

Экспериментальные исследования влияния активированной воды затворения на технологические свойства строительной цементной смеси

А.Ф. Юдина

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация. В статье представлены экспериментальные исследования влияния активированной воды затворения на технологические свойства строительных цементных смесей, приготовленных на воде, обработанной в электрическом поле растворимых электродов. В результате обработки воды, в электрическом поле растворимых электродов происходит растворение материала электродов, и, в зависимости от параметров поля (напряженность, сила тока), вода насыщается многовалентным гидроксидом алюминия, что, в свою очередь, влияет на образование кристаллизационной структуры, которая образуется за счет химического взаимодействия вяжущего и ионов растворенного материала электродов. В результате образования кристаллогидратов ускоряется процесс твердения и способствует повышению технологических свойств строительной смеси (прочность, нормальная плотность смеси, сроки схватывания). **Цель исследования:** научное обоснование влияния воды, обработанной в электрическом поле растворимых электродов на повышение технологических свойств строительной смеси. **Методы:** экспериментальные исследования влияния воды затворения, обработанной в электрическом поле растворимых электродов из алюминия в зависимости от материала электродов и характеристик электрического поля на технологические свойства смеси. Для определения эффекта повышения технологических характеристик строительной смеси исследовалось влияние продолжительности и режимов подготовки воды на прочность цементного камня в разные сроки твердения, сроки схватывания, пластичность смеси. **Результаты:** Результаты экспериментальных исследований доказали возможность повышения технологических свойств строительных смесей, приготовленных на воде, прошедшей обработку в электрическом поле растворимых электродов, подтвердили возможность повышения прочности на сжатие исследуемых образцов по сравнению с контрольными образцами. Цементная смесь, приготовленная на обработанной воде, более пластична, чем смесь, приготовленная на обычной воде. **Ключевые слова:** электрическое поле, растворимые электроды, напряженность, цементный камень, прочность, подвижность.

1 Введение. Перспективным направлением в развитии технологии приготовления строительных смесей является повышение их технологических свойств с использованием различных методов воздействия на компоненты смеси [1, 2], в том числе, электрических. При этом воздействие возможно, как отдельных компонентов смеси [3, 4], например, на цемент или воду затворения, так и на растворную или бетонную смесь.

Вяжущие системы представляют собой твердую составляющую — цемент (вяжущее вещество) и жидкую — затворитель (вода затворения),

которые, вследствие химических и физических процессов, способны отвердевать, превращаясь в камневидное тело, так называемый искусственный камень.

В процессе твердения происходит химическая реакция связывания жидкости затворения с вяжущим - процесс гидратообразования [5 – 7] и формирование пространственного каркаса и структуры твердения - процесс структурообразования.

Выполнено достаточно много исследований по активации компонентов строительной смеси разными методами (магнитным, электрическим разрядом, изменением рН и др.), [8, 9] с целью улучшения прочностных показателей цементного камня, но большинство из них применялись на практике без достаточного научного обоснования.

При обработке воды затворения постоянным электрическим полем растворимых электродов происходит ее активация. В результате растворения алюминиевых электродов в воде наблюдается увеличение концентрации ионов гидроксида алюминия [10], обладающего высокой дисперсностью и активностью, способствующий ускорению процесса твердения вяжущей системы.

Также в работах некоторых исследователей отмечено, что эффект обработки воды затворения возможен при определенном сочетании продолжительности подготовки воды - не более 15 мин и напряженности поля - до 50 в/см.

При смешивании вяжущего с обработанной водой происходит активная реакция между гидратом окиси кальция и гидроксидом алюминия [11]. В результате реакции образуются гидроалюминаты кальция, которые распределяются равномерно, образуя армированную цепочечными агрегатами структуру и служащие готовыми центрами кристаллизации. При взаимодействии цемента с водой ускоряется процесс выкристаллизации

новообразований, что способствует ускорению процесса твердения. Также гидроксид алюминия легче адсорбируется на зернах вяжущего и продуктах гидратации, [12, 13], что, в результате, приводит к пластификации теста, затворенного его водой, предварительно обработанной постоянным электрическим полем растворимых электродов.

Экспериментальные исследования влияния активированной воды затворения на технологические свойства строительной цементной смеси проводились с использованием блока электрообработки (ячейки), представляющей собой герметичную емкость из двух алюминиевых пластин в качестве растворимых электродов, размером 10x15 см изолированных между собой диэлектриком. К пластинам, соответственно, подводился электрический постоянный ток (плюс и минус) (рис.1).

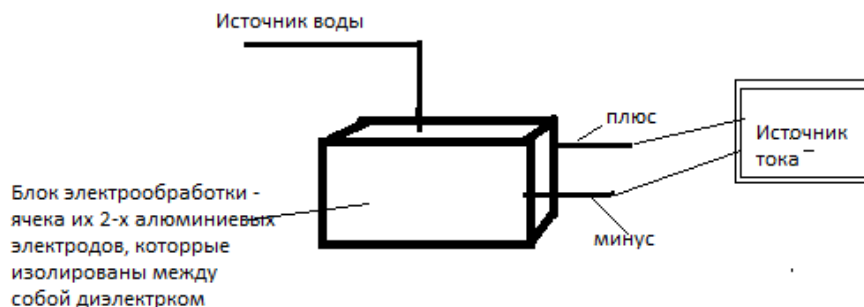


Рис. 1. Экспериментальная установка.

В эксперименте использовались электроды из сплава алюминия, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица № 1

Состав материала электродов

Наименование материала электродов	Состав примесей	Количество, %
Алюминий АМГ-2	Медь	4,2
	Магний	0,5
	Марганец	0,5

В эксперименте использовались цементы марок - М300, 400 и вода, электропроводностью равной $0,75 \cdot 10^{-6} - 0,76 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, ионный состав которой представлен в табл. 2.

Таблица № 2

Ионный состав воды

Наименование примесей	Концентрация, мг/л
Железо Fe^{2+} и Fe^{3+}	0,16
Алюминий Al^{3+}	0,2
Кальций Ca^{2+}	9,8
Магний Mg^{2+}	2,1
Калий K^{+}	0,82
Натрий Na^{+}	0,33
Оксид кремния SiO_3^{2-}	0,55
Хлор Cl^{-}	4,2
Диоксид кремния SiO_4^{2-}	7,2

Приготавливались образцы из цементного теста размером 3 x 3 x 3 см с водоцементным отношением в пределах 0,25 - 0,32 с использованием обработанной воды затворения в течении 1-15 мин с напряженностью поля от 10 до 35 В/см – исследуемые образцы. Для сравнения значений прочности приготавливались контрольные образцы, приготовление на обычной водопроводной воде – контрольные образцы.

После выдержки в естественных условиях, исследуемые и контрольные образцы испытывались на прочность в разные сроки твердения.

Анализ структуры исследуемых и контрольных образцов проводился с использованием микроскопа с увеличением до 250^{\times} .

3 Результаты и обсуждение. В зависимости от используемых цементов разных марок, продолжительности подготовки воды от 1 до 10 мин., напряженности электрического поля от 10 до 40 В/см, плотности эл. тока от 1 до 3 мА/см^2 определялась эффективность использования обработанной воды по прочности цементного камня в разные сроки твердения, срокам схватывания и нормальной густоте.

Для исследуемых образцов использовалась обработанная электрическим полем вода, для контрольных образцов - не обработанная. Цементное тесто укладывалось и уплотнялось в формы размером 3 x 3 x 3 см и выдерживались в воде в течение 7 и 28 суток, после чего исследуемые и контрольные образцы испытывались на прочность.

Результаты испытаний исследуемых образцов показали прирост прочности на сжатие в разные сроки твердения. При этом прочность образцов возрастает с увеличением продолжительности подготовки воды от 0 до 5 минут. (рис. 2).

Эффект повышения прочности на сжатие исследуемых образцов достигается при напряженности поля 20 и 30 В/см и продолжительности процесса подготовки воды в течение от 2 до 7 мин.

Зависимость нормальной густоты цементного теста от параметров обработки воды затворения - напряженности эл. поля и продолжительности представлена на рис. 3.

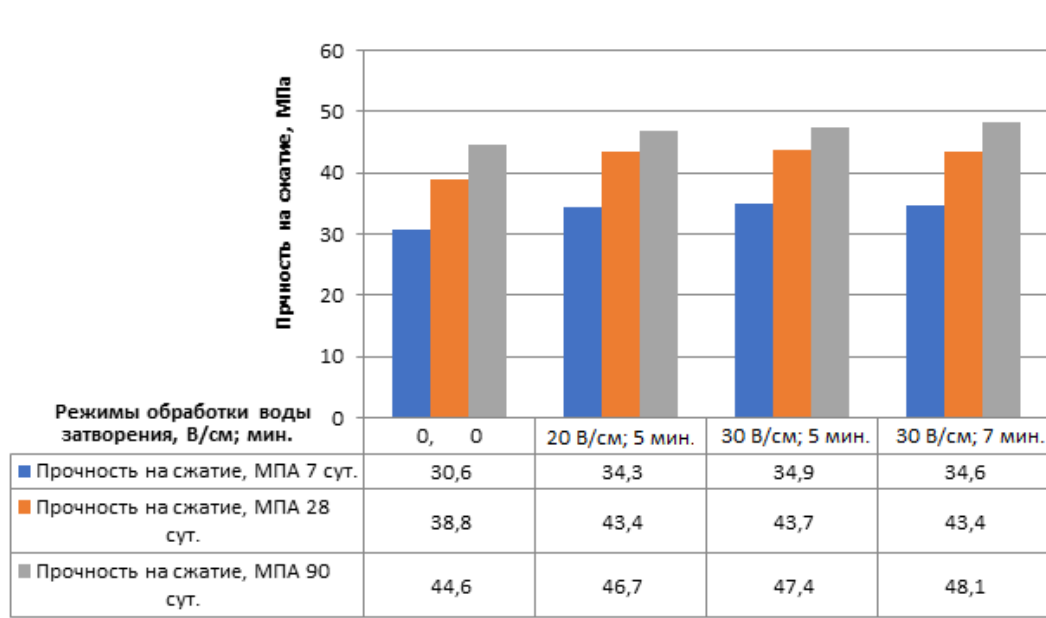


Рис. 2. Зависимость значений прочности образцов на сжатие от режимов обработки воды затворения

Цементное тесто, затворенное на обработанной воде в течение 2-7 минут и напряженности эл. поля 20 в/см и 30 в/см становится более пластичным. Так контрольная цементная смесь с водоцементным отношением 0,5, имела осадку конуса 6-7 см, а исследуемая смесь – 12 см. При повышении значений напряженности поля, нормальная густота исследуемого теста приближается к значению контрольного.

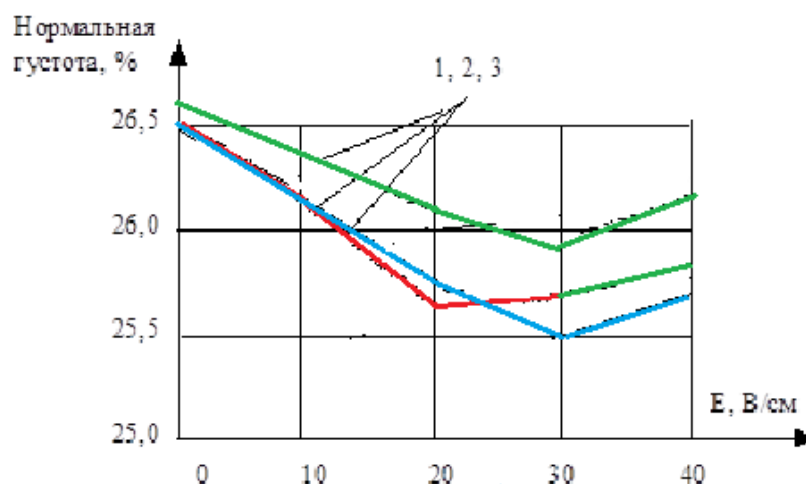


Рис. 3. Зависимость значений нормальной густоты цементного теста от напряженности электрического поля:
1 - 2 мин.; 2 - 5 мин.; 3 - 7 мин.

На основании результатов выполненных экспериментов были определены оптимальные режимы подготовки воды: $E=10, 20$ и 30 В/см; $I = 0,095 - 2,67$ мА/см² в течение от 2 до 5 минут.

Использование цементов разных марок с различным минералогическим составом не влияет на значения нормальной густоты цементного теста, т.к. гидроксид алюминия, образовавшийся в результате растворения электродов, химически модифицирует поверхность минералов цемента таким образом, что их активность при реакции с водой исчезает, что отражается на пластичности всей вяжущей системы.

Микроскопический анализ исследуемых образцов с режимами подготовки воды при $E=20$ в/см в течении 5 минут (б) и контрольных (а)

образцов, приготовленных на обычной воде, проводился с целью выявления влияния подготовленной воды на структуру цементного камня.

Для микроскопического анализа изготавливались шлифы, с которых проводилась съемка с увеличением до 250^{\times} и последующий сравнительный анализ контрольных и исследуемых образцов (рис. 4).

Структура исследуемых образцов более плотная и равномерная, поры практически отсутствуют в исследуемых образцах, по сравнению с контрольными. Это означает, что на процессы структурообразование оказывает непосредственное влияние подготовка воды электрическим полем растворимых электродов.

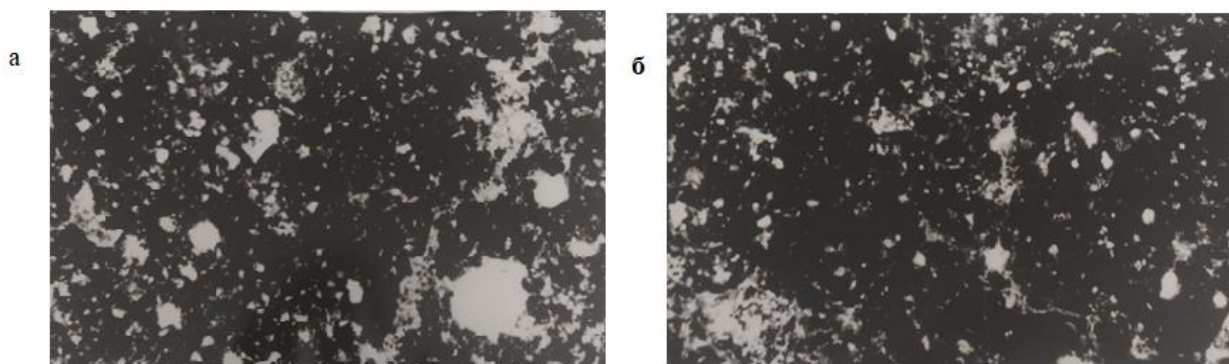


Рис. 4. Микроструктура цементного камня
а - контрольный образец; б – исследуемый

Заключение. На основании результатов проведенных экспериментальных исследований, были определены оптимальные режимы подготовки воды: $E=10, 20$ и 30 В/см; $I = 0,095 - 2,67$ мА/см² в течение от 2 - 5 минут. Эффект пластичности смеси достигается при напряженности поля 20 и 30 В/см и продолжительности процесса подготовки воды в течение 5-7 мин.

Результаты испытаний исследуемых образцов с использованием цемента М 400 показали максимальный прирост прочности до 33 %, а с

использованием цемента М500 – 33-35% в разные сроки твердения, что подтверждает эффективность использования обработки воды.

Эффект повышения прочности заключается в том, что вода, обработанная электрическим полем растворимых электродов, отличается от обычной воды повышенным содержанием ионов кислорода и водорода, а также увеличением концентрации многовалентных ионов гидроксида алюминия, способствующих возрастанию сил взаимодействия при кристаллизации новообразований. Обработанная постоянным электрическим полем вода затвердения непосредственно влияет на характер образующихся связей и тем самым способствует укрупнению кристаллогидратов, которые переплетаются и срачиваются друг с другом, образуя прочные структуры твердения.

Микроскопический анализ исследуемых образцов с режимами подготовки воды при $E = 20$ в/см в течении 5 минут и контрольных образцов, приготовленных на обычной воде, показал, что структура исследуемых образцов по сравнению с контрольными более плотная и равномерная, поры практически отсутствуют, что подтверждает эффективность влияния на процессы структурообразования использование воды, предварительно обработанной электрическим полем растворимых электродов из алюминия.

Проведенные исследования использования подготовки воды затвердения путем обработки ее в электрическом поле растворимых электродов в процессе приготовления смеси, результаты которых представлены в статье, подтверждают эффект повышения технологических свойств строительных смесей и возможность применения этого метода в технологии строительного производства.

Литература

1. Мочалов А. В., Тимохин А. М., Муталибов З. А. Современные методы активации вяжущего // Фундаментальные основы строительного материаловедения. 2017. С. 236-246. eLIBRARY ID: 36305810.
2. Шамис Э., Присяжнюк М., Избында, Иванов В. Теория активации воды для производства бетонов на минеральных вяжущих // Вестник ИНЦЕРКОМ. 2014. № 5. С. 131-142.
3. Помазкин В.А. Физическая активация воды затворения бетонных смесей // Белгород, Строительные материалы 2003. № 2. С. 14-16.
4. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.
5. Ляшенко В.А., Перфилов Д.А., Весова Л.М. Мелкозернистый наномодифицированный бетон // Инженерный вестник Дона. 2022. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7928.
6. Загороднюк Л. Х., Сумской Д. А., Чепенко А. С. Особенности процессов гидратации высокодисперсных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2018. №. 12. С. 105-113. DOI: 10.12737/article_5c1c996833c2a4.78589509.
7. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М., Стройиздат. 1981. С. 182 - 220.
8. Горленко Н.П. Активация жидкости затворения цементных композиций магнитным и электрическим полями // Вестник ТГУ. Бюллетень оперативной научной информации. 2006. № 6. С. 62-78.
9. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И., Чепурненко А.С., Сухин Д.П. О влиянии некоторых технологических факторов на качество бетона монолитных

железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2021. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7256.

10. Yudina, A. Non-reagent methods for the activation of concrete mix raw components in the construction industry. *Architecture and Engineering*. 2019. Vol. 5, Issue 1. pp. 30–35. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-30-35.

11. Yudina, A. and Verstov, V. On efficient use of electric treatment methods in the technology of concrete work. *World Applied Sciences Journal* 2013. V. 23 (Problems of Architecture and Construction). pp. 9–12. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23. pac.90003.

12. Иващенко Ю.Г., Мамешов Р.Т. Управляемые воздействия на структурообразование и свойства цементных бетонов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022. Т. 49, №2. С. 1-10. URL://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-2-123-132.

13. Gartner E.M., Macphee D.E. A physico-chemical basis for novel cementitious binders // *Cement and Concrete Research*. 2011. Т. 41, № 7. pp.736-749. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.006

References

1. Mochalov A. V., Timohin A. M., Mutalibov Z. A. Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya. 2017. pp. 236-246. eLIBRARY ID: 36305810.

2. Shamis Je, Prisyazhnyuk M., Izbynda A., Ivanov V. Vestnik INCERKOM. 2014. № 5. pp. 131-142.

3. Pomazkin V.A. Belgorod, Stroitel'nye materialy. 2003. № 2. pp. 14-16.

4. Saidov D.H., Umarov U.H. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634/

5. Ljashenko V.A., Perfilov D.A., Vesova L.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022 № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7928ashheniya



6. Zagorodnjuk L. H., Sumskej D. A., Chepenko A. S. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. VG Shuhova. 2018. №. 12. pp. 105-113. DOI: 10.12737/article_5c1c996833c2a4.78589509.
7. Ahverdov I.N. M., Strojizdat. 1981. pp. 182 - 220.
8. Gorlenko N.P. Vestnik TGU. Bjulleten' operativnoj nauchnoj informacii. 2006. № 6. pp. 62-78.
9. Nesvetaev G.V., Korjanova Ju.I., Chepurnenko A.S., Suhin D.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7256
10. Yudina, A. Architecture and Engineering, 2019. Vol. 5, Issue 1. pp. 30–35. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-30-35.
11. Yudina, A. and Verstov, V. World Applied Sciences Journal 2013. V. 23 (Problems of Architecture and Construction). pp. 9–12. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23. pac.90003.
12. Ivashhenko Ju.G., Mameshov R.T. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2022. T. 49, №2. pp. 1-10. URL: doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-2-123-132.
13. Gartner E.M., Macphee D.E. Cement and Concrete Research. 2011. T. 41, № 7. pp.736-749. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.006.