1 мм	< 0,1 мм
	FS2	Помол на планетарной шаровой мельнице	610 ± 108 нм

Результаты исследования электропроводности растворной смеси показали, что введение в состав смеси ферросодержащего вещества позволяет существенно повысить ее электрическую проводимость. Так, при измерении на частоте переменного тока 50 Гц значения повысились до 60–70% в зависимости от количества вводимого в состав порошка и составили $\sigma_{50} = 0,028–0,038$ См/м. Величина удельной электрической проводимости смеси без добав-

ки — $\sigma = 0,22$ См/м. Так же было отмечено, что включение 3–5% тонкодисперсной добавки наиболее эффективно по сравнению с использованием такого же количества порошка, так как позволяет получить более высокие значения электрической проводимости.

При оценке электропроводности, в качестве параметра контроля за степенью гидратации цемента, были рассмотрены образцы цементной смеси без добавок. Изменение значений удельного электрического сопротивления образца на частотах 25, 60 и 100 Гц представлены на рис. 2.

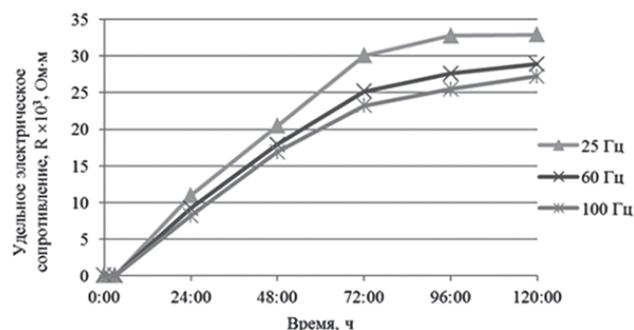


Рис. 2. Изменение удельного электрического сопротивления во времени образца цементной смеси без добавок при переменном токе

Полученные данные наглядно отражают зависимость значений электрической проводимости от степени гидратации цементного раствора.

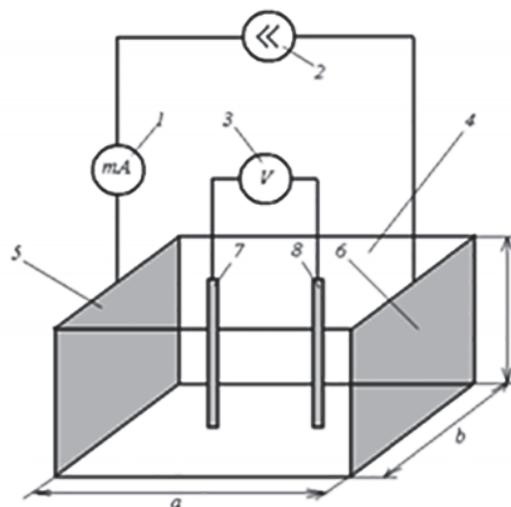


Рис. 3. Электрическая схема и устройство измерительной ячейки:

1 — миллиамперметр; 2 — источник тока; 3 — вольтметр; 4 — измерительная ячейка; 5, 6 — внешние полярирующие электроды; 7, 8 — внутренние измерительные электроды

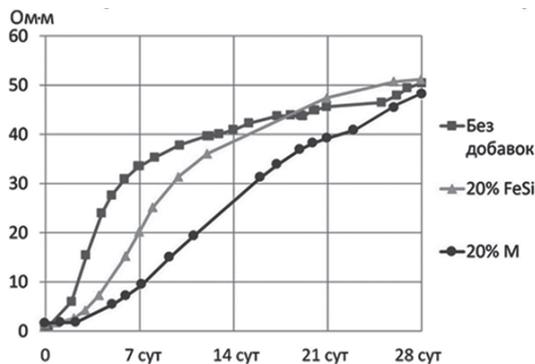


Рис. 4. Изменение удельного электрического сопротивления образцов во времени цементной смеси без добавок при постоянном токе

Однако конструктивные особенности прибора не позволяют непрерывно отслеживать изменение значений в процессе набора прочности раствором, вследствие чего были проведены аналогичные исследования на приборе АКАГ, который способен при постоянном токе опре-

делять удельное электрическое сопротивление образца размерами ($a \times b \times h$) $100 \times 50 \times 45$ мм и объемом $0,23 \text{ дм}^3$, помещенного в стандартную измерительную ячейку. Схема прибора представлена на рис. 4.

Во время проведения исследований ячейка с раствором помещалась в контейнер, где поддерживалась постоянная водонасыщенная воздушная среда. Результаты наблюдения образцов в течение 28 суток приведены на рис. 4.

Проведенные экспериментальные исследования по определению свойств цементного раствора и цементной смеси показали, что включение в его состав добавки ферросодержащего материала позволяет получить раствор с повышенными электропроводными свойствами.

Полученные данные подтверждают возможность использования значений удельного электрического сопротивления в качестве параметра контроля процесса гидратации растворной смеси.

Литература

1. Дзагов А.М. Технологические аспекты устройства буронабивной сваи и их влияние на несущую способность сваи [Текст] / А.М. Дзагов // Геотехника. — 2017. — № 2.
2. Chan F.W.Y., Tsang S.W.F. Quality assurance of concrete foundation elements using an ultrasonic evaluation technique // Foundation Testing. 2006. Vol. 6.
3. Karandikar D.V. Challenges to Quality Control in Bored Cast-In-Situ Piling in Growing Urban Environment // Indian Geotechnical Journal. 2017. DOI: 10.1007/s40098-017-0277-z.
4. Шулятьев О.А. Освоение подземного пространства городов [Текст] / О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева, В.С. Поспехов. — М.: Изд-во АСВ, 2017. — 510 с.
5. Ильичев В.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев. — М.: Изд-во АВС, 2014. — 728 с.
6. Патент РФ № 2642762. Способ усиления фундамента / Авдушева М.А., Невзоров А.Л., Айзенштадт А.М. Заявл. 10.03.2017. Опубл. 25.01.2018. Бюл. № 3.
7. Патент РФ № 2642760. Способ выявления и устранения дефектов изготавливаемой в грунте сваи / Авдушева М.А., Невзоров А.Л., Айзенштадт А.М. Заявл. 12.04.2017. Опубл. 25.01.2018. Бюл. № 3.
8. Lee H.-S., Kwon S.-J. Effects of Magnetite Aggregate and Steel Powder on Thermal Conductivity and Porosity in Concrete for Nuclear Power Plant // Advances in Materials Science and Engineering. 2016 Vol. 2016. URL: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/9526251/> (дата обращения: 14.12.2018).
9. Sikora P., Horszczaruk E., Cendrowski K., Mijowska E. The Influence of Nano-Fe₃O₄ on the Microstructure and Mechanical Properties of Cementitious Composites // Nano-scale Res Letters. 2016. Vol. 11. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-016-1401-1> (дата обращения: 14.12.2018).

References

1. Dzagov A.M. Tekhnologicheskie aspekty ustroystva buronabivnoy svai i ikh vliyaniye na nesushchuyu sposobnost' svai [Technological aspects of the device of a bored pile and their influence on the bearing capacity of the pile]. *Geotekhnika* [Geotechnical]. 2017, 1, 2.
2. Chan F.W.Y., Tsang S.W.F. Quality assurance of concrete foundation elements using an ultrasonic evaluation technique // *Foundation Testing*. 2006. Vol. 6.
3. Karandikar D.V. Challenges to Quality Control in Bored Cast-In-Situ Piling in Growing Urban Environment // *Indian Geotechnical Journal*. 2017. DOI: 10.1007/s40098-017-0277-z.
4. Shulyat'ev O.A., Mozgacheva O.A., Pospekhov V.S. *Osvoenie podzemnogo prostranstva gorodov* [The development of the underground space of cities]. Moscow: ASV Publ., 2017. 510 p.
5. Il'ichev V.A., Mangushev R.A. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya* [Reference geotechnical. Foundations, foundations and underground structures]. Moscow: AVS Publ., 2014. 728 p.
6. *Patent RF № 2642762. Sposob usileniya fundamenta* [RF patent № 2642762. A way to strengthen the foundation].
7. Avdusheva M.A., Nevzorov A.L., Ayzenshtadt A.M. *Patent RF № 2642760. Sposob vyyavleniya i ustraneniya defektov izgotovly-*

- aemoy v grunte svai* [F patent № 2642760. A method for detecting and eliminating defects in a pile being manufactured in soil].
8. Lee H.-S., Kwon S.-J. Effects of Magnetite Aggregate and Steel Powder on Thermal Conductivity and Porosity in Concrete for Nuclear Power Plant // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016 Vol. 2016. URL: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/9526251/> (accessed 14 December 2018).
 9. Sikora P., Horszczaruk E., Cendrowski K., Mijowska E. The Influence of Nano-Fe₃O₄ on the Microstructure and Mechanical Properties of Cementitious Composites // *Nanoscale Res Letters*. 2016. Vol. 11. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-016-1401-1> (accessed 14 December 2018).