УДК 691.311:66.08
DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.40-46

Особенности структурообразования гипсового вяжущего, модифицированного гидросиликатами цинка

Борис Владимирович ГУСЕВ, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, президент РИА, e-mail: info-rae@mail.ru

Российская инженерная академия, 125009 Москва, Газетный пер., 9, стр. 4

Анна Николаевна ГРИШИНА, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» НИУ МГСУ, e-mail: GrishinaAN@mgsu.ru

Евгений Валерьевич КОРОЛЕВ, доктор технических наук, профессор, и. о. ректора, e-mail: KorolevEV@mgsu.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

***Аннотация**. В статье представлена разработанная авторами методика оценки вклада химического и физико-химического факторов в структурообразование гипсового камня, которая также предназначена для выявления синергетического эффекта и определения диапазонов варьирования рецептурных факторов, обеспечивающих его максимальные значения. Установлены зависимости и проведен анализ влияния микроразмерного модификатора на основе гидросиликатов цинка на структурообразование строительного гипса. Особенности влияния модификатора на свойства гипсовых составов обусловливаются его химическими свойствами — сорбционными характеристиками, которые зависят от количества кремниевой кислоты и ее состояния, а также физико-химическими свойствами, в частности способностью выступать подложкой для кристаллообразования. Предложенная методика может быть распространена также на другие вяжущие вещества и материалы. Данная статья вносит вклад в понимание процессов, протекающих при структурообразовании композитов, что позволит в последующем управлять структурообразованием, получая материалы с заданным комплексом свойств.*

***Ключевые слова**: структурообразование, гипсовый камень, гидросиликаты цинка, методика, химические свойства, физико-химические свойства.*

CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE FORMATION OF GYPSUM BINDER MODIFIED WITH ZINC HYDROSILICATES

Boris V. GUSEV, e-mail: info-rae@mail.ru

Russian Academy of Engineering, Gazetnyy per., 9, str. 4, Moscow 125009, Russian Federation

Anna N. GRISHINA, e-mail: GrishinaAN@mgsu.ru

Evgenii V. KOROLEV, e-mail: KorolevEV@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

***Abstract**. The authors' methodic for assessing the role of chemical and physic-chemical factors during the structure formation of gypsum stone is presented in the article. The methodic is also makes it possible to reveal the synergistic effect and to determine the ranges of variation of controls factors that ensure maximum values of such effect. The effect of a micro-sized modifier based on zinc hydro-silicates on the structure formation of building gypsum is analyzed and corresponding dependencies are found. It is shown that effects of influence of modifier on the properties of gypsum compositions are determined by chemical properties of modifier. Among the mentioned properties are sorption characteristics (which depend on the amount of silicic acid and its state) and physicochemical properties — the ability to act as a substrate during crystal formation. The proposed method can also be extended to other binding substances and materials. This article contributes to the understanding of the processes that occur during the structure formation of composites, which will make it possible to control the structure formation in the future, obtaining materials with a given set of properties.*

***Key words**: structure formation, gypsum stone, zinc hydro-silicates, methodic, chemical properties, physic-chemical properties.*

В настоящее время обеспечение биобезопасности в общественных, промышленных и жилых зданиях, а также сооружениях приобретает все большую актуальность и значимость, что обусловлено увеличением количества заболеваний, вызванных воздействием на организм человека спор плесневых грибов и микотоксинов [1–3]. Одно из решений этой задачи — разработка строительных материалов, содержащих фунгицидные модификаторы, способные подавлять развитие грибного мицелия, безопасные при использовании и обеспечивающие объемное модифицирование. К таким модификаторам относится продукт осаждения гидросиликатов натрия раствором сульфата цинка [4]. Варьирование рецептуры синтеза ($\nu(Zn)/\nu(Si)$ = 0,8...1,0) позволяет управлять химическим составом модификатора [4] и, соответственно, его свойствами. Фазовый состав фунгицидного модификатора представлен, в основном, рентгеноаморфным веществом, включающим гидросиликаты цинка и кремниевую кислоту в различных соотношениях компонентов, а также содержит кристаллический многоводный гексагидроксосульфат цинка $Zn_4SO_4(OH)_6\cdot xH_2O$. Основными продуктами, содержащимися в фунгицидном модификаторе, являются гидросиликаты цинка, что и определяет его название.

Настоящая работа направлена на развитие методики анализа экспериментальных зависимостей на примере данных, представленных в работе [5]. Несмотря на определенную изученность процессов структурообразования гипсового камня, в частности установление как общих, так и частных закономерностей и зависимостей влияния основных рецептурных и технологических факторов, экспериментальных данных о структурообразовании гипсового камня в присутствии нано- и микроразмерных минеральных добавок (модификаторов), имеющих различную по природе активность, недостаточно для формирования полной теории его структурообразования (с позиции предсказания потенциальных эффектов от модифицирования новой добавкой).

Естественно, что указанный модификатор, представленный в данном исследовании микроразмерными частицами гидросиликатов цинка, может оказывать влияние на параметры структуры, а следовательно, и свойства гипсовой смеси и камня как посредством химического, так и физико-химического факторов влияния. Каждый из названных факторов имеет определенное воздействие на процессы структурообразования. Очевидно, что указанные факторы оказывают совместное влияние, и оно может носить синергетический характер. Математически его можно представить следующим образом:

$$F = I_{fh}^{n} I_{ff}^{m},$$

где F — структурно-чувствительное свойство; I_{fh}^{n} и I_{ff}^{m} — величины, характеризующие влияние соответственно химического и физико-химического факторов; n и m — показатели степени, характеризующие интенсивность влияния указанных факторов.

Для практических расчетов целесообразно пользоваться относительным изменением структурно-чувствительного свойства:

$$\frac{F}{F_0} = \left(\frac{I_{fh}}{I_{fh,0}}\right)^{n} \left(\frac{I_{ff}}{I_{ff,0}}\right)^{m},$$

где индексом «0» обозначены начальные значения факторов.

Необходимо отметить, что синергетическое влияние может наблюдаться только при изменении двух факторов. Оценка влияния какого-либо фактора при фиксации другого не будет отличаться от классических исследований, которые проводятся при условии неизменности прочих равных условий или факторов.

Важным является не только относительное изменение химического и/или физико-химического факторов, но и интенсивность их влияния на структурно-чувствительное свойство. Интенсивность каждого фактора оценивается соответствующими показателями степени — n и m. Их значения вычисляются по формулам:

$$n = \left[\ln\left(\frac{F_i}{F_0}\right) - \ln\left(\frac{F_{i+1}}{F_0}\right)\frac{\ln\left(\frac{I_{fh,i}}{I_{fh,0}}\right)}{\ln\left(\frac{I_{fh,i+1}}{I_{fh,0}}\right)}\right] \times$$

$$\times \left[\ln\left(\frac{I_{ff,i}}{I_{ff,0}}\right) - \ln\left(\frac{I_{ff,i+1}}{I_{ff,0}}\right)\frac{\ln\left(\frac{I_{fh,i}}{I_{fh,0}}\right)}{\ln\left(\frac{I_{fh,i+1}}{I_{fh,0}}\right)}\right]^{-1};$$

$$m = \frac{\left[\ln\left(\frac{F_{i+1}}{F_0}\right) - n\ln\left(\frac{I_{ff,i+1}}{I_{ff,0}}\right)\right]}{\ln\left(\frac{I_{fh,i+1}}{I_{fh,0}}\right)},$$

где i = 1, 2, 3 ... — порядковый номер проводимого эксперимента, в котором изменяются химический и физико-химический факторы.

Естественно, что для целей настоящей работы каждый из названных факторов должен быть связан с характеристиками и содержанием модификатора. Для характеристики влияния химического фактора выбрана активность модификатора по отношению к катионам кальция Ca^{2+} (концентрация кремниевой кислоты C_s), для физико-химического фактора — площадь границы раздела фаз «гипсовый камень — модификатор» S_{mf}. В качестве структурно-чувствительного фактора использованы: нормальная густота гипсового теста; сроки схватывания и прочность гипсового камня.

Выбор концентрации кремниевой кислоты в качестве параметра, характеризующего влияние химического фактора, обосновывается сложным механизмом влияния кремниевой кислоты на структурообразование минеральных вяжущих [6].

Выбор площади границы раздела фаз «гипсовый камень — модификатор» является очевидным следствием классических представлений о структурообразовании композитных структур [7—10]. Гидросиликаты цинка —

нерастворимый в воде модификатор, однако их химическая активность экспериментально подтверждена в щелочных средах [11—15]. В нейтральных вяжущих наблюдается неоднородное изменение свойств, которое обусловлено количеством и состоянием кремниевой кислоты в модификаторе, а также особенностями строения гидросиликатов цинка [5, 16]. Так, при уменьшении количества осадителя (сульфата цинка) возрастает доля кремниевой кислоты в модификаторе и слоистая структура гидросиликатных структур [17] претерпевает изменения. Указанные факторы будут оказывать влияние на свойства получаемого материала, что отражается в значениях n и m *(см. таблицу).*

Данные *таблицы* демонстрируют нелинейный характер влияния модификатора, свойства которого определяются состоянием и концентрацией продуктов его синтеза (в основном гидросиликатов цинка и кремниевой кислоты). Следует отметить, что из исследованных структурно-чувствительных свойств нормальная густота определяется для гипсового теста, а прочность — для искусственного камня. Сроки схватывания являются сложной физической величиной, отражающей продолжительность достижения твердеющей смесью заданных механических свойств, т. е. они характеризуют скорость преобразования структуры — перехода от смеси (системы слабосвязанных структурных элементов) к структуре, обладающей определенными свойствами. Поэтому данную характеристику нельзя полностью отнести к группе свойств, характерных для гипсового теста или искусственного камня.

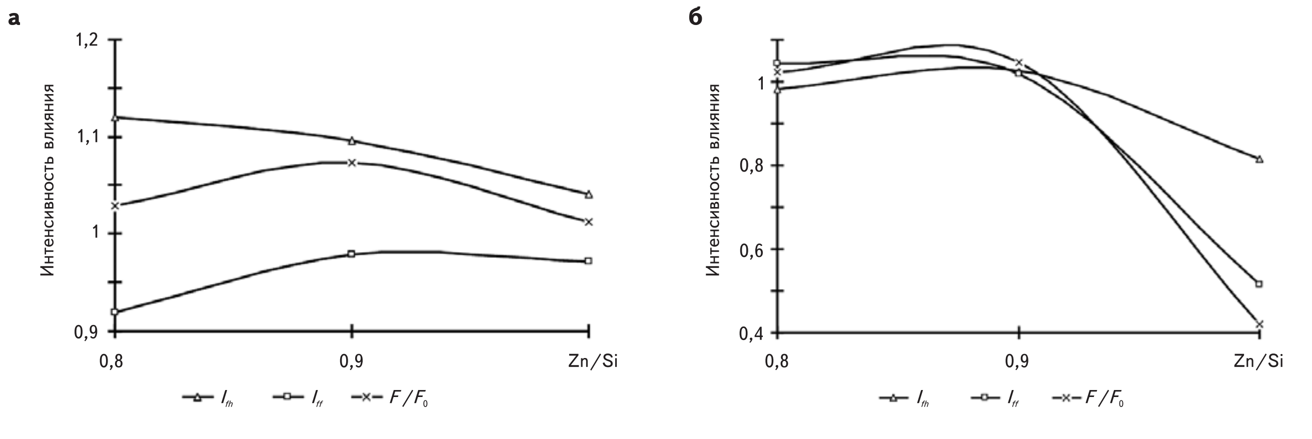
Отсюда закономерно ожидать, что интенсивность влияния рассматриваемых факторов на свойства (отклик системы) будет варьироваться. Закономерно предположить, что на нормальную густоту гипсового теста в основном влияние должна оказывать площадь границы раздела фаз «гипсовый камень — модификатор», зависящая от количества и дисперсности модификатора. Однако кремниевая кислота, образующаяся в процессе синтеза модификатора (химический фактор), способна быстро сорбировать воду из гипсового теста. Этот процесс, на который за время определения нормальной густоты не влияет химическое связывание ионов кальция, является доминирующим. На отсутствие химических процессов указывает неизменяющееся значение показателя n, как для диапазона изменения содержания модификатора (для 0,5—1,5 % показатель $n = 0,02$, для 1,5 — 3 % — $n = 0,07$), так и его состава Zn/Si = 0,8...1.

Значения n и m, характеризующие интенсивность влияния на структурообразование (свойства) гипсового вяжущего химического и физико-химического факторов, возникающих при введении модификатора

Диапазон концентраций модификатора, %	Состав модификатора					
	Zn/Si = 0,8		Zn/Si = 0,9		Zn/Si = 1	
	n	m	n	m	n	m
Нормальная густота						
0,5—1,5	0,02	0,004	0,02	0,001	0,02	−0,01
1,5—3	0,07	−0,01	–	–	0,07	0,005
Начало схватывания						
0,5—1,5	0,14	−0,05	0,32	0,03	0,13	0,41
1,5—3	0,35	0,01	–	–	0,27	0,11
Конец схватывания						
0,5—1,5	0,43	−0,32	0,35	−0,08	0,1	−0,07
1,5—3	0,1	−0,09	–	–	0,2	0,03
Прочность при сжатии						
0,5—1,5	−0,07	0,16	0,1	0,07	−0,5	−1,64
1,5—3	−0,52	0,09	–	–	−0,45	−0,1

Из данных *таблицы* следует, что соотношение n/m изменяется в достаточно широком диапазоне значений: $|n/m| = 2...20$. Необходимо отметить, что доминирование химического фактора наблюдается как во всем диапазоне варьирования содержания модификатора, так и в диапазоне изменения его состава (параметр Zn/Si). При Zn/Si = 1 физико-химический фактор оказывает значительное антагонистическое влияние (значение $m < 0$, а $|n/m| = 2$). Это, вероятно, связано с физическим блокированием более высокодисперсными частицами модификатора частиц строительного гипса. Увеличение содержания модификатора приводит к возрастанию показателя n в 3,5 раза, что связано с изменением сорбционных характеристик кремниевой кислоты.

Влияние химического фактора модификатора на сроки схватывания имеет четко выраженный экстремальный характер для начала схватывания в диапазоне содержания модификатора 0,5—1,5 %, а для конца схватывания максимальное значение показателя n смещается в область меньшего значения соотношения Zn/Si *(см. таблицу).* Таким образом, сорбционные характеристики



а — конец схватывания; б — прочность гипсового камня

Интенсивность изменения влияния химического и физико-химического факторов и F/F_o (принято $I_j/I_{j,o}$ = 1,25; представлены результаты для содержания добавки $C_д$ = 0,5...1,5 %)

кремниевой кислоты по отношению к ионам Ca^{2+} проявляются в зависимости от ее концентрации в различный период времени. Очевидно, что содержание кремниевой кислоты в модификаторе на основе гидросиликатов цинка (Z-S-H) уменьшается с увеличением соотношения Zn/Si. Такие модификаторы можно расположить в ряд по уменьшению концентрации кремниевой кислоты:

$$\text{Z-S-H}_{(Zn/Si\,=\,0,8)} > \text{Z-S-H}_{(Zn/Si\,=\,0,9)} > \text{Z-S-H}_{(Zn/Si\,=\,1)}.$$

Анализ данных *таблицы* для начала и конца схватывания показывает, что на сроки схватывания существенное влияние оказывают концентрация и состояние кремниевой кислоты, а также продолжительность структурообразования материала в присутствии модификатора. Также следует учитывать влияние физико-химического фактора: гидросиликаты цинка могут являться подложкой для структурообразования кристаллов двуводного гипса, но только в том случае, если их поверхность не блокирована кремниевой кислотой. Анализ значений n и m показывает, что с уменьшением количества кремниевой кислоты (при Zn/Si → 1) гидросиликаты цинка начинают выступать в роли подложки в начале схватывания и практически не оказывают влияния на конец схватывания. В этом случае физико-химический фактор будет иметь доминирующее значение: соотношение n/m = 0,32. Однако увеличение концентрации кремниевой кислоты (при Zn/Si → 0,8) приводит к блокированию поверхности частиц гидросиликатов цинка, и они перестают не только выполнять функцию подложки, но и препятствуют срастанию кристаллов, о чем свидетельствуют значения показателя $m < 0$.

Обобщая полученные результаты для сроков схватывания, необходимо отметить, что химический фактор оказывает доминирующее влияние за исключением случая для начала схватывания при Zn/Si = 1, однако его интенсивность определяется состоянием кремниевой кислоты и ее концентрацией в модификаторе. Так, при Zn/Si = 0,9 соотношение n/m имеет максимальное значение. Изменение активности кремниевой кислоты может быть обусловлено различными причинами: неоднородностью структуры геля кремниевой кислоты [18], модифицированием поверхности кремниевой кислоты [18], которое может реализовываться при изменении количества осадителя и др. Указанное является отдельным научным исследованием и не рассматривается в данной работе. Различия в сорбционных способностях гелей кремниевой кислоты из-за изменения количества сорбционно-активных центров были известны и ранее [18].

Закономерно предположить, что на сроки схватывания и прочность гипсового камня модификатор должен оказывать качественно (по знаку показателей n и m) идентичное влияние. Однако сопоставление данных *таблицы* показывает, что такое предположение практически неверно: наблюдается антагонистическое влияние химического и физико-химического факторов на сроки схватывания и прочность гипсового камня. Принципиальное отличие заключается во влиянии физико-химического фактора: для прочности наблюдается снижение интенсивности влияния I_{ff}, а для конца схватывания — возрастание *(см. рисунок)*.

При этом изменение химического фактора для конца схватывания преобладает над физико-химическим фактором и является доминирующим $I_{fh} > 1$, интенсивность которого уменьшается с увеличением соотношения Zn/Si. Для прочности гипсового камня влияние химического фактора имеет экстремальный характер: максимум достигается при Zn/Si = 0,9. Доминирование I_{fh} над физико-химическим фактором наблюдается только при Zn/Si = 0,9...1.

Такое влияние фактора I_{ff} на сроки схватывания неестественно: повышение площади границы раздела должно приводить к сокращению сроков схватывания. Единственным логичным объяснением такого изменения I_{ff} является нивелирование увеличения площади границы раздела фаз, которое возможно при условии формирования агрегатов из частиц модификатора и/или образования на границе раздела фаз нового вещества (соединения), например, вследствие хемосорбции ионов кальция на поверхности кремниевой кислоты. Указанное согласуется с данными [17] о слоистой структуре гидросиликатов и различной активности кремниевой кислоты в зависимости от ее содержания в модификаторе, в том числе и из-за изменения количества сорбционно-активных центров [8].

Закономерным условием для установления наличия синергетического эффекта от введения модификатора при $n > 0$ и $m > 0$ является

$$K_{syn} = (-1)^j \sqrt[N]{\prod_{i=1}^{N}(|m_i||n_i|)} > 0,$$

где N — количество свойств; j — индекс, учитывающий наличие $n < 0$ или $m < 0$: при наличии $n < 0$ или $m < 0$ значение $j = 1$, а при отсутствии $j = 0$.

Очевидно, что синергетический эффект возрастает с увеличением значения K_{syn}. Из данных *таблицы* следует, что введение микроразмерных гидросиликатов цинка, свойства которых характеризуются I_{fh} и I_{ff}, не приводит к возникновению синергетического эффекта: значения $K_{syn} < 0$.

Выводы

1. Предложена методика, позволяющая оценивать вклад химического и физико-химического факторов в структурообразование гипсового камня. Внутренняя непротиворечивость результатов анализа влияния на различные свойства строительного гипса каждого управляющего фактора обеспечивается только при условии физически обоснованного выбора. Для рассмотренного технологического решения — введения микроразмерных гидросиликатов цинка — такими факторами являются: активность модификатора по отношению к катионам кальция Ca^{2+} (химический фактор) и площадь границы раздела фаз «гипсовый камень — модификатор» (физико-химический фактор). Эти характеристики позволяют не только осуществить анализ структурообразования, но и фактически являются параметрами управления технологией получения изделий на основе строительного гипса. Кроме того, предложенная методика позволяет выявить наличие синергетического эффекта и определить диапазоны варьирования рецептурных факторов, обеспечивающие его максимальные значения. Эта методика может быть распространена также на другие вяжущие вещества и материалы.

2. Микроразмерные гидросиликаты цинка оказывают влияние на структурообразование строительного гипса, обеспечивая регулирование свойств как смеси, так и гипсового камня. Установлено, что химическая активность модификатора не оказывает влияния на подвижность гипсового теста. Особенности влияния модификатора на сроки схватывания обусловлены его химическими свойствами — сорбционными характеристиками, которые зависят от количества кремниевой кислоты и ее состояния, а также физико-химическими — способностью выступать в роли подложки для кристаллообразования. В диапазоне варьирования содержания модификатора и свойств синергетического эффекта не выявлено.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Алмухтар О. А., Цублова Е. Г.* Микотоксины как химические факторы среды жизни человека и методы защиты от них // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Брянск, 25–27 апреля 2018 г.). Брянск : БГИТУ, 2018. С. 201–202.
2. *Артюх В. П., Гойстер О. С., Хмельницкий Г. А., Стародуб Н. Ф.* Трихотеценовые микотоксины: определение в объектах окружающей среды // Biopolymers and Cell. 2003. Т. 19. № 3. С. 216–223.
3. *Кукушкина С. В., Сергеев Ю. В., Дубровина Е. В.* Поликлинические микозы // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. № 2. С. 125–130.
4. *Гришина А. Н., Королев Е. В.* Химический состав биоцидного модификатора на силикатной основе // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 58–67.
5. *Grishina A., Korolev E.* Structure formation of gypsum binder with zinc hydrosilicates [Структурообразование гипсового вяжущего с гидросиликатами цинка] // E3S Web of Conferences. 2019. No. 91. P. 02016. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102016.
6. *Артамонова О. В., Сергуткина О. Р.* Исследование количественного состава наноразмерных систем SiO_2–H_2O, синтезированных золь-гель методом // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия:

Физико-химические проблемы строительного материаловедения и высокие технологии. 2011. № 3–4. С. 13–21.

7. *Устинова Ю. В., Сивков С. П., Баринова О. П., Санжаровский А. Ю.* Влияние различных добавок на морфологию кристаллов двуводного гипса // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 140–144.

8. *Устинова Ю. В., Сивков С. П., Алексашин В. М.* Изучение кристаллизации двуводного гипса в присутствии полимерных добавок // Вестник МГСУ. 2012. № 7. С. 130–135.

9. *Гаркави М. С., Фишер Х. Б., Бурьянов А. Ф.* Особенности кристаллизации двуводного гипса при искусственном старении гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 73–75.

10. *Гаркави М. С., Некрасова С. А., Трошкина Е. А.* Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах // Архитектура. Строительство. Образование. 2013. № 2. С. 193–198.

11. *Логанина В. И., Жегера К. В.* Оценка эффективности использования синтезированных алюмосиликатов в цементных системах // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2014. № 3. С. 84–87.

12. *Логанина В. И., Пышкина И. С.* Структурообразование известковых композитов в присутствии синтезированных добавок на основе гидросиликатов кальция // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 1. С. 81–83.

13. *Логанина В. И., Пышкина И. С.* Известковые отделочные составы с применением наполнителя на основе синтезированных гидросиликатов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Т. 15. № 4. С. 36–39.

14. *Логанина В. И., Жерновский И. В., Садовникова М. А., Жегера К. В.* Добавка на основе синтезированных алюмосиликатов для цементных систем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 5. № 6 (65). С. 8–11.

15. *Королев Е. В., Гришина А. Н., Сатюков А. Б.* Химический состав наномодифицированного композиционного вяжущего с применением нано- и микроразмерных гидросиликатов бария // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2014. Т. 6. № 4. С. 90–103.
URL: http://files.nocnt.ru/articles/all/Himicheskii-sostav-nanomodificirovannih-gidrosilikatov-bariya.pdf (дата обращения: 18.12.2019).

16. *Гришина А. Н., Королев Е. В.* Особенности химического состава продуктов осаждения гидросиликатов натрия // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 37–40.

17. *Меледина Л. А.* Новые наполнители и промоторы адгезии для резин, полученные на основе синтетических слоистых силикатов. М. : Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова, 2006.
URL: http://tekhnosfera.com/view/182545/a?#?page=1 (дата обращения 18.12.2019).

18. *Зиганшина К. Р.* Периодичность формообразования и физико-химические свойства кремниевой кислоты. Челябинск : Челябинский государственный педагогический университет, 2006.
URL: http://fizmathim.com/read/179816/a?#?page=22 (дата обращения 18.12.2019).

R E F E R E N C E S

1. Almukhtar O. A., Tsublova E. G. Mycotoxins as chemical factors of the human environment and methods of protection against them. *Sreda, okruzhayushchaya cheloveka: prirodnaya, tekhnogennaya, sotsial'naya. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Human environment: natural, technogenic, social: materials of the VII International scientific and practical conference (Bryansk, April 25–27, 2018)]. Bryansk, BGITU Publ., 2018, pp. 201–202. (In Russian).

2. Artyukh V. P., Goyster O. S., Khmel'nitskiy G. A., Starodub N. F. Trichotecene mycotoxins: determination in environmental objects. *Biopolymers and Cell*, 2003, vol. 19, no. 3, pp. 216–223. (In Russian).

3. Kukushkina S. V., Sergeev Yu. V., Dubrovina E. V. Outpatient fungal infections. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik*, 2013, no. 2, pp. 125–130. (In Russian).

4. Grishina A. N., Korolev E. V. Chemical composition of a silicate-based biocide modifier. *Vestnik MGSU*, 2016, no. 11, pp. 58–67. (In Russian).

5. Grishina A., Korolev E. Structure formation of gypsum binder with zinc hydrosilicates. *E3S Web of Conferences*, 2019, no. 91, p. 02016.
DOI: 10.1051/e3sconf/20199102016.

6. Artamonova O. V., Sergutkina O. R. Investigation of the quantitative composition of SiO_2–H_2O nanoscale systems synthesized by the Sol-gel method. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy stroitel'nogo materialovedeniya i vysokie tekhnologii*, 2011, no. 3-4, pp. 13–21. (In Russian).

7. Ustinova Yu.V., Sivkov S.P., Barinova O. P., Sanzharovskiy A. Yu. Influence of various additives on the morphology of two-water gypsum crystals. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 4, pp. 140–144. (In Russian).

8. Ustinova Yu. V., Sivkov S. P., Aleksashin V. M. Study of crystallization of two-water gypsum in the presence of polymer additives. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 7, pp. 130–135. (In Russian).

9. Garkavi M. S., Fisher Kh. B., Bur'yanov A. F. Features of crystallization of two-water gypsum during artificial aging of gypsum binder. *Stroitel'nye materialy*, 2015, no. 12, pp. 73–75. (In Russian).

10. Garkavi M. S., Nekrasova S. A., Troshkina E. A. The kinetics of formation of contacts in a plaster nanomodified materials. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie*, 2013, no. 2, pp. 193–198. (In Russian).

11. Loganina V. I., Zhegera K. V. Evaluation of the efficiency of using synthesized aluminosilicates in cement systems. *Akademicheskiy vestnik UralNIIproekt RAASN*, 2014, no. 3, pp. 84–87. (In Russian).

12. Loganina V. I., Pyshkina I. S. Structure formation of lime composites in the presence of synthesized additives based on calcium hydrosilicates. *Akademicheskiy vestnik UralNIIproekt RAASN*, 2015, no. 1, pp. 81–83. (In Russian).

13. Loganina V. I., Pyshkina I. S. Lime and finishing compositions using filler on the basis of the synthesized hydrosilicates. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 36–39. (In Russian).

14. Loganina V. I., Zhernovskiy I. V., Sadovnikova M. A., Zhegera K. V. Additive based on synthesized aluminosilicates for cement systems. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, 2013, vol. 5, no. 6 (65), pp. 8–11. (In Russian).

15. Korolev E. V., Grishina A. N., Satyukov A. B. Chemical composition of a nanomodified composite binder using nano-and micro-sized barium hydrosilicates. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 90–103. Available at: http://files.nocnt.ru/articles/all/Himicheskii-sostav-nanomodificirovannih-gidrosilikatov-bariya.pdf (accessed 18.12.2019). (In Russian).

16. Grishina A. N., Korolev E. V. Features of the chemical composition of sodium hydrosilicate deposition products. *Stroitel'nye materialy*, 2016, no. 11, pp. 37–40. (In Russian).

17. Meledina L. A. *Novye napolniteli i promotory adgezii dlya rezin, poluchennye na osnove sinteticheskikh sloistykh silikatov* [New fillers and adhesion promoters for rubbers based on synthetic layered silicates]. Moscow, Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya tonkoy khimicheskoy tekhnologii im. M. V. Lomonosova Publ., 2006. Available at: http://tekhnosfera.com/view/182545/a?#?page=1 (accessed 18.12.2019). (In Russian).

18. Ziganshina K. R. *Periodichnost' formoobrazovaniya i fiziko-khimicheskie svoystva kremnievoy kisloty* [Frequency of formation and physical and chemical properties of silicic acid]. Chelyabinsk, Chelyabinskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet Publ., 2006. Available at: http://fizmathim.com/read/179816/a?#?page=22 (accessed 18.12.2019).

Для цитирования: *Гусев Б. В., Гришина А. Н., Королев Е. В.* Особенности структурообразования гипсового вяжущего, модифицированного гидросиликатами цинка // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 40–46. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.40-46.

For citation: Gusev B. V., Grishina A. N., Korolev E. V. Characteristics of the Structure Formation of Gypsum Binder Modified with Zinc Hydrosilicates. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 2, pp. 40–46. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.02.40-46.