

УДК 622.733:537.064.32

*АБЗАЕВ ЮРИЙ АФАНАСЬЕВИЧ, докт. физ.-мат. наук, профессор,
abzaev@tsuab.ru*

*САРКИСОВ ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
sarkisov@tsuab.ru*

*САФРОНОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, профессор,
v.n.safronov@mail.ru*

*ГОРЛЕНКО НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
gorlen52@mail.ru*

*КУГАЕВСКАЯ СОФЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА, аспирант,
sotana@mail.ru*

*КОВАЛЕВА МАРГАРИТА АЛЕКСЕЕВНА, канд. техн. наук, доцент,
xotoch28@mail.ru*

*ЕРМИЛОВА ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА, магистрант,
ermilovatatyana@icloud.com*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВОЙ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ФАЗ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В РАЗЛИЧНЫЕ СРОКИ ТВЕРДЕНИЯ

В работе проведен сопоставительный количественный фазовый анализ структур цементного камня после 1, 3, 7 и 28 суток твердения при обычных условиях контрольных образцов, затворенных обычной водой, и исследуемых, затворенных водой после предварительной цикловой обработки ее постоянным магнитным полем. Установлено существенное различие в расчетных значениях энергий кристаллических решеток, энергий Ферми и состояния фаз алита в разные сроки твердения цементного камня с использованием цикловой магнитнообработанной воды затворения по сравнению с контрольной системой «цемент – вода».

Энергии решеток фаз $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_{13}$ (Dellaite), $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ (Alite) вычислены с помощью градиентного псевдопотенциала электронной плотности (GGA) с учетом спина электронов при 0 К. Волновые функции валентных электронов анализировались в базисе плоских волн с радиусом обрезания кинетической энергии в 330 эВ. В этом случае сходимость полной энергии составляла $\sim 0,5 \cdot 10^{-6}$ эВ/атом.

Ключевые слова: метод Ритвельда; количественный фазовый анализ; параметры решетки; кристаллическое строение; портландцемент; цикловая магнитная обработка воды.

*YURII A. ABZAEV, DSc, Professor,
abzaev@tsuab.ru*

*YURII S. SARKISOV, DSc, Professor,
sarkisov@tsuab.ru*

*VLADIMIR N. SAFRONOV, PhD, Professor,
v.n.safronov@mail.ru*

*NIKOLAI P. GORLENKO, DSc, Professor,
gorlen52@mail.ru*

SOF'YA A. KUGAEVSKAYA, Research Assistant,
somana@mail.ru

MARGARITA A. KOVALEVA, PhD, A/Professor,
xomoch28@mail.ru

TAT'YANA A. ERMILOVA, Undergraduate Student,
ermilovatatyana@icloud.com

Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

CEMENT BRICK STRUCTURE MODIFIED BY MAGNETIC FIELD WATER CYCLING AFTER DIFFERENT PERIODS OF HARDENING

The paper presents the phase quantification of cement brick structures after 1, 3, 7 and 28 days of its hardening under the common conditions. The cement brick specimens are investigated after the preliminary magnetic field cycling of mixing water. Experiments show the significant difference between the theoretical values of energies of crystal lattices, Fermi energy, and phase conditions of alite at different periods of cement brick hardening using the magnetic field cycling and the cement-water system of monitoring.

Energies of lattice phases of $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_{13}$ (Dellaite), $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ (Alite) are calculated using the generalized gradient approximation allowing for the electron spin at 0K. The paper presents the analysis of wave functions of valence electrons within the plane wave basis with the momentum truncation radius of 330 eV. The convergence of the total energy comes to $\sim 0,5 \cdot 10^{-6}$ eV/atom.

Keywords: Rietveld refinement method; quantitative phase analysis; lattice parameters; crystal structure; Portland cement; magnetic cycling of water.

Ранее нами было показано, что цикловая магнитная обработка воды затворения оказывает существенное влияние на прочность и другие эксплуатационные характеристики цементного камня [1–4]. Установлено, что при постоянной напряженности магнитного поля, равной 0,04 Тл, через 15 циклов обработки достигается максимальный прирост прочности структур твердения [2].

Результаты физико-химических методов анализа продуктов твердения системы «цемент – вода» до и после обработки жидкости затворения магнитным полем после 15 циклов приведены в работе [5]. С целью выявления влияния магнитного поля на воду и способа внешнего воздействия был проведен цикл исследований, результаты которых отражены в работах [6, 7]. Установлено, что на рентгенограммах, дериватограммах и ИК-спектрах продуктов твердения зафиксированы изменения интенсивности дифракционных максимумов в эндотермических эффектах, в характере спектров после обработки магнитным полем, что косвенно указывает на безусловное влияние магнитного поля на свойства и структуру цементного камня. Спектральные исследования воды, обработанной в диапазоне 0–50 циклов магнитным полем, приведены в работе [7]. Анализ показал, что независимо от состава и происхождения воды, способа ее подготовки внешнее магнитное поле приводит к росту pH среды, к повышению показателя основности вплоть до 9 единиц и более. При этом впервые установлен так называемый эбулио-магнитный эффект, заключающийся в неравномерном изменении температуры поверхностного слоя

воды по мере возрастания циклов магнитной обработки [8]. Существуют экспериментальные данные, подтверждающие, что омагниченная вода может привести к изменению симметрии структур возникающих фаз, энергии Ферми и энергии кристаллических решеток основных структурообразующих веществ вяжущей дисперсии.

Целью настоящей работы ставилось проведение детального количественного фазового анализа продуктов твердения цементного камня до и после магнитной обработки методом Ритвельда и определение на этой основе энергии кристаллической решетки алита в установленные сроки структурообразования.

Для достижения поставленной цели в работе проведены рентгеноструктурные исследования портландцементного камня без магнитной обработки, воды затворения после 15 и 25 циклов намагничивания. Рентгеноструктурные исследования проводились после 1, 3, 7 и 28 суток твердения на дифрактометре ДРОН 4-0,7, который был модифицирован к цифровой обработке сигнала. Съёмки производились на медном излучении (K_α) по схеме Брегга – Brentано с шагом $0,02^\circ$, временем экспозиции в точке 1 с и в угловом диапазоне $17-92^\circ$. Напряжение на рентгеновской трубке составляло 30 кВ, ток пучка 25 мА.

Количественный фазовый анализ (КФА) проводился на основе модифицированного метода Ритвельда, учитывающего энергию решеток фаз материала [9]. Энергия решеток в КФА анализировалась в рамках молекулярной динамики. При этом оценивается вклад интенсивностей отдельных решеток фаз в интегральную интенсивность на основе минимизации относительной разности интегральной и экспериментальной интенсивностей. В методе рассматривается максимальный вклад в интенсивность при вариации профильных, структурных параметров решеток (координаты атомов, параметры решеток) фаз. Интенсивность фонового излучения на дифрактограммах аппроксимировалась многочленом 20-й степени. Расчеты интенсивности самосогласованным образом позволяют оценить долю вклада отдельных фаз в интегральную интенсивность, а также структурные параметры решеток [10]. При КФА была достигнута хорошая степень сходимости расчетных интегральных интенсивностей к экспериментальной. Критерии сходимости оказались равными $R_{wp} = 6,64\%$ – для исходного состояния, $R_{wp} = 6,88\%$ – для системы с 15 циклами намагничивания и, наконец, $R_{wp} = 6,89\%$ – для системы с 25 циклами намагничивания воды. Для проведения КФА методом Ритвельда были использованы эталонные фазы, список которых составлен на основе базы структурных данных COD цементных материалов и приведен в работе [10]. В работе использовалась полная структурная информация эталонов: пространственная группа и класс, параметры решетки, относительные координаты атомов. В полнопрофильном методе [9] с целью максимальной интенсивности к экспериментальной уточнялись все структурные параметры: параметры решетки фаз, относительные координаты атомов (в пределах 10 %), а также профильные параметры: полуширина, интенсивность рефлексов, фон и т. д. Результаты количественного фазового анализа приведены в табл. 1–3.

Энергии решеток фаз $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$ (Dellaite), $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ (Alite) вычислены с применением градиентного псевдопотенциала электронной

плотности (GGA) с учетом спина электронов при 0 К. Детали вычислительного кода приведены в работе [11]. Энергии решеток приведены в табл. 2. Волновые функции валентных электронов анализировались в базисе плоских волн с радиусом обрезания кинетической энергии в 330 эВ. В этом случае сходимость полной энергии составляла $\sim 0,5 \cdot 10^{-6}$ эВ/атом.

Таблица 1

Энергия решеток фаз портландцемента после магнитной обработки воды

Сутки твердения				
№ п/п	Фазы	Энергия кристаллических решеток, эВ		
		0 циклов	15 циклов	25 циклов
1	6126Ca ₃ O ₅ Si (Alite)	-92698,213476	-92972,56220434	-92694,51573839
2	9534-Ca ₆ H ₂ O ₁₃ Si ₃ (Dellaite)	-23727,82801	-23860,70868860	-23808,59516460
3	1114-Ca ₂ FeAlO ₅	-21626,92285	-22218,72983411	-
7 суток твердения				
№	Фазы	Энергия кристаллических решеток, эВ		
		0 циклов	15 циклов	25 циклов
1	0966-CaCO ₃ (Calcite)	-14825,18995	-	-
2	9534-Ca ₆ H ₂ O ₁₃ Si ₃ (Dellaite)	-23887,23234	-	-
3	6126Ca ₃ O ₅ Si (Alite)	-91863,06868	-92865,99229	-92724,72485
14 суток твердения				
№	Фазы	Энергия кристаллических решеток, эВ		
		0 циклов	15 циклов	25 циклов
1	6126Ca ₃ O ₅ Si (Alite)	-92619,013306	-92599,895093	-94999,7288947
28 суток твердения				
№	Фазы	Энергия кристаллических решеток, эВ		
		0 циклов	15 циклов	25 циклов
1	6126Ca ₃ O ₅ Si (Alite)	-92294,247614	-92961,7361	-94789,947638

КФА количественного состава фаз показал, что в исходном состоянии портландцемент состоит из фаз: CaH₂O₂, CaH₄O₆S, Ca₆H₂O₁₃Si₃, AlCa₂FeO₅, Ca₅H₂O₁₀Si₂, Ca₂O₄Si, Ca₄H₂O₁₁Si₃, Ca₆H₂O₁₃Si₃, Ca₂Fe₂O₅, Ca₃O₅Si (табл. 2). Количественный состав фаз портландцемента определяется по относительной доле интенсивностей фаз, приведенных в табл. 2. Вклад в интегральную интенсивность от указанных фаз составляет почти 99 %. Из данных табл. 2 видно, что после суток твердения в портландцементе доминируют Ca₆H₂O₁₃Si₃ (Dellaite) и Ca₃O₅Si (Alite). В портландцементе после суток твердения (15 циклов намагничивания воды) присутствуют: Ca₆H₂O₁₃Si₃, AlCa₂FeO₅, Ca₅H₂O₁₀Si₂, Ca₂O₄Si, Ca₄H₂O₁₁Si₃, Ca₆H₂O₁₃Si₃, Ca₂Fe₂O₅, Ca₃O₅Si (табл. 3). Суммарная интенсивность от перечисленных фаз составляет более 99 %. Доминирующей фазой является Ca₂O₄Si, вклад которой в интегральную интенсивность равен 65,66 %.

Таблица 3
Количественный фазовый состав цементного камня после разных циклов намагничивания воды, сутки твердения

Карточка	Хим. формула	Интенсивность, %	Энергия $1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж	Энергия Ферми $1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж	Карточка	Хим. формула	Интенсивность, %	Энергия $1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж	Энергия Ферми $1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж
96-900-9534	$\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$	5,69	23860,708	4,904	96-900-9534	$\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$	9,09	-23808,595	4,447
96-901-1114	$\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$	2,95	22218,729	-2,354	96-901-1114	$\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$	4,84	-22387,9425	2,3120
96-901-1877	$\text{Ca}_5\text{H}_2\text{O}_{10}\text{Si}_2$	6,56	-	-	96-901-1877	$\text{Ca}_5\text{H}_2\text{O}_{10}\text{Si}_2$	3,16	-	-
96-901-2792	$\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$	2,05	16044,830	6,011	96-901-2792	$\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$	3,45	-	-
96-901-4241	$\text{Ca}_4\text{H}_2\text{O}_{11}\text{Si}_3$	6,960	-	-	96-901-4241	$\text{Ca}_4\text{H}_2\text{O}_{11}\text{Si}_3$	5,74	-	-
96-901-5896	$\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$	6,04	-	-	96-901-5896	$\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$	5,28	--	-
96-901-6014	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	3,45	-	-	96-901-6014	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	1,91	-	-
96-901-6126	$\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$	65,66	92972,562	5,448	96-901-6126	$\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$	66,14	-92694,515	5,610
		99,36					99,61		

После 25 циклов намагничивания воды – $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$, $\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$, $\text{Ca}_5\text{H}_2\text{O}_{10}\text{Si}_2$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, $\text{Ca}_4\text{H}_2\text{O}_{11}\text{Si}_3$, $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$, $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ (табл. 3). Доминирует также фаза $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, вклад которой в интегральную интенсивность равен 66,14 %. Количественный состав фаз портландцемента при всех состояниях определен с высокой степенью сходимости. Списочный состав фаз в портландцементе после 15 и 25 циклов намагничивания одинаков, но различается их количественное содержание, которое оценивается по относительной величине интенсивностей (табл. 3). Доля фаз $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ и $\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$ возросла примерно в 1,5 раза с ростом числа циклов от 15 и до 25, но $\text{Ca}_5\text{H}_2\text{O}_{10}\text{Si}_2$, $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ – уменьшилась. Содержание остальных фаз мало изменилось. Интересно отметить, что доля $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$ (Dellaite) резко уменьшилась под влиянием магнитной обработки воды до 15 циклов. Обнаруживается также уменьшение содержания $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ (Larnite), $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ (Brownmillerite). После магнитной обработки в портландцементе не обнаруживаются фазы CaH_2O_2 , $\text{CaH}_4\text{O}_6\text{S}$, которые наблюдаются в исходном состоянии (табл. 2). Результаты свидетельствуют, что магнитная обработка подавляет структурирование фаз CaH_2O_2 , $\text{CaH}_4\text{O}_6\text{S}$ и ускоряет образование фазы CaH_2O_2 , $\text{CaH}_4\text{O}_6\text{S}$. Причем в значительной степени ускоряется структурирование решетки Alite ($\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$). Относительное содержание Alite после магнитной обработки возросло практически в 4,5 раза (табл. 2, 3). Уменьшается интенсивность структурирования фаз $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$ и $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$. Таким образом, намагничивание водной среды оказывает заметное влияние на процессы гидратации и твердения цементной системы и последующую интенсивность образования во времени процесса.

КФА полнопрофильным уточнением Ритвельда позволяет определить полную структурную информацию решеток фаз. Структурные характеристики решеток являются входными данными для определения квантово-химическими методами полной энергии с помощью программного комплекса, подробное описание которого приведено в работе [10]. Вследствие большой трудоемкости квантово-химические расчеты энергии решеток были проведены только для фаз $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$, $\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$. В табл. 2, 3 приведены результаты расчетов, а также энергии Ферми. Анализ результатов показал, что после 15 циклов магнитной обработки энергия решеток $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$, $\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$, $\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$, $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ резко уменьшилась. Магнитная обработка до 25 циклов оказало разнонаправленное действие: если энергия решеток $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$ и $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ возросла, то энергия $\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$, наоборот, уменьшилась. Нужно заметить, что исследуемые решетки находятся в стабильном состоянии. Энергия Ферми исследуемых решеток (табл. 2, 3) существенно меняется в результате магнитной обработки воды и времени твердения. Эти данные свидетельствуют о том, что в кристаллических структурах меняется электронная плотность на атомах решеток в процессе твердения, наблюдается эффект атомной зарядовой поляризации, на которую оказывает влияние магнитная обработка водной среды.

Анализ результатов показывает, что в решетках $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$ с разным состоянием (исходное, после 15 и 25 циклов) наблюдается разное пространственное распределение атомов. В результате перераспределения атомов понижается энергия, но содержание фазы в портландцементе существенно

уменьшается. Решетка $\text{AlCa}_2\text{FeO}_5$ вследствие понижения энергии оказалась более стабильной, причем содержание этой фазы в исследуемой системе мало изменилось. Наиболее сильно эффект намагничивания воды проявился на решетке $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ (Alite). Разному пространственному распределению атомов в стабильной решетке с разным состоянием (исходное и 15 циклов) соответствует значительная разница энергии, в результате доля фазы Alite значительно возрастает. Дальнейшее увеличение числа циклов намагничивания воды, по нашему мнению, оказывает вторичное действие: перераспределение атомов в сформированной фазе $\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$ лишь повышает полную энергию решетки. Данные по энергии Ферми в исследуемых фазах с разным состоянием указывают на то, что стабильным решеткам соответствует разная зарядовая поляризация на атомах решеток. Можно полагать, что атомная анизотропия зарядов в намагниченной водной среде оказывает влияние на механизмы структурирования решеток фаз.

Интересно отметить, что по мере возрастания сроков твердения устойчивость фазы Alite повышается, энергетическое состояние кинетически симботно.

Замечено, что процесс кластеризации структур алита существенно зависит от размеров и числа частиц в кластере. В настоящей работе представлена модель, включающая 500 атомов. Энергия кристаллических решеток алита в этом случае составляет в среднем около 93,0 эВ (табл. 1), тогда как для известного в литературе состава алита она составляет 10,78.

Таким образом, количественный фазовый анализ цементного камня на основе полнопрофильного уточнения Ритвельда показал, что намагниченность воды оказывает заметное влияние на количественное содержание фаз портландцемента и, следовательно, на его твердение. Эффект намагничивания воды в течение 15 циклов проявляется в существенной интенсификации структурирования фазы Alite. Ее доля в портландцементе резко возрастает, а полная энергия решетки значительно уменьшается, почти на ~270 эВ. К интересным фактам относится изменение содержания фазы $\text{Ca}_6\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Si}_3$ с увеличением числа циклов намагничивания: более стабильной решетке соответствует ее меньшее содержание в портландцементном камне [11].

Таким образом, в работе установлено значительное повышение прочности цементного камня при условии затворения цемента водой, предварительно обработанной цикловой магнитной активацией. При этом показано, что меняется последовательность возникновения фаз, характер взаимодействия клинкерных минералов с водой, кинетика зародышеобразования и в ряде случаев симметрия кристаллов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Роль цикловой магнитной обработки воды затворения* в управлении свойствами и процессами гидратации и структурообразования цементных систем / В.Н. Сафронов, Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов, Ю.А. Абзаев, С.А. Кугаевская, Т.А. Ермилова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 135–148.
2. *Сафронов, В.Н.* Оптимизация свойств цементных композитов при различных технологических приемах подготовки цикловой магнитной активации воды затворения /

- В.Н. Сафронов, С.А. Кугаевская // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 1. – С. 85–99.
3. *Магнитное поле как фактор управления свойствами и структурой цементных систем. Ч. 1. Теоретические предпосылки влияния магнитного поля на физико-химические процессы* / Н.П. Горленко, В.Н. Сафронов, Ю.А. Абзаев, Ю.С. Саркисов, С.А. Кугаевская, Т.А. Ермилова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 3. – С. 134–150.
 4. *Влияние времени выдержки до затворения омагниченной воды на свойства цементных композитов* / В.Н. Сафронов, Г.Г. Петров, С.А. Кугаевская, Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, Е.Ю. Щептинов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 4. – С. 139–149.
 5. *Магнитное поле как фактор управления свойствами и структурой цементных систем. Ч. 2. Структурные характеристики минералов в ранние сроки твердения цементного камня при использовании магнитно-активированной воды затворения* / Ю.А. Абзаев, В.Н. Сафронов, Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, С.А. Кугаевская, М.А. Ковалева, Т.А. Ермилова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4. – С. 150–159.
 6. *Спектральное исследование воды, обработанной постоянным магнитным полем* / Д.А. Афанасьев, Ю.С. Саркисов, В.Н. Сафронов, С.А. Кугаевская, Н.П. Горленко, М.А. Ковалева, Н.П. Горленко, Ю.А. Абзаев, М.Ю. Шевченко, Т.А. Ермилова // Перспективные материалы в технике и строительстве (ПМТС-2015) : материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. – Томск : Изд-во: ТГАСУ, 2015. – С. 510–513.
 7. *Спектральные исследования воды, обработанной постоянным магнитным полем* / Д.А. Афанасьев, Ю.С. Саркисов, С.А. Кугаевская, В.А. Сафронов, Н.П. Горленко, М.А. Ковалева, М.Ю. Шевченко // Техника и технология силикатов. – 2016. – № 1. – С. 56–69.
 8. *Температурные отклики воды и водных растворов на внешнее воздействие магнитным полем* / Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, В.Н. Сафронов, С.А. Кугаевская, М.А. Ковалева, Т.А. Ермилова, Д.А. Афанасьев // Вестник ТГУ. – 2015. – № 2. – С. 150–159.
 9. *Полнопрофильный рентгеноструктурный анализ клинкерного минерала С4АF* / Ю.А. Абзаев, Ю.С. Саркисов, А.А. Клопотов, В.Д. Клопотов, Д.А. Афанасьев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 4.
 10. *Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении* / А.А. Клопотов, Ю.А. Абзаев, А.И. Потекаев, О.Г. Волокитин. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2012. – 275 с.
 11. *Григорьева, Л.С. Химия в строительстве* / Л.С. Григорьева. – М., 2010. – 104 с.

REFERENCES

1. *Safronov V.N., Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Abzaev Yu.A., Kugaevskaya S.A., Ermilova T.A. Rol' tsiklovoi magnitnoi obrabotki vody zatvoreniya v upravlenii svoystvami i protsessami gidratatsii i strukturoobrazovaniya tsementnykh sistem* [Mixing water magnetic activation cycle effect on hydration and structure formation of cement systems]. *Vestnik TSUAB*. 2014. No. 4. Pp. 135–148. (rus)
2. *Safronov V.N., Kugaevskaya S.A. Optimizatsiya svoistv tsementnykh kompozitov pri razlichnykh tekhnologicheskikh priemakh podgotovki tsiklovoi magnitnoi aktivatsii vody zatvoreniya* [Optimization of properties of cement composites at different magnetic activation techniques of mixing water]. *Vestnik TSUAB*. 2014. No. 1. Pp. 85–99. (rus)
3. *Gorlenko N.P., Safronov V.N., Abzaev Yu.A., Sarkisov Yu.S., Kugaevskaya S.A. Magnitnoe pole kak faktor upravleniya svoystvami i strukturoi tsementnykh sistem Chast' 1. Teoreticheskie predposylki vliyaniya magnitnogo polya na fiziko-khimicheskie protsessy* [Magnetic field as factor of control for structure and properties of cement systems. Part 1. Theoretical prerequisites for magnetic effect on physicochemical processes]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 3. Pp. 134–150. (rus)
4. *Safronov V.N., Petrov G.G., Kugaevskaya S.A., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Sheptinov E.Yu. Vliyanie vremeni vyderzhki do zatvoreniya omagnichennoi vody na svoystva tse-*

- mentnykh kompozitov [Holding period of cement composites till mixing water magnetic field cycling and their properties]. *Vestnik TSUAB*. 2010. No. 4. Pp. 139–149 (rus)
5. *Abzaev Yu.A., Safronov V.N., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Kugaevskaya S.A., Kovaleva M.A., Ermilova T.A.* Magnitnoe pole kak faktor upravleniya svoistvami i strukturoi tsementnykh sistem. Chast' 2. Strukturnye kharakteristiki mineralov v rannie sroki tverdeniya tsementnogo kamnya pri ispol'zovanii magnitno-aktivirovannoi vody zatvoreniya [Magnetic Field as control for the structure and properties of cement systems. Part 2. Structural properties of minerals at cement brick early hardening using mixing water magnetic activation]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 4. Pp. 150–159. (rus)
 6. *Afanas'ev D.A., Sarkisov Yu.S., Safronov V.N., Kugevskaya S.A., Gorlenko N.P., Kovaleva M.A., Gorlenko N.P., Abzaev Yu.A., Shevchenko M.Yu., Ermilova T.A.* Spektral'noe issledovanie vody, obrabotannoi postoyannym magnitnym polem [Spectral investigations of water treated by magnetostatic field]. *Proc. 2nd All-Rus. Conf. 'Advanced Materials in Engineering and Technology'*. Tomsk : TSUAB Publ., 2015. Pp. 510–513. (rus)
 7. *Afanas'ev D.A., Sarkisov Yu.S., Kugaevskaya S.A., Safronov V.A., Gorlenko N.P., Kovaleva M.A., Shevchenko M.Yu.* Spektral'nye issledovaniya vody, obrabotannoi postoyannym magnitnym polem [Spectral investigations of water treated by magnetostatic field]. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2016. No. 1. Pp. 56–69. (rus)
 8. *Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Safronov V.N., Kugaevskaya S.A., Kovaleva M.A., Ermilova T.A., Afanas'ev D.A.* Temperaturnye otkliki vody i vodnykh rastvorov na vneshnee vozdeistvie magnitnym polem [Temperature responses of water and water solutions exposed to magnetic field]. *Vestnik Journal of Tomsk State University*. 2015. No. 2. Pp. 150–159. (rus)
 9. *Abzaev Yu.A., Sarkisov Yu.S., Klopotov A.A., Klopotov V.D., Afanas'ev D.A.* Polnoprofil'nyi rentgenostrukturnyi analiz klinkernogo minerala C4AF [X-ray diffraction analysis of C4AF clinker mineral]. *Vestnik TSUAB*. 2012. No. 6. Pp. 200–209. (rus)
 10. *Klopotov A.A., Abzaev Yu.A., Potekaev A.I., Volokitin O.G.* Osnovy rentgenostrukturnogo analiza v materialovedenii [Principles of X-ray diffraction analysis in materials science]. Tomsk : TSUAB Publ., 2012. 275 p. (rus)
 11. *Grigor'eva L.S.* Khimiya v stroitel'stve [Chemistry in construction]. Moscow, 2010. (rus)