

9. SNiP RK 5.01-03-2002 "Pile foundations". KAZGOR Design Academy, Almaty.

10. SNIP RK 5.01-01-2002. 2002. Soil grounds of the buildings. KAZGOR Design Academy, Almaty.

11. ASTM D4945-12. 2012. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations. ASTM International, West Conshohocken, PA.

12. Zhussupbekov A.Zh., Lukpanov R.E., Omarov A.R. Experience in Applying Pile Static Testing Methods at the Expo 2017 Construction Site. Scientific journal Soil Mechanics and Foundation Engineering: Issue 4: New-York, USA, 2016. P.251-256;

13. Zhussupbekov A.Zh., Omarov A.R. Geotechnical and Construction of pile foundations in difficult soils ground. Geotechnik-Tag in München Geotechnik Zusammen-wirken von For-schung und Praxis, 2016, München, p.41-48.

14. Zhussupbekov A.Zh., Omarov A.R. The Design of Foundations for the Mega Project "Expo 2017" in Astana, Kazakhstan. Monograph. "Building Technologies and Energy". Chapter 1. Cracow University of Technology. Cracow 2017, P. 7– 15.

УДК 624.154

ПРИМЕНЕНИЕ ДОБАВОК ФЕРРОМАТЕРИАЛОВ ПРИ УСИЛЕНИИ И УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ

Авдушева М.А., аспирант, **Невзоров А.Л.**, д-р техн. наук, профессор
(Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, РФ)

Аннотация

Фундаменты многих исторических зданий, изготовленные из бутового камня, из-за деструкции известкового раствора нуждаются в усилении, которое осуществляют обычно путём инъекции цементного раствора. При производстве работ возникает проблема осуществления контроля качества и, в частности, определения степени заполнения пустот и трещин.

При устройстве буронабивных свай контроль качества ствола осуществляют после набора бетоном прочности, как правило, обычно путём ультразвукового зондирования через пластиковые трубы, заблаговременно закреплённые на арматурном каркасе, когда устранить выявленные дефекты уже нельзя.

Для решения этих проблем авторами были разработаны способ усиления фундамента и способ устройства свай, в основу которых положено использование добавок электропроводного вещества для цементного раствора и бетонной смеси. Применение таких добавок позволит контролировать процессы заполнения пустот кладки и бетонирования ствола свай путем измерения электрической проводимости. В качестве таких добавок возможно применение ферросодержащих материалов: магнетита и ферросилиция. Лабораторные испытания показали, что указанные добавки не приводят к снижению прочности раствора и бетона.

Фундаменты исторических зданий и памятников архитектуры часто нуждаются в реконструкции и восстановлении. Причиной, как правило, служит потеря прочности известково-песчаным раствором в бутовой кладке из-за воздействия сезонного промерзания-оттаивания, агрессивной среды и т.п. Усиление тела таких фундаментов осуществляется обычно путём инъекции раствора через перфорированные трубы [1, 2]. Проблему представляет контроль за степенью заполнения пустот и швов в бутовой кладке. Как правило, степень заполнения можно оценить лишь при визуальном осмотре, фиксируя появление раствора на поверхности фундамента после откопки шурфов или при выбурировании керна, что значительно усложняет работы и увеличивает их продолжительность.

Технологически сложными и трудоёмкими являются работы, связанные с контролем качества буронабивных свай [3]. Существующие методы контроля путём отбора керна из свай или ультразвукового зондирования через пластиковые трубы, заблаговременно закреплённые на арматурном каркасе, позволяют оценить качество ствола лишь после набора прочности бетоном, когда устранить выявленные дефекты уже нельзя [4, 5].

Для решения этих проблем авторами были разработаны способы усиления фундамента и устройства буронабивных свай [6, 7]. Особенностью данных методов является использование цементного

раствора или бетонной смеси с добавками электропроводного вещества, применение которых позволит контролировать процесс заполнения пустот в кладке и сплошность ствола буронабивной сваи путём измерения электрического сопротивления.

По результатам исследований ряда ученых известно, что введение в состав цементного раствора или бетонной смеси небольшого количества тонкодисперстных добавок, например, оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , способствует улучшению структуры композита, так как небольшие по размерам частицы становятся центрами гидратации, ускоряющими процессы схватывания и твердения смеси [8, 9].

Целью проведённых исследований стало изучение свойств цементного раствора с разным количеством добавок электропроводных материалов, определение прочностных характеристик раствора и удельной электрической проводимости.

В качестве электропроводных добавок использовались порошки магнетита, добываемого на Кирыбинском месторождении в республике Башкирии, и мелкогранулированного ферросилиция IMEXSAR 270D. На основе исходного сырья было выделено 4 типа добавок, различной степени дисперсности. Характеристика добавок приведена в таблице 1.

Таблица 1
Характеристики применяемых добавок

Исходный материал	Магнетит		Ферросилиций	
	M1	M2	FS1	FS2
Обозначение	M1	M2	FS1	FS2
Тип добавки	Порошок	Тонкодисперсный порошок	Порошок	Тонкодисперсный порошок
Способ получения	Отсев зёрен крупнее 0,1 мм	Помол на планетарной шаровой мельнице	Отсев зёрен крупнее 0,1 мм	Помол на планетарной шаровой мельнице
Размер частиц	< 0,1 мм	258 ± 74 нм	< 0,1 мм	610 ± 108 нм

Измельчение зёрен до наноразмеров и получение тонкодисперсных порошков выполнялось с использованием планетарной шаровой мельницы Retsch PM-100. Диспергирование производилось путём сухого помола помещённого в помольный стакан исходного материала массой 200 гр в течение 60 минут при частоте вращения 420 об/мин. Размерные характеристики полученных порошков были определены на приборе Delsa Nano методом фотонно-корреляционной спектроскопии (таблицы 2, 3).

Таблица 2

Фракционное распределение частиц диспергированного магнетита М2 (99,1%)

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

Таблица 3

Фракционное распределение частиц диспергированного ферросилиция FS2 (99,5%)

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

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.

Прочность раствора определялась разрушающим методом. Испытания проводились на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм в возрасте 28 суток. Прочность на сжатие принималась по результа-

там разрушения шести половинок-образцов на гидравлическом прессе, обладающим максимальным усилием в 50 т. Все испытания проводились согласно методикам ГОСТ 310.4-81.

Удельная электрическая проводимость смеси цементного раствора была определена для образцов с добавкой магнетита. Для измерения значений на частотах от 25 Гц до 1 кГц использовался прибор-измеритель иммитанса Е7-20, принцип работы которого основан на методе вольтметра-амперметра, позволяющем оценить иммитансные характеристики исследуемого объекта. Смесь загружалась в ячейку размерами 50 × 50 мм при средней высоте около 3...3,5 мм.

Также при помощи измерителя иммитанса Е7-20 была проведена оценка электропроводности, как параметра для контроля за степенью гидратации, на пластинчатых образцах цементного раствора без добавки.

Помимо этого были проведены испытания образца на приборе АКАГ, который благодаря предусмотренной защите от поляризационного эффекта позволяет определить значения электрического сопротивления образца при постоянном токе.

Результаты определения прочности образцов цементного раствора при массе добавок 1, 3, 5, 10 % от массы цемента представлены на рисунке 1.

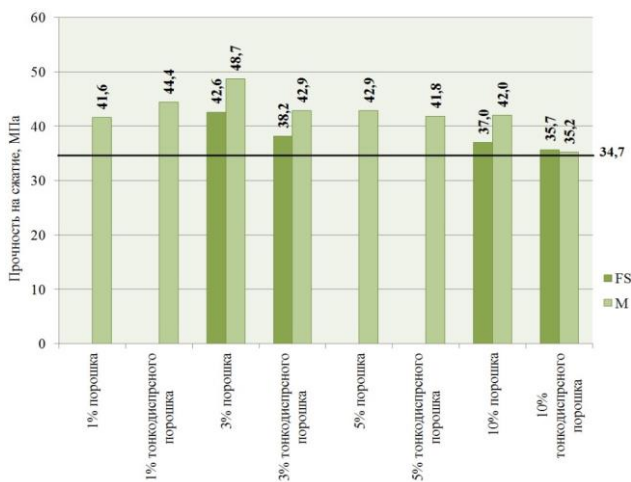


Рис. 1. Значения предела прочности на сжатие образцов

Сравнение результатов показало, что введение в состав исходной смеси добавок не приводит к снижению прочности цементного раствора. Все образцы с добавками показали значения выше, чем контрольные – 34,7 МПа. При этом включение порошков в количестве 1...3% от массы цемента приводит к большому нарастанию прочностных показателей.

Электропроводность растворной смеси оценивалась на образцах с различным содержанием добавки: 1, 3, 5, 10, 20%. Результаты исследований показали, что введение в состав смеси ферросодержащего вещества позволяет существенно повысить её 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 $\sigma_{50} = 0,028 \dots 0,038$ См/м. Величина удельной электрической проводимости смеси без добавки – $\sigma = 0,22$ 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. Результаты измерений удельного электрического сопротивления образца на частотах 25, 60 и 100 Гц представлены на рисунке 2.

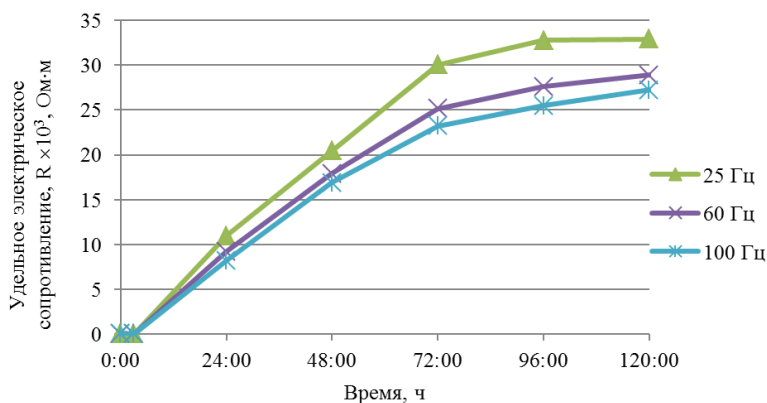


Рис. 2. Изменение удельного электрического сопротивления во времени образца цементной смеси без добавок при переменном токе

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

Однако конструктивные особенности прибора не позволяют непрерывно отслеживать изменение значений в процессе набора прочности раствором, вследствие чего были проведены аналогичные исследования на приборе КААГ, позволяющем при постоянном токе определять удельное электрическое сопротивление образца размерами ($a \times b \times h$) $100 \times 50 \times 45$ мм и объемом $0,23$ дм³, помещенного в стандартную измерительную ячейку. Схема прибора представлена на рисунке 3.

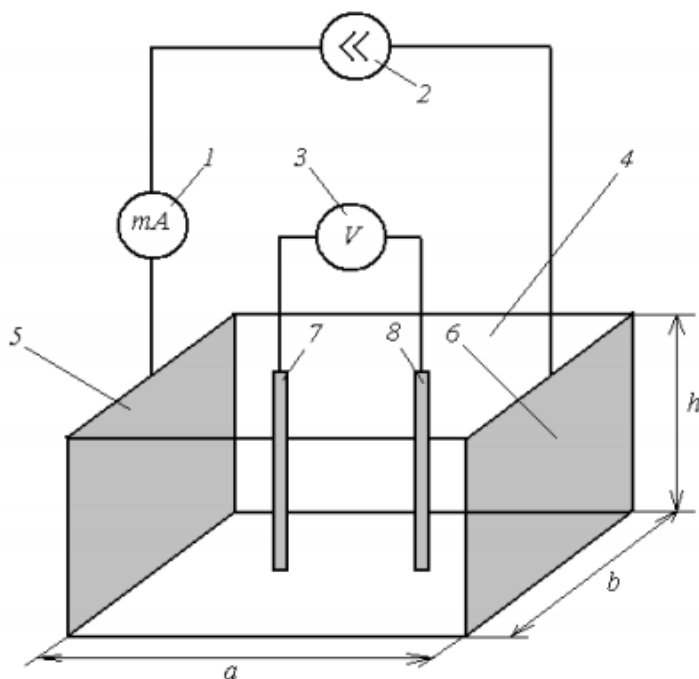


Рис. 3 – Электрическая схема и устройство измерительной ячейки:
1 – миллиамперметр; 2 – источник тока; 3 – вольтметр; 4 – измерительная ячейка;
5, 6 – внешние поляризующие электроды, 7, 8 – внутренние измерительные электроды

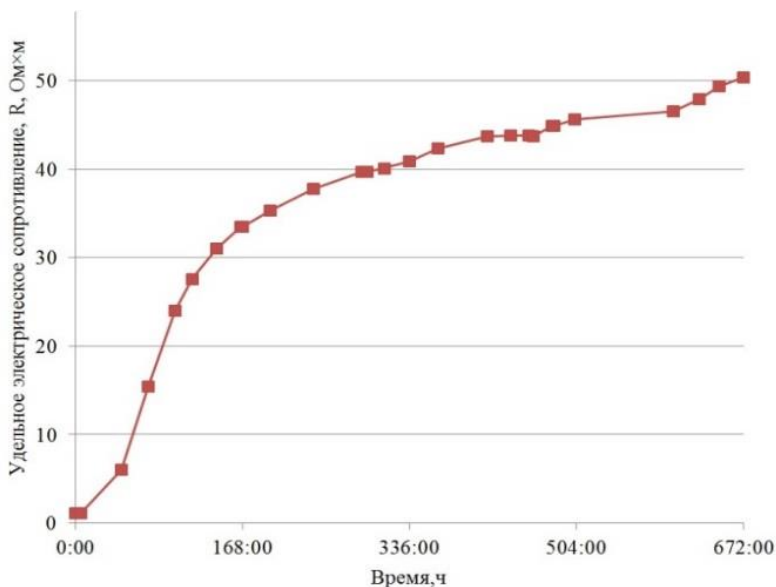


Рис. 4. Изменение удельного электрического сопротивления во времени образца цементной смеси без добавок при постоянном токе

Во время проведения исследований ячейка с раствором была размещена в контейнере, где поддерживалась постоянная водонасыщенная воздушная среда. Результаты наблюдения образца в течение 28 суток приведены на рисунке 4.

Проведенные экспериментальные исследования по определению свойств цементного раствора и цементной смеси показали, что включение в исходный состав добавки ферросодержащего материала позволяет получить раствор с повышенными электропроводными свойствами, не уступая при этом в прочностных показателях.

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

Целью дальнейших исследований станет определение зависимости удельного электрического сопротивления смеси во времени с учётом введения в состав исследуемых добавок, а также сопоставление полученных результатов с данными контрольных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шулятьев О.А., Мозгачева О.А., Поспехов В.С. Освоение подземного пространства городов: научное издание – М.: Издательство АСВ, 2017. – 510 с.
2. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения – М.: Издательство АСВ, 2014. –728 с.
3. Дзагов А.М. Технологические аспекты устройства буронабивной сваи и их влияние на несущую способность сваи // Геотехника № 2, 2017.
4. Chan F.W.Y., Tsang S.W.F. Quality assurance of concrete foundation elements using an ultrasonic evaluation technique // Foundation Testing, 2006. Vol. 6.
5. 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
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. <https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/9526251/> (дата обращения 1.06.2018).
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. <https://link.springer.com/article/10.1186/s11671-016-1401-1> (дата обращения 1.06.2018).