

## СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 691.54

**А.Н. Гришина, Е.В. Королев**

*НИУ МГСУ*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИДРОСИЛИКАТАМИ БАРИЯ

Установлено, что модифицирование цемента нано- и/или микроразмерными гидросиликатами бария позволяет увеличить в составе цементного камня содержание различных гидросиликатов кальция, снизить содержание портландита и гидросульфоалюминатов кальция. Показана специфика влияния различных гидросиликатов бария на химический состав цементного камня.

**Ключевые слова:** цементный камень, микроразмерные гидросиликаты бария, ИК-спектроскопия, химический состав, наноразмерные гидросиликаты бария

Одним из направлений повышения показателей качества цементных композитов является применение высокодисперсных цементов (цемент микродисперсный Sika Injectocem-190, NANODUR и др.) [1—4]. Они позволяют получать цементный камень, характеризующийся высокой прочностью и низкой пористостью. Однако их применение ограничено высокой стоимостью продукта [3, 4], сложностью регулирования реотехнологических свойств цементного теста, а также необходимостью соблюдения достаточно высокой объемной доли цементного теста в бетоне (не менее 0,26) независимо от его прочностных характеристик. Поэтому альтернативой применения высокодисперсных цементов является модифицирование портландцемента различными добавками, которые способны направленно регулировать фазовый состав и параметры структуры получаемого цементного камня.

Известно, что увеличение количества гидросиликатов кальция путем связывания водорастворимого портландита позволяет повысить прочность, водостойкость и химическую стойкость получаемого искусственного камня, снизить его пористость [5—7]. Одним из направлений управления составом продуктов твердения портландцемента является использование природных и искусственных добавок, имеющих пуццолановую активность [5—7]. Наибольшую эффективность при этом имеет комплексный подход, при котором оптимизируется также и структура материала [8]. К таким добавкам относятся нано- и микроразмерный модификаторы на основе гидросиликатов бария (далее — гидросиликаты бария). Эффективность их применения обусловлена последовательной иерархичной оптимизацией структурных уровней. В [9] показано, что при наномодифицировании оптимизированного на микроуровне композиционного вяжущего наноразмерными гидросиликатами бария показатели свойств материала существенно улучшаются. При этом установлено, что управляющими факторами, определяющими эффективности наномоди-

фикатора, содержащего гидросиликаты бария, являются концентрация золя гидроксида железа (III) ( $C(\text{Fe}(\text{OH})_3)$ ) и количество используемых для синтеза кремниевой кислоты гидросиликатов натрия, оцениваемое показателем  $\alpha$  [10].

Для подтверждения химического взаимодействия гидросиликатов бария с портландитом и образования гидросиликатов кальция необходимо исследовать влияние указанных соединений на химический состав искусственного камня. При условии формирования аморфных или слабо закристаллизованных гидросиликатов кальция применение некоторых методов для их идентификации, например метода рентгенофазового анализа и КР-спектроскопии, ограничено. Для исследования химического состава кристаллических и аморфных материалов эффективно применение ИК-спектроскопии.

Исследования химического состава искусственного камня на основе композиционного вяжущего и наномодифицированного искусственного камня на основе композиционного вяжущего позволяют установить влияние наноразмерных и микроразмерных частиц гидросиликатов бария на структурообразование цементного камня и композиционного вяжущего, а также идентифицировать синтезируемые фазы (рис. 1 и 2).

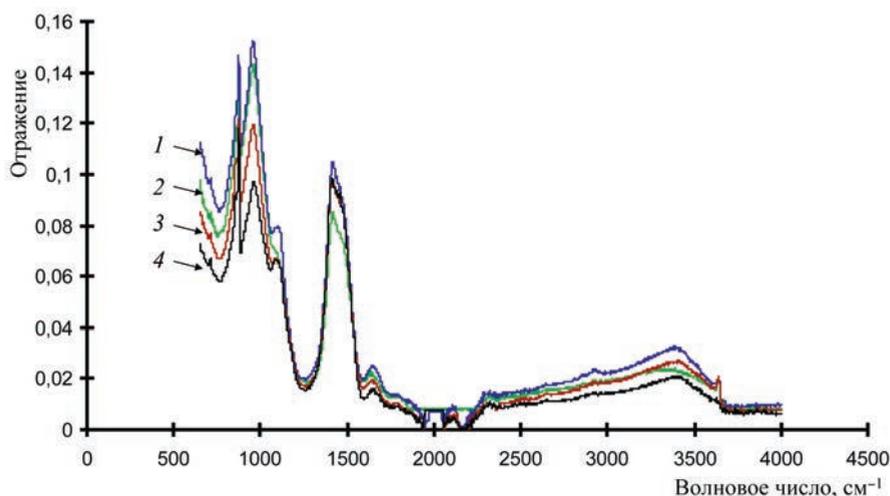


Рис. 1. ИК-спектрограмма цементного камня, модифицированного наноразмерными гидросиликатами бария, на основе прекурсора кремниевой кислоты состава: 1 —  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,7\%$ ,  $\alpha = 1,0$ , возраст — 0 сут; 2 — цементный камень контрольного состава; 3 —  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,5\%$ ,  $\alpha = 1,5$ , возраст — 0 сут; 4 —  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,7\%$ ,  $\alpha = 1,0$ , возраст — 28 сут

Анализ продуктов твердения методом ИК-спектроскопии показывает, что полосы всех исследованных составов наблюдаются при одинаковой длине волны, но имеют различную интенсивность. Поэтому идентифицировать протекающие процессы возможно по изменению концентраций фаз и, соответственно, площади наблюдаемых максимумов. Значения площадей аномалий приведены в табл. 1 и 2.

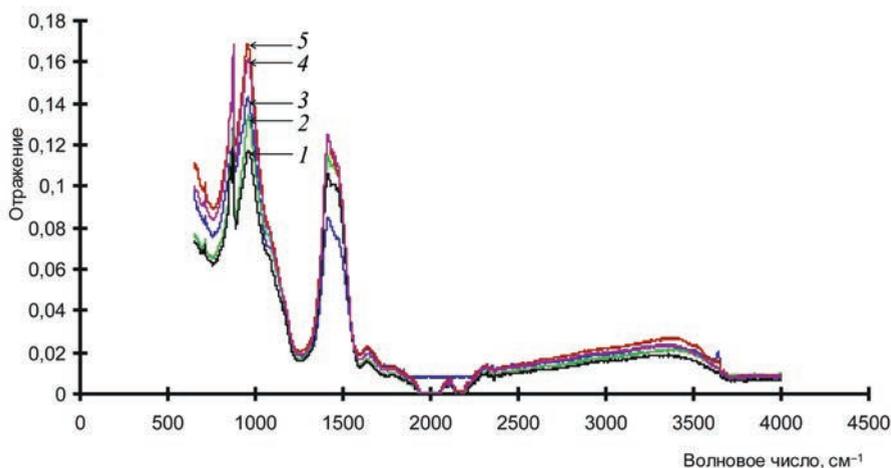


Рис. 2. ИК-спектрограмма: 1 — наномодифицированного ( $C(Fe(OH)_3) = 0,5 \%$ ,  $\alpha = 1,5$ ) композиционного искусственного камня с применением 10 % микроразмерных гидросиликатов бария (100 % осадителя); 2 — композиционного искусственного камня с применением 10 % микроразмерных гидросиликатов бария (100 % осадителя); 3 — цементный камень контрольного состава; 4 — наномодифицированного ( $C(Fe(OH)_3) = 0,5 \%$ ,  $\alpha = 1,0$ ) композиционного вяжущего с применением 10 % микроразмерных гидросиликатов бария (100 % осадителя); 5 — наномодифицированного ( $C(Fe(OH)_3) = 0,7 \%$ ,  $\alpha = 1,0$ ) композиционного вяжущего с применением 10 % микроразмерных гидросиликатов бария (100 % осадителя)

Табл. 1. Площади аномалий на рис. 1

Состав	Волновое число, см <sup>-1</sup>				
	3638	1414	1100	950	871
Цементный камень без добавок	0,121	9,054	0,581	4,153	0,700
Наномодифицированный цементный камень при $C(Fe(OH)_3) = 0,5 \%$ , $\alpha = 1,5$ (возраст наноразмерных гидросиликатов бария — 0 сут)	0,131	11,586	0,795	3,310	0,950
Наномодифицированный цементный камень при $C(Fe(OH)_3) = 0,7 \%$ , $\alpha = 1,0$ (возраст наноразмерных гидросиликатов бария — 0 сут)	0,102	11,709	1,103	4,447	0,970
Наномодифицированный цементный камень при $C(Fe(OH)_3) = 0,7 \%$ , $\alpha = 1,0$ (возраст наноразмерных гидросиликатов бария — 28 сут)	0,010	16,980	2,004	3,328	1,620
Наномодифицированный цементный камень при $C(Fe(OH)_3) = 0,5 \%$ , $\alpha = 1,0$ (возраст наноразмерных гидросиликатов бария — 0 сут)	0,020	12,235	1,007	2,533	1,14

Табл. 2. Площади аномалий на рис. 2.

Состав	Волновое число, см <sup>-1</sup>				
	3638	1414	1100	950	871
Цементный камень из композиционного вяжущего, содержащего микроразмерные гидросиликаты бария*	0,061	11,729	0,119	3,189	1,08
Наномодифицированный цементный камень ( $C(Fe(OH)_3) = 0,5 \%$ , $\alpha = 1,0$ ) из композиционного вяжущего, содержащего микроразмерные гидросиликаты бария*	0,021	14,909	0,037	5,044	1,14
Наномодифицированный цементный камень ( $C(Fe(OH)_3) = 0,5 \%$ , $\alpha = 1,5$ ) из композиционного вяжущего, содержащего микроразмерные гидросиликаты бария*	0,002	13,461	3,485	0,146	1,21
Наномодифицированный цементный камень ( $C(Fe(OH)_3) = 0,7 \%$ , $\alpha = 1,0$ ) из композиционного вяжущего, содержащего микроразмерные гидросиликаты бария*	0,033	14,249	0,165	3,27	1,21

\* Содержание гидросиликатов бария, полученных с применением 100 % осадителя, составляет 10 % массы цемента.

Анализ табл. 1 и 2 и рис. 1 и 2 показывает, что химический состав продуктов гидратации имеет отклики при 3638; 1414; 1100; 950; 871 см<sup>-1</sup>. Интенсивность полосы при 3638 см<sup>-1</sup> вызвана колебаниями ОН-групп [11]. Поэтому отклик может принадлежать как портландиту, так и ксонотлиту или другим гидросиликатам аналогичной структуры относительно положения гидроксильной группы. Однако известно, что введение наноразмерных гидросиликатов кальция значительно снижает содержание портландита в цементном камне [12]. Поэтому снижение площади максимума отклика при наномодифицировании портландцемента коллоидным раствором гидросиликатов бария до 12,10 раз в зависимости от концентрации и продолжительности хранения коллоидного раствора, вероятно, вызвано снижением концентрации портландита. При этом следует отметить, что использование золя, изготовленного из  $C(Fe(OH)_3) = 0,7 \%$ ,  $\alpha = 1,0$  в возрасте 28 сут, способствует наибольшему снижению концентрации портландита. Максимумы при 1414 см<sup>-1</sup> характеризуют деформационные колебания гидроксильных групп в вершинах кремнекислородных тетраэдров, а также могут принадлежать карбонату кальция или свидетельствуют о присутствии обоих компонентов [13—19]. Учитывая, что наименьшая интенсивность отклика характерна для контрольного состава (см. рис. 1), то очевидно, что увеличение интенсивности аномалии вызвано образованием силикатной фазы. Кроме того, совокупность полосы 1414 см<sup>-1</sup> и широкой полосы спектра в области 3300...3500 см<sup>-1</sup> свидетельствуют о наличии субмикрористаллических тоберморитоподобных гидросиликатов кальция. Следует отметить увеличение в 1,9 раза интенсивности отклика для состава, модифицированного золем, изготовленным из  $C(Fe(OH)_3) = 0,7 \%$ ,  $\alpha = 1,0$ , хранившимся 28 сут, что согласуется с уменьшением содержания портландита в составе материала.

У двухмерных структур (слоистых, кольцевых) и одномерных в виде цепей  $\nu(\text{SiO})$  поглощение наблюдается при  $1000...1100 \text{ см}^{-1}$  [13]. Применение наноразмерных гидросиликатов бария позволяет увеличить содержание таких гидросиликатов кальция до 4,5 раз.

При  $950 \text{ см}^{-1}$  происходят валентные колебания  $\text{Si}(\text{OH})$  трех типов гидроксиллов, а также колебания групп гидросульфатоалюминатов кальция [13]. Введение наноразмерных гидросиликатов бария в основном снижает интенсивность указанного максимума. Соответственно, он принадлежит к гидросульфатоалюминатам кальция, а не силикатам. Введение наноразмерных гидросиликатов бария не существенно снижает содержание гидросульфатоалюминатов кальция.

Слабый максимум при  $871 \text{ см}^{-1}$  характерен для  $-(\text{Si}_4\text{O}_{10})_{\infty}$  [13, 20]. Существенное увеличение площади аномалии наблюдается при модифицировании портландцемента золом, изготовленным из  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,7 \%$ ,  $\alpha = 1,0$ , хранившимся 28 сут. Из ранее описанных откликов следует, что использование указанного модификатора приводит к связыванию портландита и увеличению количества гидросиликатов кальция. Поэтому увеличение интенсивности отклика при  $871 \text{ см}^{-1}$  можно объяснить увеличением количества  $-(\text{Si}_4\text{O}_{10})_{\infty}$ -групп, т.е. силикатной фазы.

Таким образом, среди наноразмерных модификаторов наиболее эффективен золя, изготовленный из  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,7 \%$ ,  $\alpha = 1,0$ , хранившийся 28 сут. Указанное может быть обусловлено концентрацией кремниевой кислоты в модификаторе, величиной рН среды коллоидного раствора и другими факторами.

Модифицирование портландцемента частицами микроразмерных гидросиликатов бария также снижает концентрацию портландита из-за содержания кремниевой кислоты  $\sim$  в 2 раза. Последовательное введение частиц нано- и микроразмерных гидросиликатов бария позволяет снизить содержание портландита в 3,67...60,5 раза, что указывает на эффективность применения технологии наномодифицирования для повышения качества цементного композита (камня), оптимизированного на микроуровне. Однако наибольшая эффективность наблюдается при использовании наномодификатора, синтезированного с использованием золя с  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,5 \%$ ,  $\alpha = 1,5$ . Отклонение состава наномодификатора от эффективного для цементного камня вызвано, вероятно, влиянием кремниевой кислоты в составе микроразмерных частиц гидросиликатов бария.

Введение коллоидных растворов и микроразмерных частиц гидросиликатов бария увеличивает количество щелочных центров, поэтому интенсивность отклика возрастает, что может свидетельствовать об увеличении содержания гидросиликатов кальция, что отражается на интенсивности откликов при 1414; 1100 и  $871 \text{ см}^{-1}$ . Отличительной особенностью наномодифицирования композиционного цементного камня является увеличение содержания определенного вида гидросиликатов кальция. Так, использование золя гидросиликатов бария, синтезированного с применением прекурсора с  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,5$  и  $0,7 \%$ ,  $\alpha = 1,0$ , приводит к увеличению содержания кремнекислородных тетраэдров. А применение прекурсора с  $C(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 0,5 \%$ ,  $\alpha = 1,5$  увеличивает содержание как кремнекислородных тетраэдров, так и цепей  $\nu(\text{SiO})$ .

Безусловно, ИК-спектроскопия не позволяет из-за наложения некоторых откликов идентифицировать некоторые фазы цементного камня. Поэтому дополнительно полученные данные необходимо сопоставить с результатами, установленными другими методами анализа, например, дифференциально-термического. Согласно данным, представленным в [21], наблюдается увеличение содержания гидросиликатов кальция и уменьшение количества портландита, что согласуется с полученными результатами.

### Библиографический список

1. *Шарапов Р.Р., Шантала В.Г., Алфимова Н.И.* Прогнозирование дисперсных характеристик высокодисперсных цементов // *Строительные материалы*. 2007. № 8. С. 24—25.
2. *Марданова Э.И., Сенерина Н.В., Рахимов Р.З.* Высокодисперсные наполненные цементы с использованием глинистых песков // *Строительные материалы и изделия* : сб. 2000. Режим доступа: <http://sbcmi.ru/vysokodispersnyye-napolnennyye-tsementi-s-ispolzovaniem-glinistih-peskov>. Дата обращения: 26.08.2015.
3. UHPC Ultra high performance concrete with Nanodur Compound 5941. Режим доступа: <http://www.dyckerhoff.com/online/download.jsp?idDocument=110&instance=1>. Дата обращения: 08.09.2015.
4. Раствор для инъекций на основе микроцемента. Режим доступа: [http://www.sika-yug.ru/Solutions\\_Products/Construction/Structural\\_bonding\\_and\\_strengthening\\_of\\_structures/Injectable\\_formulations\\_for\\_repair/Sika\\_Injectocem-190](http://www.sika-yug.ru/Solutions_Products/Construction/Structural_bonding_and_strengthening_of_structures/Injectable_formulations_for_repair/Sika_Injectocem-190). Дата обращения: 25.08.2015.
5. *Строкова В.В., Нелюбова В.В., Алтынник Н.И., Жерновский И.В., Осадчий Е.Г.* Фазаобразование в системе цемент — известь — кремнезем в гидротермальных условиях с использованием наноструктурированного модификатора // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 30—33.
6. *Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р., Строянов О.В.* Керамзитовая пыль как активная добавка в минеральные вяжущие — состав и пуццолановые свойства // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 19. С. 57—61.
7. *Иноземцев А.С.* Методы ИК- и КР-спектроскопии для исследования процессов структурообразования наномодифицированных высокопрочных легких бетонов // *Наука и технология: шаг в будущее — 2014* : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Прага : Образование и наука, 2014. Т. 31. С. 26—30.
8. *Korolev E.V., Inocentsev A.S.* Preparation and research of the hight-strength lightweight concrete based on hollow microspheres // *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 746. Pp. 285—288.
9. *Гришина А.Н., Королев Е.В.* Эффективность модифицирования цементных композитов наноразмерными гидросиликатами бария // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 72—76.
10. *Королев Е.В., Гришина А.Н.* Синтез и исследование наноразмерной добавки для повышения устойчивости пен на синтетических пенообразователях для пенобетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 30—33.
11. *Шишелова Т.И., Созинова Т.В., Коновалова А.Н.* Практикум по спектроскопии. Вода в минералах. М. : Академия Естествознания, 2010. 88 с.
12. *Макридин Н.И., Вернигорова В.Н., Максимова И.Н.* О микроструктуре и синтезе прочности цементного камня с добавками ГСК // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2003. № 8. С. 37—42.
13. *Чужин Г.Д.* Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема. М. : Типография Паладин, ООО «Принта», 2008. 172 с.
14. *Коровкин М.В.* Физические методы изучения минералов (Ч. II). Режим доступа: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0>

CBwQFjAAahUKEwiQ5fiovefHAhWHg3IKHWFwCws&url=http%3A%2F%2Fportal.tpu.ru%2FSHARED%2Fm%2FMVK%2Ftraining%2FTab1%2FLecture\_IKS(part\_2).ppt&usg=AFQjCNF47tVtKQ\_xsXsuhll1ZKS79pWPqQ&bvm=bv.102022582,d.bGQ.  
Дата обращения: 27.08.2015.

15. *Chukin G.D., Malevich V.I.* Infrared spectra of silica // Journal of Applied spectroscopy. February 1977. Vol. 26. No. 2. Pp. 223—229.

16. *Chukin G.D., Apretova A.I.* Silica gel and aerosil IR spectra and structure // Journal of Applied Spectroscopy. April 1989. Vol. 50. No. 4. Pp. 418—422.

17. *Innocenzi Plino.* Infrared spectroscopy of sol-gel derived silica-based films: a spectra-microstructure overview // Journal of Non-Crystalline Solids. February 2003. Vol. 319. Issues 2-3. Pp. 309—319.

18. *El Rassy H., Pierre A.C.* NMR and IR spectroscopy of silica aerogel with different hydrophobic characteristics // Journal of Non-Crystalline Solids. 2005. Vol. 351. Pp. 1603—1610.

19. *Chiyoe Koike, Yuta Imai, Ryo Noguchi, Hiroki Chihara, Akira Tsuchiyama, Osamu Ohtaka.* IR spectra of silica (SiO<sub>2</sub>) polymorphs. Режим доступа: [www.cps-jp.org/~mosir/pub/2011/2011-11-09/03\\_koike/pub-web/20111109\\_koike.pdf](http://www.cps-jp.org/~mosir/pub/2011/2011-11-09/03_koike/pub-web/20111109_koike.pdf). Дата обращения: 28.08.2015.

20. *Дубровин В.К., Заславская О.М., Чесноков А.А.* Механизм гидратации кристаллогидратных формовочных смесей на основе силикатов кальция // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2010. № 13 (189). С. 59—63.

21. *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.

*Поступила в редакцию в сентябре 2015 г.*

Об авторах: **Гришина Анна Николаевна** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии», **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 188-04-00, [GrishinaAN@mgsu.ru](mailto:GrishinaAN@mgsu.ru);

**Королев Евгений Валерьевич** — доктор технических наук, профессор, директор научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии», проректор, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 188-04-00, [KorolevEV@mgsu.ru](mailto:KorolevEV@mgsu.ru).

Для цитирования: *Гришина А.Н., Королев Е.В.* Исследование химического состава цементного камня, модифицированного гидросиликатами бария // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 66—74.

**A.N. Grishina, E.V. Korolev**

#### CHEMICAL COMPOSITION OF THE CEMENT STONE MODIFIED BY BARIUM HYDROSILICATES

The article is devoted to the investigation of chemical composition of cement stone modified by micro- and nanoscale barium hydrosilicates. It is shown that introduction of a nanomodifier leads to increased amount of various calcium hydrosilicates, lowers the amount of portlandite and calcium hydrosulfoaluminates. The specifics of influence of

various barium hydrosilicates on the chemical composition of cement stone is revealed. It is shown that sol made of precursor with the content of  $C(Fe(OH)_3) = 0.7\%$ ,  $\alpha = 1.0$  (that was stored for 28 days) is the most effective among all other examined nanomodifiers. This can be due to the specific values of silicic acid concentration in the modifier and also by pH value of the medium; other factors may also affect the efficiency. Because of different content of silicic acid the modification of the portland cement by micro-sized barium hydrosilicates decreases the amount of portlandite (about two times). The sequential modification with nano- and micro-scale modifiers allows reducing the amount of portlandite by 3.67...60.5 times. Thus, nanomodification of the previously optimized (at the micro scale) cement composite (cement stone) is the most effective. High efficiency of the sol that was made of precursor with the content of  $C(Fe(OH)_3) = 0.5\%$ ,  $\alpha = 1.5$  is also observed. During our experiments we have also revealed the distinctive feature of the nanomodification of cement stone. This feature consists in content growth for specific type of calcium hydrosilicates. In particular, by means of using the sol that was made of precursor with the content of  $C(Fe(OH)_3) = 0.5\text{--}0.7\%$ ,  $\alpha = 1.0$ , the amount of silicon-oxygen tetrahedrons can be magnified; the relative amount of silicon-oxygen  $v(SiO)$  chains can also be increased in case of  $\alpha = 1.5$ .

**Key words:** cement stone, micro-scale barium hydrosilicates, IR-spectroscopy, chemical composition, nano-scale barium hydrosilicates

### References

1. Sharapov R.R., Shaptala V.G., Alfimova N.I. Prognozirovaniye dispersnykh kharakteristik vysokodispersnykh tsementov [Forecasting Disperse Characteristics of Finely-Dispersed Concretes]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2007, no. 8, pp. 24—25. (In Russian)
2. Mardanova E.I., Senerina N.V., Rakhimov R.Z. Vysokodispersnye napolnennyye tsementy s ispol'zovaniem glinistykh peskov [Finely-Dispersed Filled Cements with the Use of Clay Sands]. *Stroitel'nye materialy i izdeliya : sbornik* [Construction Materials and Products : Collection]. 2000. Available at: <http://sbcmi.ru/vysokodispersnye-napolnennyye-tsementi-s-ispolzovaniem-glinistih-peskov>. Date of access: 26.08.2015. (In Russian)
3. UHPC Ultra High Performance Concrete with Nanodur Compound 5941. Available at: <http://www.dyckerhoff.com/online/download.jsp?idDocument=110&instance=1>. Date of access: 08.09.2015.
4. *Rastvor dlya in'ektsiy na osnove mikrotsementa* [Solution for Injections Based on Micro Cement]. Available at: [http://www.sika-yug.ru/Solutions\\_Products/Construction/Structural\\_bonding\\_and\\_strengthening\\_of\\_structures/Injectable\\_formulations\\_for\\_repair/Sika\\_Injectocem-190](http://www.sika-yug.ru/Solutions_Products/Construction/Structural_bonding_and_strengthening_of_structures/Injectable_formulations_for_repair/Sika_Injectocem-190). Date of access: 25.08.2015. (In Russian)
5. Stokova V.V., Nelyubova V.V., Al'tynnik N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchiy E.G. Fa-zoobrazovaniye v sisteme tsement — izvest' — kremnezem v gidrotermal'nykh usloviyakh s ispol'zovaniem nanostrukturirovannogo modifikatora [Phase Formation in the System Cement — Lime — Silica in Hydrothermal Conditions with the Use of Nanostructured Modifier]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013, no. 9, pp. 30—33. (In Russian)
6. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gayfullin A.R., Stroyanov O.V. Keramzitovaya pyl' kak aktivnaya dobavka v mineral'nye vyazhushchie — sostav i put'solanovyye svoystva [Ceramsite Dust as Active Agent in Cementing Materials — Composition and Pozzolanic Properties]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University]. 2013, vol. 16, no. 19, pp. 57—61. (In Russian)
7. Inozemtsev A.S. Metody IK- i KR-spektroskopii dlya issledovaniya protsessov strukturoobrazovaniya nanomodifitsirovannykh vysokoprochnykh legkikh betonov [Methods of Infrared and Raman Spectroscopy for Investigation of Structure Formation Processes of Nano-modified High-Strength Light Concretes]. *Nauka i tekhnologiya: shag v budushchee — 2014 : materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Praga* [Science and Technology: Step into Future — 2014 : Materials of the 10th International Science and Practice Conference, Prague]. *Obrazovanie i nauka Publ.*, 2014, vol. 31, pp. 26—30. (In Russian)
8. Korolev E.V., Inocemcev A.S. Preparation and Research of the High-Strength Light-weight Concrete Based on Hollow Microspheres. *Advanced Materials Research*. 2013, vol. 746, pp. 285—288. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.746.285>.
9. Grishina A.N., Korolev E.V. Effektivnost' modifitsirovaniya tsementnykh kompozitov nanorazmernymi gidrosilikatami bariya [Efficiency of Modifying Cement Composites with Nanoscale Barium Hydrosilicate]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015, no. 2, pp. 72—76. (In Russian)

