

УДК 691.32:628.16.081.32

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ НА АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЕ ЗАТВОРЕНИЯ

¹Ерофеев В.Т., ²Фомичев В.Т., ¹Емельянов Д.В., ¹Балатханова Э.М., ¹Родин А.И.,
³Еремин А.В., ⁴Матвиевский А.А., ¹Фомин Н.Е., ¹Юдин В.А., ¹Кяшкин В.М.

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

Саранск, e-mail: AL_Rodin@mail.ru;

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

³ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,

Москва, e-mail: aleks.eremin@gmail.com;

⁴ОАО «МАКСМИР», Москва, e-mail: maxmir@maxmir.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований свойств цементных композитов на активированной воде затворения. Методом рентгенофазового анализа установлены особенности фазовых превращений в твердеющих композитах, а также их зависимость от режимов активации воды затворения и длительности твердения. Установлено, что применение в цементных композитах воды затворения, обработанной электрическим током и магнитным полем, позволяет интенсифицировать процессы растворения и гидратации цемента, увеличить содержание гидросиликатов кальция и, как следствие, повысить прочность цементных композитов. Проведены экспериментальные исследования по установлению влияния мелкого и крупного заполнителя на формирование прочности цементных композитов на активированной воде затворения. Из результатов исследования следует, что для всех материалов: цементного камня, раствора и бетона – характерно повышение прочности в случае применения активированной воды затворения. При использовании в строительных композитах в качестве вяжущего портланд-цемента, произведенного в Чеченской Республике, рекомендуется использовать при затворении воду, обработанную электрическим током и магнитным полем по режиму $E + M(6-6) - j_{max} = 43,55 \text{ A/m}^2, H_{max} = 135 \text{ кА/м}$.

Ключевые слова: цементные композиты, активированная вода затворения, прочность, рентгенофазовый анализ, физико-механические свойства

INVESTIGATION OF CEMENT COMPOSITES ON ACTIVATED MIXING WATER

¹Erofeev V.T., ²Fomichev V.T., ¹Emelyanov D.V., ¹Balatkhanova E.M., ¹Rodin A.I.,
³Eremin A.V., ⁴Matvievskiy A.A., ¹Fomin N.E., ¹Yudin V.A. ¹Kyashkin V.M.

¹Mordovia State University n.a. N.P. Ogareva, Saransk, e-mail: AL_Rodin@mail.ru;

²Volgograd State Architectural and Construction University, Volgograd;

³Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: alexs.eremin@gmail.com;

⁴JSC «MAXMIR», Moscow, e-mail: maxmir@maxmir.ru

The paper presents the results of experimental studies of the properties of cement composites activated water mixing. By X-ray analysis of the specific features of phase transformations in curing composites, as well as their dependence on the activation modes of mixing water and the duration of curing. It has been established that the use of a composite cement mixing water, treated with electric current and the magnetic field allows to intensify the process of dissolution and hydration of the cement, increase the amount of calcium hydrosilicates and consequently increase the strength of the cement composites. Experimental study on the effect of the establishment of small and large aggregate formation strength cement composites activated water mixing. From the results of the study shows that for all materials – cement paste, mortar and concrete characterized by increased strength in the case of activated water mixing. When used in building composites as a binder Portland cement produced in the Chechen Republic, is recommended for mixing with water treated with an electric current and the magnetic field on the treatment of $E + M(6-6) - j_{max} = 43,55 \text{ A/m}^2, H_{max} = 135 \text{ kA/m}$.

Keywords: cement composites, activated water mixing, strength, X-ray analysis, mechanical properties

Цементные композиционные материалы представляют собой неоднородное капиллярно-пористое тело, структура и свойства которых определяются водоцементным отношением, объемной концентрацией наполнителя и цемента, их зернового состава и т.д. [1]. Регулирование процесса структурообразования цементных композитов наряду с подбором оптимальных структурных показателей возможно также за счет применения различных технологических приемов, одним из которых является активизация твердения вяжущих. Это широко

распространенный технологический прием, используемый в строительной индустрии для достижения максимальной эффективности при производстве железобетонных конструкций. Научной основой теории активизации служат современные представления о процессах твердения минеральных вяжущих, исследования закономерностей и механизма образования и развития пространственных структур с учетом комплекса превращений цементного камня, воды затворения, раствора и бетона. Активизация вяжущих веществ может начинаться с момента

их производства и продолжаться в течение всего периода твердения материалов [8, 10], т.е. вследствие активационной обработки ощущается в композиционных материалах в течение длительного времени их службы благодаря явлениям структурной наследственности и сохранения определенной направленности гидратационного процесса, заданного на первоначальных этапах преобразования вяжущего в пластичной цементной дисперсии [3, 7]. Присутствие в жидкой фазе цементного теста различных ионов и молекул, поступающих в систему в результате различных воздействий (введение добавок, обработка воды магнитным и другими полями и т.д.), определенным образом влияет не только на структуру воды затворения, но и на процессы адсорбции, растворения и поверхностной гидратации, а в итоге – и на свойства самого цементного композита [1].

Улучшение структурных показателей, физико-механических свойств и долговечности бетонов и других цементных материалов достигается за счет применения активированной воды затворения. Для получения активированной воды используются механические, термические, магнитные, электромагнитные, электрохимические, лазерные, ультразвуковые, плазменные, разрядно-импульсные и другие методы активации [1, 2, 6]. Одним из перспективных направлений активации воды является её совместная последовательная обработка магнитным полем и электрическим током [1, 4, 5].

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований по установлению влияния режимов активации воды затворения, а также мелкого и крупного заполнителя на формирование структуры и прочности цементных композитов. Для этого были изготовлены образцы из цементного теста, строительного раствора и бетонной смеси. В качестве вяжущего использовали цемент производства Чеченского цементного завода, мелкого заполнителя – кварцевый песок с $M_{кр} = 2$, крупного заполнителя – гранитный щебень фракции 5–10 мм. Вода затворения применялась питьевая активированная и неактивированная. Для получения воды, обработанной электромагнитным полем, применялась установка магнитной противонакипной обработки воды УПОВС-1 «Максмир», а электроактивированную воду получали с помощью аппарата электроактивации воды АЭ-1,0/6 «Максмир». Вода активировалась по режимам: Э + М (1-1), Э + М (3-3) и Э + М (6-6). Э + М (1-1) – природная вода, обработанная аппаратом электрохимической активации с максимальной плотностью переменного тока $j_{max} = 5,65 \text{ A/m}^2$, затем магнитным аппаратом с максимальной

напряженностью переменного электромагнитного поля

$$H_{max} = 24 \text{ кА/м}; \text{ Э + М (3-3) } - j_{max} = 22,58 \text{ A/m}^2;$$

$$H_{max} = 75 \text{ кА/м}; \text{ Э + М (6-6) } - j_{max} = \\ = 43,55 \text{ A/m}^2, \quad H_{max} = 135 \text{ кА/м}.$$

Согласно [1] количество мелкого заполнителя в составах раствора было выбрано из соотношения 1:3, а состав бетона был принят из соотношения 1:1,053:1,789 (цемент : кварцевый песок : гранитный щебень). В каждом случае приготавливались равноподвижные составы.

На первом этапе проведены исследования процессов структурообразования цементных композитов на активированной воде затворения. С целью установления структурных изменений, происходящих в цементных композитах на основе активированной воды затворения, нами были проведены рентгеноструктурные исследования, заключающиеся в их анализе. Регистрация дифрактограмм осуществлялась на дифрактометре ARL X'tra (Швейцария), который представляет собой полноразмерный порошковый дифрактометр θ - θ геометрии с радиусом гониометра 260 мм и источником – узкофокусной трубкой мощностью 2200 Вт (Cu аноды). В приборе использован энергодисперсионный твердотельный детектор с охладителем Пельтье, позволяющий исключить пассивные элементы (бета-фильтры/монокроматоры) из оптической схемы прибора за счет программного отделения K β и флуоресцентного излучения. Инструментальное разрешение прибора составляет $0,04^\circ 2\theta$ при сохранении высокого соотношения «сигнал/шум».

Образцы цементного камня были измолоты в агатовой ступке агатовым пестиком с ацетоном. Далее пробы были просеяны через сито с апертурой 90 мкм, далее остаток на сите вновь молотся до тех пор, пока все пробы не были просеяны через сито. Истертые пробы помещались в круглые держатели с верхней загрузкой внутренним диаметром 25,65 мм и глубиной 1,9 мм, изготовленные из специальной стали.

Регистрация дифрактограмм осуществлялась на $\text{CuK}\alpha_{1+2}$ излучении в интервале углов $2\theta = 4-80^\circ$ в пошаговом режиме и временем экспозиции 1 секунда в каждой точке. Во время съемки образец вращался со скоростью 60 оборотов/минуту.

Для качественного фазового анализа использовали базу данных ICDD PDF-2. Анализ проводили по межплоскостным расстояниям в ручном режиме по методу Ханавальта и в полуавтоматическом режиме с использованием программного обеспечения Oxford Crystallographica Search Match.

Количественный рентгенофазовый анализ по методу Ритвельда проводили с использованием программного обеспечения Siroquant 3

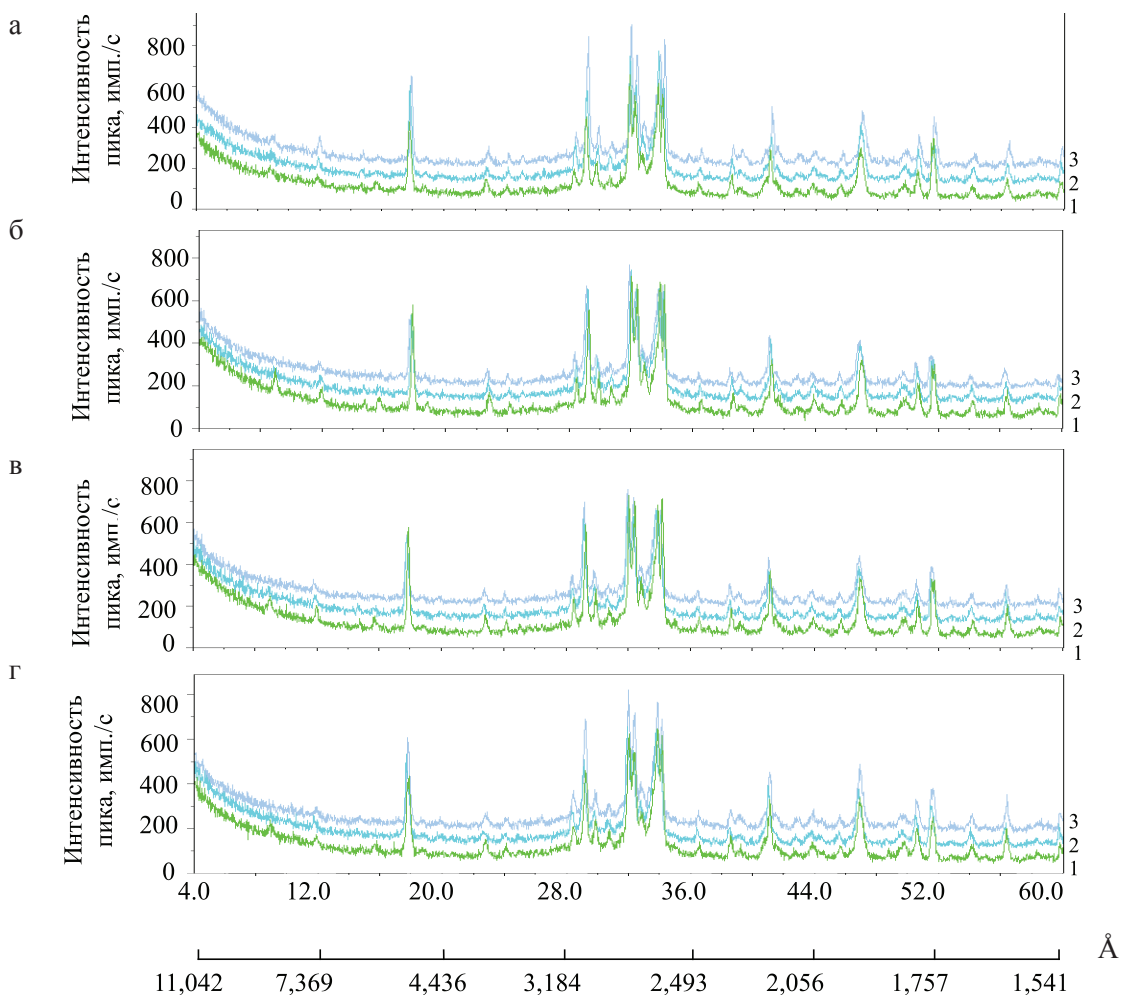
Sietronics Pty Ltd. Для всех фаз уточнялись параметры: шкальный фактор, смещение нуля счетчика прибора, параметры фона (полиномом Чебышева 5-й степени), параметры элементарной ячейки. Также в уточнении для основных фаз (концентрация > 20% по массе) варьировали профильные параметры – использовалась профильная функция Pearson VII (U, V, W по зависимости Кальотти); текстура анализировалась по одноосной модели Марча – Долласа.

Снятие рентгенограмм производилось через 10, 28 и 56 суток твердения. Резуль-

таты рентгенофазового анализа процессов гидратации цемента Чеченского производства, затворенного водой, обработанной электрическим током и магнитным полем, в различные сроки твердения представлены на рисунке и в табл. 1 соответственно.

В ходе качественного анализа дифрактограмм, представленных на рисунке, было установлено, что в составах изученных образцов цементного камня, как на основе активированной, так и на неактивированной воде в период от 10 до 56 суток идентифицированы следующие минералы:

- C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$) $c d = [\dots; 3,022; \dots; 2,776; 2,730; \dots; 2,602; \dots; 2,185; \dots; 1,771; 1,752; \dots; 1,632; \dots]$;
- C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$) $c d = [\dots; 2,878; \dots; 2,785; 2,748; \dots; 2,609; \dots; 2,189; \dots]$;
- C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) $c d = [\dots; 2,700; \dots; 2,204; \dots; 1,908; \dots; 1,558; \dots; 1,349; \dots]$;
- C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) $c d = [7,240; \dots; 2,770; 2,670; 2,630; \dots; 2,040; \dots; 1,920; \dots]$;
- $C_3A_3H_{32}$ ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) $c d = [9,730; \dots; 5,610; \dots; 3,880; \dots; 3,480; \dots; 2,773; \dots]$;
- CH ($Ca(OH)_2$) $c d = [4,930; 3,110; 2,630; 1,930; 1,790; 1,690; \dots]$;
- $C-S-H$ (I) ($CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$) $c d = [\dots; 3,070; 2,800; \dots; 1,830; \dots]$;
- $CaCO_3$ $c d = [\dots; 3,029; \dots; 1,912; \dots; 1,869; \dots]$.



Дифрактограммы цементного камня на чеченском цементе в различные сроки твердения: 1 – 10 суток; 2 – 28 суток; 3 – 56 суток: а – обычная вода; б – вода, обработанная электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (1-1); в – вода, обработанная электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (3-3); г – вода, обработанная электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (6-6)

Таблица 1

Результаты количественного рентгенофазового анализа

Режим активации	Концентрации фаз, % масс.							
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Портландит	Эттрингит	Аморфная фаза (C–S–H)	Кальцит
10 суток								
«0»	36,4	11,7	3,8	10,1	11,3	1,1	25,0	0,6
Э + М (1-1)	30,3	11,9	2,8	9,2	11,3	2,9	30,0	1,5
Э + М (3-3)	31,2	11,1	2,1	9,2	13,1	2,6	30,0	0,7
Э + М (6-6)	29,6	10,9	2,9	9,0	15,0	1,3	30,0	1,3
28 суток								
«0»	25,7	11,1	1,7	10,3	9,4	0,5	40,0	1,3
Э + М (1-1)	21,2	11,1	1,3	9,2	9,6	0,4	45,0	2,1
Э + М (3-3)	21,0	11,7	1,3	9,8	9,6	0,3	45,0	1,3
Э + М (6-6)	16,6	10,3	1,3	8,8	11,3	0,0	50,0	1,8
56 суток								
«0»	22,1	11,2	1,4	10,1	5,8	0,7	45,0	3,9
Э + М (1-1)	18,8	10,8	1,3	7,4	8,2	0,0	50,0	3,8
Э + М (3-3)	19,1	10,7	1,6	7,8	8,3	0,0	50,0	2,7
Э + М (6-6)	14,2	10,1	1,2	6,1	6,8	0,0	57,3	4,3

Из результатов количественного рентгенофазового анализа цементного камня, согласно данным рисунка и табл. 1, следует, что после десяти суток твердения цементов наибольшее количество C–S–H геля (30% по массе) наблюдается у составов, полученных с применением активированной электрическим током и магнитным полем вода затворения. Это свидетельствует об интенсификации процесса гидратации цемента. Наименьшее количество C–S–H геля после десяти суток твердения (25% по массе) отмечено у контрольного состава. Анализируя дифрактограммы цементов, затворенных неактивированной и активированной водой затворения, которые твердели в течение десяти суток в нормально-влажностных условиях, можно отметить следующее. У цемента, затворенного активированной электрическим током и магнитным полем водой по режиму Э + М (6-6), к десяти суткам твердения отмечено большее растворение клинкерных минералов по отношению к контрольному составу: C₃S – на 18,5%, C₂S – на 7%, C₃A – на 23,5%, C₄AF – на 11%, а также почти на 25% больше, чем у контрольного состава, содержание портландита.

Из данных, представленных на рисунке и в табл. 1, также видно, что после 28 суток твердения цементов наибольшее количество C–S–H геля (50% по массе) зафиксировано у составов на активированной электрическим током и магнитным полем вода затворения по режиму Э + М (6-6). Для составов на воде, активированной по режи-

му Э + М (1-1) и Э + М (3-3), количество C–S–H геля равно 45%. В контрольном составе после 28 суток твердения его содержание значительно меньше и составляет 40% по массе. У цемента, затворенного активированной электрическим током и магнитным полем водой по режиму Э + М (6-6), к 28 суткам твердения также отмечено большее растворение клинкерных минералов по отношению к контрольному составу: C₃S – на 35,5%, C₂S – на 7%, C₃A – на 23,5%, C₄AF – на 14,5%, а также почти на 17% больше, чем у контрольного состава, содержание портландита. Также необходимо отметить, что для составов на активированной электрическим током и магнитным полем воде затворения по режиму Э + М (6-6) к 28 суткам отсутствует эттрингит.

Анализ процессов твердения цементов после 56 суток показывает наибольшее количество C–S–H геля (57,3% по массе) у составов, полученных на активированной электрическим током и магнитным полем воде затворения по режиму Э + М (6-6). Для составов на воде, активированной по режимам Э + М (1-1) и Э + М (3-3), количество C–S–H геля равно 50%. В контрольном составе после 56 суток твердения его содержание составляет 45% по массе. У цемента, затворенного активированной электрическим током и магнитным полем водой по режиму Э + М (6-6), к 56 суткам твердения характерно большее растворение клинкерных минералов по отношению к контрольному составу: C₃S – на 35,7%,

C_2S – на 9,8%, C_3A – на 14,3%, C_4AF – на 39,6%, а также почти на 15% больше, чем у контрольного состава, содержание портландита. Также необходимо отметить, что для составов на активированной электрическим током и магнитным полем воде затворения по всем представленным режимам к 56 суткам отсутствует этtringит.

На втором этапе исследований производилась оценка влияния активированной воды затворения на прочность цементного камня, строительного раствора и бетона. В строительстве используют цементные композиты, изготавливаемые с применением крупно- и среднезернистых заполнителей (гравия, щебня, песка) и тонкодисперсных наполнителей; среднезернистых заполнителей и тонкодисперсных наполнителей; только тонкодисперсных наполнителей без присутствия наполнителей, т.е. в виде цементного камня. В свежизготовленном состоянии они имеют две основные фазы: дисперсионную среду (жидкую) и дисперсную (твердую) фазу. В указанных выше составах количество дисперсионной и дисперсной фаз может находиться в пределах от 0 до 100%. Таким образом, образуются микро-, мезо- и макроструктуры, причем микродисперсный компонент при получении макродисперсного композита участвует при формировании последнего. Оптимальным структурам при этом соответствуют повышенные качественные показатели вяжущего вещества и наполненных композитов с их применением [9].

Применительно к цементному камню Пауерс показал, что его прочность находит-

ся в прямой зависимости от степени гидратации цемента:

$$R_{y.k} = a + \alpha = 2\,380 \alpha^3 \text{ кг/см}^2,$$

где α – величина степени гидратации цемента; $a = 2\,380 \text{ кг/см}^2$ – прочность цемента при полной гидратации. Обычно $\alpha = 0,5-0,6$, поэтому фактическая прочность цементного камня значительно ниже теоретически возможной [9].

Применительно к цементному бетону В.Н. Сизов, Н.В. Свечин и другие отмечают, что бетон представляет собой сложную многофазную систему, состоящую из цементного камня с равномерно распределенными в нем включениями в виде зерен песка и крупного заполнителя. Цементный клей, цементирующий заполняющую часть по поверхностям контакта, образует в конгломерате каркас, или «скелет» [9].

В наполненных композитах одновременно с развитием структуры в твердеющем тесте вяжущего протекают процессы по границам контакта с поверхностью заполняющей части. Под их влиянием происходит формирование структуры окаймляющих и омоноличивающих слоев вокруг зернистого заполняющего материала.

Были изготовлены партии цементных образцов с размерами $2 \times 2 \times 7$ и $4 \times 4 \times 16$ см, которые выдерживали для набора прочности в емкости с гидравлическим затвором. Прочность полученных образцов определяли через 3, 7, 28 дней отверждения методом разрушения. Значения прочности цементных композитов представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Прочность цементного камня в различные сроки твердения

Режим активации	Прочность при сжатии и изгибе (МПа) цементного камня в различные сроки твердения					
	3 суток твердения		7 суток твердения		28 суток твердения	
	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа
Неактив.	48,50	10,57	61,10	11,95	79,50	15,50
Э + М (1-1)	52,38	10,67	69,00	13,15	96,20	18,00
Э + М (3-3)	50,90	11,55	67,21	13,63	91,40	18,00
Э + М (6-6)	49,00	12,54	70,30	13,03	100,20	15,50

Из результатов исследований, видно, что совместное действие электрического тока и магнитного поля различной интенсивности на воду затворения активно влияет на процессы, обеспечивающие качественные характеристики получаемых цементных композитов. Анализ исследований влияния вида активированной воды на рост прочности цементного камня показал, что наиболее эффективным является применение воды, обработанной аппаратом электрохи-

мической активации с максимальной плотностью переменной тока $j_{max} = 43,55 \text{ А/м}^2$, затем магнитным аппаратом с максимальной напряженностью переменного электромагнитного поля $H_{max} = 150 \text{ кА/м}$. Прочность цементного камня с применением воды затворения, приготовленной по указанному режимам активации по сравнению с контрольными образцами оказалась выше более чем на 13, 37 и 27%, в возрасте 3, 7 и 28 суток соответственно.

Таблица 3

Прочность при сжатии и изгибе растворов в различные сроки твердения

Режим активации	3 суток твердения		7 суток твердения		28 суток твердения	
	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа
Неактив.	11,00	7,50	24,00	8,57	26,50	9,55
Э + М (1-1)	11,00	7,64	25,68	9,00	27,60	10,51
Э + М (3-3)	11,22	7,62	26,40	8,83	28,40	10,70
Э + М (6-6)	13,75	8,10	30,72	9,17	29,20	10,22

Таблица 4

Прочность при сжатии и изгибе бетонов в различные сроки твердения

Режим активации	3 суток твердения		7 суток твердения		28 суток твердения	
	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа
Неактив.	32,25	5,83	38,04	6,82	46,42	8,04
Э + М (1-1)	35,54	6,35	41,88	7,16	55,40	8,37
Э + М (3-3)	32,29	6,05	47,29	7,10	63,25	8,15
Э + М (6-6)	32,83	6,24	43,33	7,25	53,17	8,61

Существенную роль в упрочнении оптимальных наполненных структур играют такие факторы, как избыточная поверхностная энергия, минимум пор в контактной зоне, хорошая адгезия между вяжущим и заполнителем и т.д. Все это определяется характером протекания разных реакций, одну из определяющих ролей в которых играют свойства воды. Важным в этом случае является установление влияния активированной воды затворения на сохраняемость эффектов повышения прочности при введении мелких и крупных заполнителей.

Проведены экспериментальные исследования по установлению влияния мелкого и крупного заполнителя на формирование прочности цементных композитов на активированной воде затворения. Результаты испытаний приведены в табл. 3–4.

Из результатов исследования следует, что для всех материалов – цементного камня, раствора и бетона – характерно повышение прочности в случае применения активированной воды затворения.

Выводы

В результате проведенного рентгенофазового анализа гидратированных цементов на активированной электрическим током и магнитным полем воде затворения уста-

новлены особенности фазовых превращений в твердеющих композитах, а также их количественные зависимости от режимов активации и длительности твердения. Установлено, что применение в цементных композитах воды затворения, обработанной электрическим током и магнитным полем, позволяет интенсифицировать процессы растворения и гидратации цемента, увеличить содержание гидросиликатов кальция и, как следствие, повысить прочность цементных композитов. При использовании в строительных композитах в качестве вяжущего портландцемента, произведенного в Чеченской Республике, рекомендуется использовать при затворении воду, обработанную электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (6-6) – $j_{\max} = 43,55 \text{ А/м}^2$, $H_{\max} = 135 \text{ кА/м}$. Из результатов исследования следует, что для всех материалов – цементного камня, раствора и бетона – характерно повышение прочности в случае применения активированной воды затворения.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Ерофеев В.Т. Магнитный А.А., Митина Е.А., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Цементные композиты на основе магнитно- и электрохимически активированной воды затворения. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – 128 с.

2. Бахир В.М., Задорожный Ю.Г., Леонов Б.И. Электрохимическая активация: история, состояние, перспективы – М.: ВНИИИМТ, 1999. – 256 с.

3. Вагнер Г.Р. Физико-химия процессов активации цементных дисперсий. – Киев: Наукова думка, 1980. – 200 с.

4. Ерофеев В.Т., Митина Е.А., Матвиевский А.А., Осипов А.К., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения // Строительные материалы. – 2007. – № 11. – С. 12–13.

5. Ерофеев В.Т., Митина Е.А., Матвиевский А.А., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Долговечность цементных композитов на активированной воде // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 7. – С. 51–54.

6. Классен В.И. Вода и магнит. – М.: Наука, 1973 – 111 с.

7. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

8. Остриков М.С. Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых структур и материалов. – Рига, 1967. – 320 с.

9. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты): учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.

10. Урьев Н.Б., Дубинин И.С. Коллоидные цементные растворы. – Л.: Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1980. – 192 с.

References

1. Bazhenov Ju.M., Fedosov S.V., Erofeev V.T., Matvievskij A.A., Mitina E.A., Emel'janov D.V., Judin P.V. Cementnye kompozity na osnove magnitno- i jelektrohimičeski aktivirovannoj vody zatvorenija. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2011. 128 p.

2. Bahir V.M., Zadorozhnyj Ju.G., Leonov B.I. Jelektrohimičeskaja aktivacija: istorija, sostojanie, perspektivy M.: VNIIMT, 1999. 256 p.

3. Vagner G.R. Fiziko-himija processov aktivacii cementnyh dispersij. Kiev: Naukova dumka, 1980. 200 p.

4. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Osipov A.K., Emel'janov D.V., Judin P.V. Kompozicionnye stroitel'nye materialy na aktivirovannoj vode zatvorenija // Stroitel'nye materialy. 2007. no. 11. pp. 12–13.

5. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Emel'janov D.V., Judin P.V. Dolgovechnost' cementnyh kompozitov na aktivirovannoj vode // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2008. no. 7. pp. 51–54.

6. Klassen V.I. Voda i magnit. M.: Nauka, 1973 111 p.

7. Klassen V.I. Omagnichivanie vodnyh sistem. M.: Himija, 1982. 296 p.

8. Ostrikov M.S. Problemy fiziko-himicheskoj mehaniki voloknistyh i poristyh struktur i materialov. Riga, 1967. 320 p.

9. Ryb'ev I.A. Stroitel'nye materialy na osnove vjazhushhih veshhestv (iskusstvennye stroitel'nye konglomeraty): ucheb. posobie dlja vuzov. M.: Vysshaja shkola, 1978. 309 p.

10. Ur'ev N.B., Dubinin I.S. Kolloidnye cementnye ras-tvory. L.: Strojizdat, Leningrad. otd-nie, 1980. 192 p.

Рецензенты:

Фокин Г.А., д.т.н., профессор кафедры физики и химии, ФГБОУ ВПО ПГУАС, г. Пенза;

Монастырев П.В., д.т.н., профессор, директор Института архитектуры, строительства и транспорта, ФГБОУ ВПО ТГТУ, г. Тамбов.

Работа поступила в редакцию 06.03.2015.