

УДК 502.51:537.8:666.9

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА СВОЙСТВА БЕТОНА

²Фомичев В.Т., ¹Ерофеев В.Т., ¹Емельянов Д.В., ³Матвиевский А.А., ¹Митина Е.А.

¹ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,

Саранск, e-mail: emelyanoffdv@yandex.ru;

²ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», Волгоград;

³ОАО «МАКСМИР», Москва, e-mail: maxmir@maxmir.ru

В настоящее время существует широкий спектр технологических приемов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру и свойства цементных композитов, одним из которых является активация воды и водных растворов, применяемых для затворения. В статье рассматривается проблема применения электрохимической активации природной воды в технологии получения бетонных смесей и бетонов. Показано, что основные процессы твердения вяжущего, приготовленного на электрообработанной воде, связаны с электродными (во время обработки воды) и электрокинетическими (во время твердения смеси) процессами. Приведено теоретическое обоснование процесса получения растворов с заданными физико-химическими свойствами. Задавать ионный состав можно электрохимическим растворением металлов. Рассмотрены общие закономерности электрохимического окисления металлов и частный случай генерации ионных структур на основе железа и алюминия. Определены наиболее вероятные границы изменения параметров электрического поля и плотности тока при электрохимической активации природной воды. Управляя ионным составом используемой для затворения воды, можно управлять физико-механическими свойствами получаемого цементного камня.

Ключевые слова: бетоны и другие цементные композиты, вода затворения, природная вода, электрохимическая активация, центры кристаллизации, электрохимический потенциал

THE INFLUENCE OF ELECTRODE REACTIONS IN THE PROCESSES OF ELECTROMAGNETIC ACTIVATION OF NATURAL WATER MIXING ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

²Fomichev V.T., ¹Erofeev V.T., ¹Emelyanov D.V., ³Matvievskiy A.A., ¹Mitina E.A.

¹Mordovian State University n.a. N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: emelyanoffdv@yandex.ru;

²Volgograd State Architectural and Construction University, Volgograd;

³JSC «MAXMIR», Moscow, e-mail: maxmir@maxmir.ru

Currently there is a wide range of technological methods, it provides a systematic way to control the structure and properties of cement composites, one of which is the activation of water and aqueous solutions used for mixing. The article considers the problem of applying electrochemical activation of water in the technology of concrete mixtures and concrete. It is shown that the basic processes of hardening binder, prepared with water, treated in an electrolyzer connected with the electrode during water treatment and electrokinetic (during curing of the mixture) processes. Theoretical justification of the process of obtaining solutions with desired physico-chemical properties. To set the ionic composition may electrochemical dissolution of metals. The General rules of electrochemical oxidation of metals and a special case of the generation of ion structures on the basis of iron and aluminum. Determined the most probable range of variation in parameters of the electric field and current density during the electrochemical activation of water. Controlling the ion composition used for mixing water can be controlled physico-mechanical properties of the resulting cement.

Keywords: concrete and other cementitious composites, water mixing, natural water, electrochemical activation, the centers of crystallization, the electrochemical potential

Разработка эффективных композитов на цементных связующих, обеспечивающих улучшение их эксплуатационных показателей и снижение материалоемкости, является важной задачей в области строительного материаловедения.

В настоящее время существует широкий спектр технологических приемов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру и свойства цементных композитов. Одним из таких технологических при-

емов является активация воды затворения, которая инициирует химические процессы, протекающие в цементно-водных системах.

Поэтому необходимо уделять значительное внимание в технологии изготовления материалов на основе цементных вяжущих исходному состоянию воды затворения, которая во многом определяет технологические и эксплуатационные свойства полученного материала [3, 5, 4]. При направленном действии внешних физических

полей (электрических, магнитных, тепловых, звуковых и других) вода меняет свои свойства. Такая вода затворения во многом определяет характер процессов гидратации и структурообразования цементных систем [6, 1, 12].

Одним из технологических приемов обработки воды является использование электрического тока для проведения химических процессов на границе металл – электропроводящий раствор – вода (электролит).

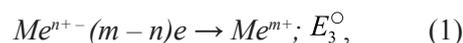
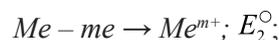
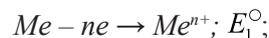
Образование цементного камня состоит из ряда протекающих во времени физико-химических процессов, в которых важнейшую роль играет вода [10]. Исследования влияния магнитного поля на процесс схватывания и кристаллизации цементного камня касались вопросов влияния напряженности магнитного поля на его прочностные характеристики. Изменения свойств получаемого камня связываются с влиянием магнитного поля на структурные характеристики воды. Однако известно, что сохранение возмущающего магнитного действия в воде имеет очень короткий временной промежуток [9]. Это относится к «абсолютной химически чистой воде». Для затворения строительного цементного раствора, как правило, используется природная вода, имеющая различный ионный состав, различную величину жесткости. Поэтому природа ионного состава воды определяет «отклик» на воздействие магнитного поля и структуру водного раствора. Особое значение имеет наличие в растворе многовалентных ионов металлов, в частности железа, алюминия, кальция, магния.

Управляя ионным составом используемой для затворения воды, можно управлять физико-механическими свойствами получаемого цементного камня. Задавать ионный состав можно различными способами, в частности электрохимическим растворением металлов. Рассмотрим общие закономерности электрохимического окисления металлов и частный случай генерации ионных структур на основе железа и алюминия.

При анодном растворении металлов с повышением плотности тока в прианодном слое повышается концентрация ионов растворяемого металла. Эта концентрация может расти до предела растворимости по данному иону в данном растворе электролита. При этом анодный потенциал и напряжение на электролизере начинают возрастать. При полном, плотном покрытии анода слоем соединений данного иона (окисный слой) может привести к прекращению процесса растворения. Это явление

называется механической (или солевой) пассивностью анода.

Металлы, образующие ионы различных степеней окисления, имеют и различные потенциалы, отвечающие соответствующим реакциям:



где n – низшая степень окисления; m – высшая степень окисления.

Согласно первому закону термодинамики сумма максимальных работ первого и третьего процессов должна быть равна максимальной работе второго процесса, т.е.

$$mFE_2^0 = nFE_1^0 + (m - n)eFE_3^0, \quad (2)$$

откуда

$$E_2^0 = \frac{|nE_1^0 + (m - n)E_3^0|}{n}. \quad (3)$$

Из этого следует, что потенциал растворения металла в форме высшей валентности лежит между потенциалами двух процессов, причем если $m = 2$, а $n = 1$, то E_2^0 лежит точно посередине двух других потенциалов. При этом могут иметь место два случая:

а) E_1^0 положительнее E_2^0 (случай растворения меди);

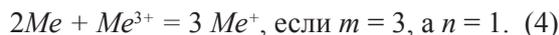
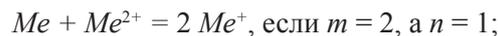
б) E_1^0 отрицательнее E_2^0 (случай растворения железа).

Следует учитывать, что в присутствии металла в растворе будет тот катион, потенциал которого в условиях электролиза более электроотрицателен.

При растворении железа это будет двухвалентный ион, т.к.

$$E_1^0 = -0,44 \text{ В}, \quad E_2^0 = -0,04 \text{ В}.$$

Во всех случаях образования металлом ионов разных валентностей при анодном растворении он будет переходить в форме обоих ионов. Концентрации их в растворе должны определяться равновесием



Эти равновесные концентрации между ионами высшей и низшей валентности определяются соотношением потенциалов E_1^0 и E_2^0 .

При анодном растворении железа (стали), в случае применения стального анода,

соотношение равновесных концентраций в электролите между Fe^{2+} и Fe^{3+} можно вычислить по уравнению

$$E_1^0 + \left(\frac{RT}{2F}\right) \ln|Fe^{2+}| = E_2^0 + \left(\frac{RT}{3F}\right) \ln|Fe^{3+}|. \quad (5)$$

Принимая концентрацию (активность) двухвалентного железа равной 1 г-иону/л, получаем

$$-0,44 = -0,04 + \left(\frac{0,059}{3}\right) \lg|Fe^{3+}|$$

и

$$\lg|Fe^{3+}| - (-0,44 + 0,04) \cdot \frac{3}{0,059} = \quad (6)$$

$$= -6,7 \cdot 3 = -20,1.$$

Следовательно, процесс перехода в раствор железа в форме трехвалентного иона столь незначителен, что им можно пренебречь и при анодном растворении железного электрода преимущественно образуются ионы двухвалентного железа.

Согласно диаграмме Пурбе (диаграмме электрохимического равновесия воды в системе железо – вода) (рис. 1), при величине $pH = 7$ и потенциале анода более положи-

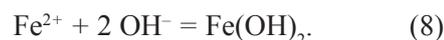
тельном, чем 0,4 В, возможно устойчивое состояние двухвалентных ионов железа [11].

Электрохимический потенциал железного электрода по реакции: $Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+}$ в соответствии с уравнением Нернста описывается уравнением

$$E_{Fe/Fe^{2+}} = E_{Fe/Fe^{2+}}^0 + 0,0259 \lg a_{Fe^{2+}}, \quad (7)$$

где $a_{Fe^{2+}}$ – активность ионов железа, г-экв./л; $E_{Fe/Fe^{2+}}^0$ – стандартный электрохимический потенциал электрода, равный – 0,44 В.

Образование труднорастворимого гидроксида железа вблизи анода описывается уравнением



Гидроксид железа является труднорастворимым соединением. Активность ионов железа в растворе с $pH = 7$ ничтожна и может быть выражена через величину произведения растворимости $Fe(OH)_2$:

$$ПР_{Fe(OH)_2} = a_{Fe^{2+}} \cdot a_{OH^-}^2,$$

откуда

$$a_{Fe^{2+}} = \frac{ПР_{Fe(OH)_2}}{a_{OH^-}^2}. \quad (9)$$

Электродные потенциалы и pH гидратообразования

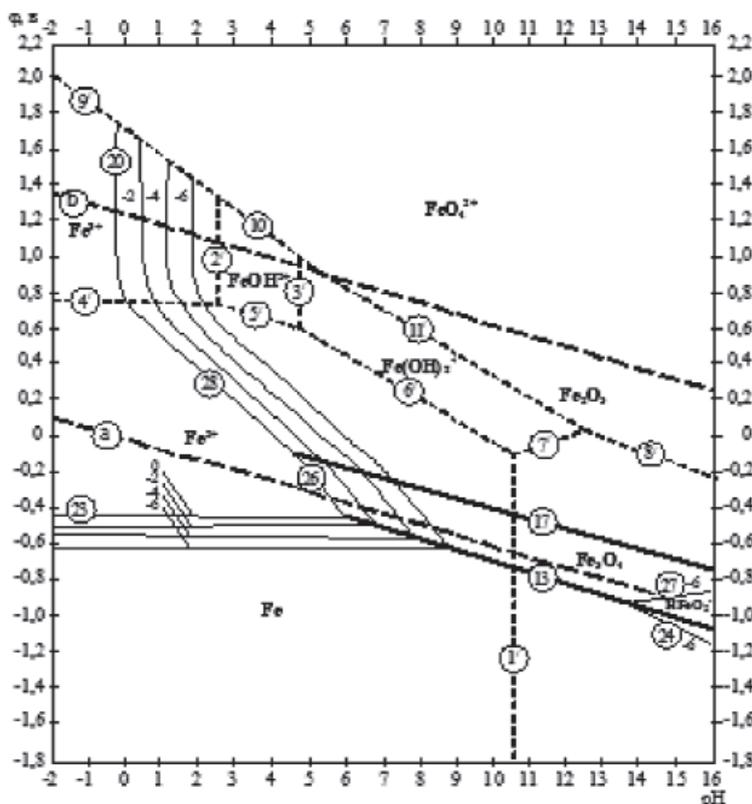


Диаграмма $\phi - pH$ для системы железо – вода при 25°C (негидратированная форма окислов)

Значение ПР составляет $4,8 \cdot 10^{16}$ [10].
Подставив (6) в (7), получаем

$$E_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}} = -0,44 + 0,0295 \lg \frac{\text{ПР}_{\text{Fe}(\text{OH})_2}}{a_{\text{OH}^-}^2} = \quad (10)$$

$$= -0,44 + 0,0295 \lg 4,8 \cdot 10^{16} - 2 \cdot \lg a_{\text{OH}^-}.$$

Отрицательный логарифм активности ионов OH^- является гидроксильным показателем pOH , подобно водородному показателю pH . При нейтральном значении $\text{pH} = 7$ гидроксильный показатель pOH также равен 7, поскольку всегда сумма $\text{pH} + \text{pOH} = 14$, тогда

$$E_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}} = -0,44 + 0,0295 \cdot \lg(4,8 \cdot 10^{16}) +$$

$$+ 2 \cdot 0,0295 \cdot \text{pOH} = -0,44 + 0,0295 \cdot \lg 4,8 -$$

$$- 16 \cdot 0,0295 + 2 \cdot 0,0295 \cdot 7 = -0,44 + \quad (11)$$

$$+ 0,0295 \cdot 0,68 - 16 \cdot 0,0295 +$$

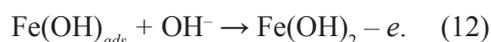
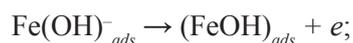
$$+ 2 \cdot 0,0295 \cdot 7 = -0,44 + 0,02 -$$

$$- 0,472 + 0,413 = -0,479 \text{ В.}$$

Приведенные выше расчетные значения равновесных потенциалов рассмотренных реакций характеризуют термодинамическую возможность протекания их в прямом или обратном направлениях.

Смещение потенциала электрода в область более положительных значений смещает равновесные процессы на электроде в анодную область – увеличится количество ионизирующихся атомов железа и, с возрастанием тока, протекающего через электрод, возрастает концентрация ионов железа, выходящих в прианодное пространство и последующих химических реакций данных ионов с противоионами, находящимися в растворе электролита.

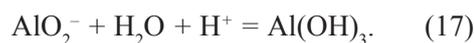
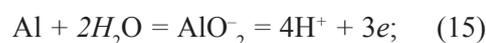
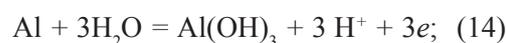
При больших плотностях тока на аноде потенциал электрода достигает величин, при которых происходит окисление воды и прианодное пространство подкисляется – pH смещается в область меньшую 7, достигая величин 3–5. При этом согласно [14] процесс идет через



В результате высока вероятность образования кристаллов окисногидроксидных соединений железа, имеющих размеры от 1 до 100 нм. Эти частицы имеют избыточную поверхностную энергию, в силу чего крайне неустойчивы и через образование и коагу-

ляцию образующихся мицеллярных структур переменного состава стабилизируются [8]. При взаимодействии с электрическим и магнитным полями данные дисперсные структуры могут являться активными центрами кристаллизации процессов затвердения, влияя в дальнейшем на структуру и механические свойства цементного камня.

При использовании алюминиевого анода в камере электрохимической активации, исходя из термодинамических предпосылок, можно рассмотреть систему: алюминий – водные растворы. В этом случае можно записать реакции, которые могут происходить с участием алюминия и его солей в воде:



Для анализа воспользуемся стандартными величинами потенциалов Гиббса [7] для данных соединений с целью определения работы каждого из процессов.

В процессе растворения алюминия затрачивается энергия, зависящая от величины электродного потенциала.

Для реакции (13) величина работы составит

$$A_{\text{станд}} = \left(-dG_{\text{Al}^{3+}}^0 \right) - \left(-dG_{\text{Al}}^0 \right) = 480,23 \text{ кДж/г-ион.}$$

Величина стандартного потенциала алюминия $E^0 = -1,66 \text{ В}$.

Если активность ионов Al^{3+} не равна нулю,

$$E = E^0 + \frac{RT}{3F \cdot \ln a_{\text{Al}^{3+}}} = \quad (18)$$

$$= -1,66 + 0,0197 \lg a_{\text{Al}^{3+}}.$$

Величины стандартной работы образования

Вещество	Стандартная работа образования, $(-dG^0, \text{кДж/моль})$
H_2O	236,73
OH^- (р-р)	156,99
Al^{3+} (р-р)	480,23
AlO_2^- (р-р)	818,14
$\text{Al}(\text{OH})_3$ (аморф.)	1135,42
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (гидроаргилит)	2315,94

Для реакции (14): величина
 $A_{\text{станд}} = 447,78$ кДж/моль, следовательно
 $E^0 = -1,55$ В.

Считая, что $a_{\text{Al}} = a_{\text{H}_2\text{O}} = a_{\text{Al(OH)}_3} = 1$,
 получим

$$E = -1,55 - 0,059 \text{ рН.}$$

Для реакции (15) величина
 $A_{\text{станд}} = 360,503$ кДж/моль или $E^0 = -1,262$ В.

Для иной концентрации:
 $\varphi = 1,262 + 0,0197 \lg a_{\text{AlO}_2^-} - 0,0788 \text{ рН.}$

Для реакции (16) величина
 $A_{\text{станд}} = 206,763$ кДж/моль.

Известна связь работы с константой
 равновесия реакции $A_{\text{станд}} = RT \lg K$.

Учитывая, что
 $2,3 \cdot RT = 5695,674$ Дж/моль·град.,
 получим

$$A_{\text{станд}} = 5695,674 \cdot \lg K.$$

В рассматриваемом равновесии

$$K = \frac{a_{\text{Al(OH)}_3}}{a_{\text{Al}^{3+}} \cdot a_{\text{OH}^-}^3}.$$

Переменив знаки и учтя, что для твердого осадка гидроаргиллита $a_{\text{Al(OH)}_3} = 1$,
 получим

$$\lg a_{\text{Al}^{3+}} \cdot a_{\text{OH}^-}^3 = -36,3.$$

Произведение активностей данных ионов представляет собой произведение растворимости гидраргиллита при образовании в растворе ионов Al^{3+} и 3-OH^- .

В процессе восстановления водорода на катоде прикатодный раствор подщелачивается. В щелочной среде гидроокись алюминия в любой форме может растворяться с образованием алюмината AlO_2^- . Таким образом, для реакции (17) $A_{\text{станд}} = 83100$ Дж/моль.

Отсюда

$$83100 = 5695,67 \lg K$$

или

$$\frac{83100}{5695,671} = \lg |K| = \lg a_{\text{AlO}_2^-} \cdot a_{\text{H}^+},$$

откуда $\lg a_{\text{AlO}_2^-} \cdot a_{\text{H}^+} = -14,6$.

Выражение под логарифмом также представляет собой произведение растворимости для гидроксида алюминия (гидроаргиллита). Начало образования осадка при увеличении рН найдем, исходя из величины константы равновесия (17).

Если

$$a_{\text{Al}^{3+}} = 1,$$

то $\lg a_{\text{OH}^-}^3 = -36,3$.

Но

$$a_{\text{OH}^-} = \frac{K_w}{a_{\text{H}^+}} = \frac{10^{-14}}{a_{\text{H}^+}}.$$

Тогда

$$\frac{\lg(10^{-143})}{a_{\text{H}^+}^3} = -36,3,$$

откуда

$$-42 - 3 \lg a_{\text{H}^+} = -36,3$$

или $\text{рН} = 42 - 36,3/3 = 1,9$.

В более щелочных растворах должен появиться осадок гидраргилита. При дальнейшем увеличении щелочности раствора он стабилен в интервале рН от 1,9 до 14,6.

Зависимость потенциала алюминиевого электрода от кислотности раствора определяется диаграммой равновесия $\varphi - \text{рН}$ для системы $\text{Al} - \text{H}_2\text{O}$ представлена в виде диаграмм Пурбе [11].

В нейтральных водных растворах алюминий корродирует с определенной скоростью, возрастающей при увеличении анодной поляризации. И только при достижении достаточно положительного потенциала наступает пассивность поверхности алюминиевого электрода.

Накопление дисперсных частиц гидраргиллита в момент окисления алюминия обеспечивает образование мицеллярных структур, стабилизирующих эти частицы, и тем самым возможно их участие в процессах, где используется вода с образованными частицами гидраргиллита, в частности в процессах образования строительных растворов – использование электрохимически активированной воды.

Протекание электрического тока через воду сопровождается процессами на катоде – электроде, потенциал которого при этом смещается в область более отрицательных потенциалов относительно равновесного. По мере смещения происходят процессы восстановления структур, имеющих положительный заряд. Очередность восстановления определяется величиной заряда и концентрацией частиц, несущих данный заряд (ион, мицеллярная структура и др.).

При прохождении тока через воду (водные растворы) вероятно восстановление ионов водорода из молекул воды, не останавливаясь на стадиях разряда (Фольмер, Гейровский, Тафель), по интегральной схеме:



Поскольку ионы гидроксония обладают самой высокой подвижностью, то диффузионный ток по катионам водорода в чистой

воде достигается при $pH > 1$ и значительных плотностях тока. При восстановлении водорода из воды, определяющей скорость процесса, является стадия Фольмера – разряд адсорбированных на катоде атомов водорода [13].

Выделение водорода на катоде происходит при потенциале более отрицательном, чем обратимый потенциал E , отвечающий pH данного раствора:

$$E_n = RT/\ln a_n = -b^0 pH. \quad (20)$$

Величина водородного перенапряжения составляет значительную долю напряжения на ваннах при электролизе воды и хлоридных растворов. При увеличении плотности тока связь перенапряжения выделения водорода с плотностью тока выражается уравнением Тафеля:

$$df = a + b \lg i. \quad (21)$$

Константа a соответствует перенапряжению водорода при плотности тока 1 A/cm^2 , константа b дает изменение перенапряжения при десятикратном изменении плотности тока. Величина a меняется в широких пределах при изменении природы катодного металла: от $-0,1 \text{ В}$ для платины до $-1,5 \text{ В}$ для свинца. Величина b меняется в более узких пределах от $0,03$ до $0,12$. Максимальное перенапряжение водорода наблюдается в нейтральных растворах и линейно уменьшается с отклонением pH в обе стороны от точки нейтральности.

Перенапряжение водорода уменьшается с ростом температуры и зависит от природы металла катода и плотности тока.

Таким образом, активно влияя на структуру водных систем и формы нахождения в них примесей, можно регулировать физико-химические свойства воды и тем самым изменять процессы структурообразования и свойства цементных композитов. Учитывая большое количество условий, оптимальные режимы обработки должны устанавливаться экспериментальным путем. При этом для определения пределов варьирования устанавливаются наиболее вероятные границы изменения отдельных параметров и их сочетаний.

Так, напряженность электрического поля при обработке воды может быть назначена исходя из того, что концентрация гидроксида металла при растворении материала электродов в результате электрохимических процессов увеличивается непропорционально напряженности электрического поля. Увеличение напряженности выше $50\text{--}60 \text{ В/см}$ приводит к нелинейному увеличению концентрации гидроксида. Кроме того, условия безопасной работы установки

по обработке воды с позиций охраны труда обязывают использовать напряжение $30\text{--}50 \text{ В/см}$.

При плотности тока от 1 до 5 mA/cm^2 наступает равновесие между процессами растворения металла и образования пассивирующих пленок, и электрод растворяется равномерно, без пассивации. Увеличение плотности тока смещает равновесие в сторону образования пассивирующих слоев и приводит к полной пассивации электродов. Следовательно, плотность тока при обработке воды затворения электрическим полем необходимо поддерживать до 5 mA/cm^2 .

При увеличении продолжительности обработки воды происходит увеличение концентрации гидроксида металла. Время обработки может назначаться в пределах от долей секунд до нескольких десятков минут. В производственных условиях продолжительность обработки воды не должна задерживать основной процесс приготовления бетонной смеси, то есть время на обработку воды должно примерно равняться времени на дозирование компонентов, их загрузку и прочие операции.

Таким образом, при обработке воды затворения электрическим полем растворимых электродов наиболее вероятные границы изменения напряженности электрического поля должны находиться в пределах от 1 до 50 В/см , плотности тока – от 1 до 5 mA/cm^2 , продолжительности обработки – не более $1\text{--}20$ мин. Точные значения расчетных параметров устанавливаются экспериментальным путем.

Список литературы

1. Бахар В.М. Электрохимическая активация. – М.: ВНИИИМТ, 1992. – 627 с.
2. Добош Д. Электрохимические константы. Справочник для электрохимиков. – М.: Мир, 1980. – 202 с.
3. Ерофеев В.Т. Долговечность цементных композитов на активированной воде / В.Т. Ерофеев, А.А. Матвиевский, Д.В. Емельянов и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 7. – С. 51–53.
4. Ерофеев В.Т. Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст / В.Т. Ерофеев, В.Т. Фомичев, Д.В. Емельянов и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2013. – Вып. 30(49). – С. 179–183.
5. Ерофеев В.Т. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения / В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина, А.А. Матвиевский // Строительные материалы. – М., 2007. – № 11. – С. 56–57.
6. Классен В. И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
7. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. К.П. Мищенко. – Л.: Химия, 1967. – 184 с.
8. Кузнецова Т.В., Кудрешов И.В., Тимашов В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.

9. Левич В.Г. Успехи физ. наук. – 1966. – № 4. – С. 787–788.

10. Ребиндер П.А. Физико-химические представления о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ. – Матер. совещ. по химии цемента. – М.: Промстройиздат, 1956. – С. 125–138.

11. Справочник химика. Т. 3. – М.: Химия, 1964. – 774 с.

12. Улазовский В.А., Ананьина С.А. Влияние омагниченной воды затворения на процессы кристаллизационного твердения цементного камня. – Волгоград. Волгоградский институт инженеров городского хозяйства, 1970. – 114 с.

13. Феттер К. Электрохимическая кинетика. – М.: Химия, 1967. – 860 с.

14. Флорианович Г.М., Соколова Л.А., Колотыркин Я.М. К вопросу о механизме анодного окисления железа. – М.: Электрохимия. – т. 3. – 1967. – 1359 с.

References

1. Bahar V.M. *Elektrohimicheskaya aktivatsiya* [Electrochemical activation]. Moscow : VNIIMT, 1992. 627 p.

2. Dobosh D. *Elektrohimicheskie konstanty. Spravochnik dlya elektrokhimikov* [Electrochemical constants. A Handbook for electrochemical]. Moscow : MIR, 1980. 202 p.

3. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Emelyanov D.V., Judin P.V. *Dolgovechnost' cementnykh kompozitov na aktivirovannoy vode* [Durability of cement composites along a water]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2008. no. 7. pp. 51–53.

4. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Osipov A.K., Emelyanov D.V., Judin P.V. *Kompozitsionnye stroitel'nye materialy na aktivirovannoy vode zatvoreniya* [Composite building materials on an activated water mixing]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2007. no. 11. pp. 56–57.

5. Erofeev V.T., Fomichev V.T., Emelyanov D.V., Rodin A.I., Eremin A.V. *Vlijanie aktivirovannoy vody zatvoreniya na strukturoobrazovanie cementnykh past* [The effect of activated water mixing structure of cement pastes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Volgograd state architectural and construction University]. Ser.: Construction and architecture. 2013. Vol. 30(49). pp. 179–183.

6. Klassen V.I. *Omagnichivanie vodnykh sistem* [The magnetised water systems]. Moscow : Chemistry, 1982. 296 p.

7. *Kratkii spravochnik fiziko-himicheskikh velichin* [A brief Handbook of physical-chemical variables] / Pod red. K.P. Mischenko. Leningrad : Chemistry, 1967. 184 p.

8. Kuznecova T.V., Kudreshov I.V., Timashov V.V. *Fizicheskaya himiya vyajuschiykh materialov* [Physical chemistry binders]. Moscow : Higher school, 1989. 384 p.

9. Levich V.G. *Uspehi fiz. nauk* [Advances in physical Sciences]. 1966, no. 4. pp.787-788.

10. Rebinder P.A. *Fiziko-himicheskie predstavleniya o mehanizme shvatyvaniya i tverdeniya mineralnykh vyajuschiykh veschestv* [Physico-chemical views on the mechanism of setting and hardening of mineral binders]. *Mater. sovesch. po himii cementa* [Proceedings of meetings on the chemistry of cement]. Moscow : *Promstroizdat*, 1956. pp. 125–138.

11. *Spravochnik himika* [Chemist's Handbook]. Vol. 3. Moscow : Chemistry, 1964. 774 p.

12. Ulazovskii V.A., Ananina S.A. *Vliyanie omagnichennoi vody zatvoreniya na processy kristallizatsionnogo tverdeniya cementnogo kamnya* [Influence minichannel mixing water on the crystallization processes of hardening of the cement stone]. Volgograd. Volgograd Institute of engineers urban, 1970. 114 p.

13. Fetter K. *Elektrohimicheskaya kinetika* [Electrochemical kinetics]. Moscow: Chemistry, 1967. 860 p.

14. Florianovich G.M., Sokolova L.A., Kolotyrkin Ya.M. *K voprosu o mehanizme anodnogo okisleniya zheleza* [To the question about the mechanism of anodic oxidation of iron]. Moscow : Electrochemistry. Vol. 3. 1967. 1359 p.

Рецензенты:

Фокин Г.А., д.т.н., профессор кафедры «Физика и химия», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;

Монастырев П.В., д.т.н., профессор, директор института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.