

УДК 544.77.539.89:666.97

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНОМАГНИТОАКТИВИРОВАННЫХ
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЖИДКОГО СТЕКЛА
ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ***

**APPLICATION OF MECHANIC AND MAGNETIC ACTIVATED
LIQUID GLASS WATER SOLUTIONS
FOR FINE-GRAINED COMPOSITES MODIFYING**

С.В. ФЕДОСОВ, М.В. АКУЛОВА, Т.Е. СЛИЗНЕВА, С.А. КОКШАРОВ, А.С. АХМАДУЛИНА, Ю.А. СОКОЛОВА
S.V. FEDOSOV, M.V. AKULOVA, T.E. SLIZNEVA, S.A. KOKSHAROV, A.S. AKHMADULINA, YU.A. SOKOLOVA

(Ивановский государственный политехнический университет,
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново)
(Ivanovo State Polytechnic University,
Institute of Solution Chemistry of RAS named after G.A. Krestov, Ivanovo)
E-mail: fedosov-academic53@mail.ru; m_akulova@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния механомагнитной активации на размер частиц и электрокинетические характеристики дисперсной фазы, поровую структуру цементного камня и физико-механические показатели мелкозернистых композитов (бетонов). Установлено повышение прочности при сжатии и при изгибе, термостойкости и химической стойкости бетона за счет снижения диаметра пор и общего их объема в цементном камне на активированных водных системах.

* Работа выполнена в рамках государственного задания № 11.1898.2014/К Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности с использованием приборной базы Центра коллективного пользования научным оборудованием "Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований".

Mechanomagnetic activation effect to particles size and electrokinetic properties of disperse phase, to pore structure of cement stone and physical-mechanical properties of fine-grained composites (concrete) study results expounded. Rise of compressive strength and bending strength, thermostability and chemical durability of concrete by decrease pore size and pore space into cement stone mixed activated water system established.

Ключевые слова: механомагнитная активация, жидкое стекло, мелкозернистый бетон, поровая структура, метод светового рассеяния.

Keywords: mechanic and magnetic activation, liquid glass, fine-grained concrete, pore structure, light scattering method.

В производстве мелкозернистых композитов, в частности цементного бетона, прочно завоевавшего рынок строительных материалов, наметилась тенденция к расширению многообразия их свойств в условиях снижения удельной себестоимости. Развитие одного из важных направлений использования мелкозернистого бетона, связанного с производством покрытий для полов в цехах химических производств и возведением тонкостенных перекрытий повышенной термостойкости, требует применения специальных видов цементов или химических и минеральных добавок [1...3].

В последние годы большое распространение получили добавки, содержащие оксиды кремния. Так, введение в состав бетона микрокремнезема и нанокремнезема [4...7] способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, обуславливающих повышение прочности цементной матрицы и уменьшение количества гидроксида кальция, наличие которого повышает риск возникновения коррозии бетона [8]. К недостаткам применения микрокремнезема можно отнести повышение водопотребности модифицированной бетонной смеси и необходимость совместного использования пластификаторов [3].

Другим источником оксида кремния могут служить жидкие стекла, в частности водный раствор силиката натрия, применяемые как самостоятельное связующее либо как добавка к портландцементу с целью повышения огнестойких и кислотостойких свойств бетонов и уплотнения цементной матрицы [9], [10]. Водный раствор силиката натрия представляет собой совокупность

полимолекул переменного состава [11...13], который определяется силикатным модулем. Чем выше силикатный модуль, тем выше степень полимеризации и скорость твердения, поэтому для обеспечения живучести смесей необходимо применять низкомолекулярные жидкие стекла. Однако даже в низкомолекулярных жидких стеклах обычно присутствуют коллоидные образования, и применение их в качестве добавки в бетон может приводить к появлению фазовых неоднородностей и микродефектов в цементном камне. Поэтому получение гомогенных водных систем, содержащих жидкое стекло, используемых для затворения бетонных смесей, является актуальным.

Одним из способов повышения гомогенности водной системы и повышения активности содержащегося в воде вещества за счет интенсификации массообменных процессов является предварительная обработка жидкости [14...16]. В коллоидной мельнице [14] осуществляется комплексная обработка водных дисперсий: механическая, магнитная и ультразвуковая, способствующая тонкому диспергированию растворенных веществ. Кроме тонкого измельчения дисперсной фазы внешнее воздействие на жидкость затворения приводит к изменению ее состава, структуры и некоторых свойств [17], [18], оказывая тем самым влияние на характер и интенсивность взаимодействия в системе "цемент-вода" [19], [20].

Настоящая работа посвящена изучению дисперсного состава активированных водных растворов силиката натрия, используемых для затворения цементного теста, и

влияния различных режимов механомагнитной активации на поровую структуру и прочностные характеристики мелкозернистых композитов (цементного бетона).

В исследованиях использованы жидкое стекло (ГОСТ 13078), портландцемент М500 Д0 (ГОСТ 10178–85), кварцевый песок с модулем крупности 2,0...2,6 мм.

Механомагнитную обработку жидкостей осуществляли на установке [14] при частоте вращения ротора 3300 об/мин, продолжительность обработки составляла 3 или 4 15-секундных цикла. Размеры частиц в активированных и не активированных гидрозолях силиката натрия различной концентрации и измерения электрокинетических характеристик определяли методом динамического светового рассеяния [21], [22] на анализаторе Zetasizer Nano ZS фирмы Malvern Instruments Ltd. (Англия). С целью контроля протекания релаксационных процессов в исследуемых водных системах фиксировали данные показатели сразу после проведения механомагнитной обработки, а также по мере выдержки активированных растворов в течение от 1 до 7 суток. Для обработки использовали натриевое жидкое стекло, разбавленное бидистиллированной водой до концентрации 0,1; 5 и 10%, после чего готовили цементное тесто нормальной густоты. Продолжительность от момента активации раствора Na_2SiO_3 до его применения не превышала 1,5 ч. Пористость и удельную поверхность образцов цементного камня определяли методом низкотемпературной (77K°) адсорбции и

десорбции паров азота на газовом сорбционном анализаторе NOVA Series 1200e. Площадь удельной поверхности вычисляли по уравнению БЭТ [23], общий объем пор в анализируемых материалах и распределение пор по размерам – с применением модели ВЖН [24, 25].

Анализируя зависимости, представленные на рис. 1 (зависимость относительного числа частиц в исходном (1), подвергнутом механоактивации (2), выдержанном после активации в течение суток (3), в течение трех суток (4) и в течение семи суток (5) растворах силиката натрия 0,1% (а), 5% (б) и 10% (в), подвергнутых фильтрационному отделению микрометровых фракций от размера частиц), можно отметить следующие закономерности. Во-первых, в результате обработки исходных гидрозолей силиката натрия происходит значительное уменьшение размеров фракций. Так, в неактивированном гидрозоле, содержащем 0,1 г/л жидкого стекла, наблюдаются фракции 5...10 нм и 80...100 нм, а сразу после активации в системе присутствует одна фракция 0,5...2 нм. Во-вторых, с ростом концентрации исходного гидрозоля повышается и размер фракций. В 5-процентном гидрозоле перед активацией наблюдаются фракции 8...40 нм, 60...80 нм и незначительная фракция 1000 нм, после активации присутствует практически одна фракция 0,6...2 нм. В исходном 10-процентном гидрозоле преобладает фракция 1000 нм, и почти отсутствуют более мелкие образования, а в активированном их размер снижается до 5...80 нм.

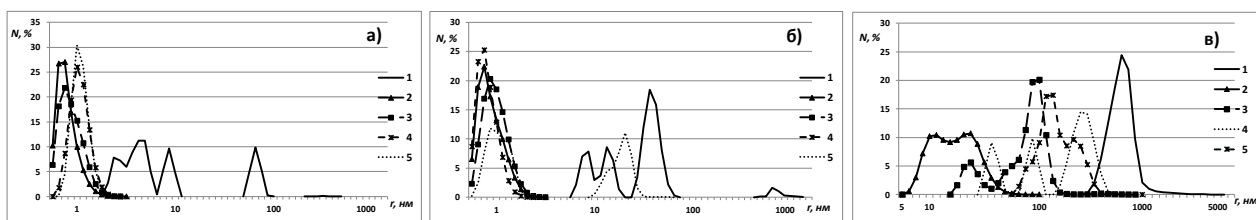


Рис. 1

Следует отметить, что в результате активации не только уменьшаются размеры фракций, но и состав фракций в гидрозолях силиката натрия становится более однородным. В-третьих, время релаксации активи-

рованных водных систем также определяется концентрацией исходного гидрозоля. Чем выше концентрация, тем быстрее гидрозоль возвращается в исходное состояние. Таким образом, концентрация жидкого

стекла ниже 5 г/л обеспечивает получение устойчивых активированных водных систем с размером фракций 1...2 нм.

На повышение устойчивости коллоидной системы к коагуляции влияет рост абсолютной величины дзета-потенциала (ζ -потенциала), который является важной ха-

рактеристикой двойного электрического слоя, окружающего коллоидную частицу в дисперсной системе [26]. В табл. 1 приведены результаты измерения электрокинетического потенциала, проведенные до и сразу после активации гидрозоль силиката натрия концентрации 5 г/л.

Т а б л и ц а 1

| Вид добавки | Концентрация, г/л (моль/л) | Частота вращения ротора, об·мин ⁻¹ | Время активации, с | Дзета-потенциал, мВ | Электрофоретическая подвижность, ЭФП·10 ⁸ , м ² В ⁻¹ с ⁻¹ | Электропроводность, мСм·см ⁻¹ |
|---------------|----------------------------|---|--------------------|---------------------|---|--|
| Жидкое стекло | 5,0 (0,041) | - | - | -22,38 | -1,76 | 14,86 |
| | | 3300 | 45 | -24,9 | -1,95 | 15,04 |

Увеличение дзета-потенциала и удельной электропроводности изучаемого гидрозоль в результате активации свидетельствует о структурных изменениях в жидкости, о сложном характере гидролиза и гидратации растворенного вещества. Кроме того, активация приводит к изменению структуры водородных связей самого растворителя – воды. Жидкое стекло [Na₂SiO₃]_n – коллоидный раствор, при разбавлении подвержен гидролизу по аниону. Присутствие на поверхности ОН⁻ обуславливает высокое значение дзета-потенциала. Ранее нами отмечено повышение водородного показателя в результате активации водных растворов силиката натрия [27].

Жидкофазная активация непосредственно перед затворением цементного теста приводит к существенному изменению структуры порового пространства. Согласно данным, представленным в табл. 2 (характеристики поровой структуры образцов цементного камня), в результате активации воды без добавки площадь удельной поверхности в цементном камне возрастает, а суммарный объем пор сокращается по сравнению с контрольным образцом на не активированной воде, что можно объяснить снижением среднего диаметра пор в образце Б. Затворение цементного теста активированным гидрозолем силиката натрия приводит к сокращению на порядок значений данных показателей.

Т а б л и ц а 2

| Образец | Вид жидкости затворения | Площадь удельной поверхности S _{уп} , м ² /г | | Суммарный объем пор V _п , см ³ /г |
|---------|---|--|---------------|---|
| | | по методу ВЕТ | по методу ВЖН | |
| А | не активированная вода без добавок | 1,941 | 4,169 | 0,0130 |
| Б | вода, обработанная в течение 1 мин в коллоидной мельнице | 6,592 | 5,326 | 0,0110 |
| В | 5%-ный раствор Na ₂ SiO ₃ , активированный в течение 45 с | 0,672 | 0,400 | 0,0015 |

Данный вывод подтверждается зависимостями, представленными на рис. 2 (распределение объема пор по их размеру в образцах цементного камня: А – на неактивированной воде; Б – на активированной воде; В – на активированном растворе жидкого стекла). Кривая распределения В проходит

значительно ниже кривых А и Б. В образце А на неактивированной воде максимальный диаметр пор составляет 160 нм, в то время как в образце В на активированном растворе жидкого стекла – 90 нм, то есть в 1,8 раза меньше.

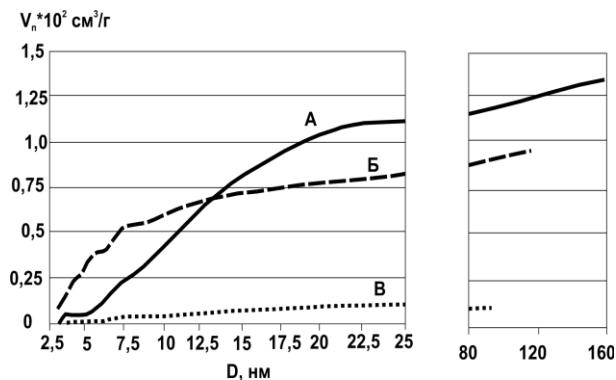


Рис. 2

Кривые, представленные на рис. 3 и 4, характеризуют соответственно отношение приращения объема пор и величину удельной поверхности по мере фракционного прироста их диаметра. Симбатный ход кривых на рис. 3 (распределение по размеру пор величины удельной поверхности в об-

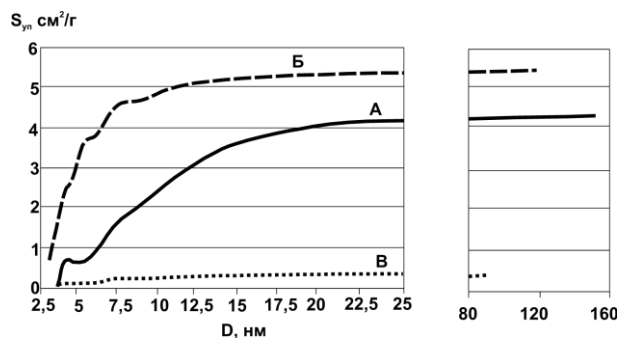


Рис. 3

снижению общего объема пор в цементном камне при одновременном сокращении их диаметра неизменно сказывается на свойствах конечного продукта – мелкозернистого бетона. Сравнительный анализ фи-

зика-механических характеристик мелкозернистого бетона проводили на образцах, приготовленных на активированных и не активированных растворах жидкого стекла (табл. 3).

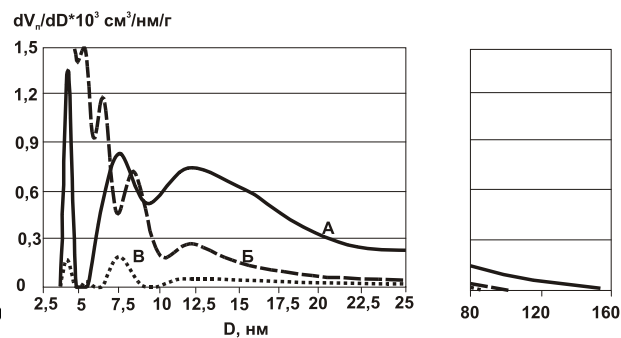


Рис. 4

Т а б л и ц а 3

| № состава | В/Ц | Концентрация раствора силиката натрия, % | Время активации, с | Прочность при сжатии, МПа | Прочность при изгибе, МПа | Термостойкость, тепло-мен | Химическая стойкость, % | Водопоглощение, % |
|-----------|-----|--|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 0,5 | - | - | 13,8 | 3,5 | 3 | 0,28 | 12,14 |
| 2 | 0,5 | 5 | - | 14,8 | 3,82 | 4 | 0,33 | 12,01 |
| 3 | 0,5 | 5 | 45 | 23,16 | 5,7 | 7 | 0,78 | 9,65 |
| 4 | 0,5 | 5 | 60 | 21,18 | 4,61 | 6 | 0,78 | 9,93 |
| 5 | 0,6 | 5 | 60 | 19,3 | 4,2 | 5 | 0,68 | 11,35 |
| 6 | 0,5 | 0,1 | 45 | 20,35 | 4,95 | 5 | 0,67 | 11,05 |
| 7 | 0,5 | 10 | 45 | 19,76 | 4,58 | 5 | 0,65 | 10,25 |

Согласно результатам проведенных испытаний наилучшими характеристиками обладал состав № 3 на 5%-ном водном растворе Na_2SiO_3 , активированном в течение 45 секунд. Увеличение количества воды затворения в бетонной смеси привело к снижению показателей прочности, химической и термостойкости (состав № 5), однако данные показатели все равно были выше, чем у контрольных составов №1 (без активации и без добавки) и №2 (на 5%-ном неактивированном растворе жидкого стекла). При этом образцы бетона составов №1 и №2 отличались повышенным водопоглощением. Значительные отклонения количества жидкого стекла в бетонной смеси как в сторону уменьшения (состав №6), так и в сторону увеличения (состав №7), также способствовали ухудшению физико-механических свойств мелкозернистого бетона.

ВЫВОДЫ

1. Механомагнитная обработка воды и водных растворов силиката натрия вызывает структурные изменения водной системы, связанные с появлением наноразмерных образований дисперсной фазы в результате ультрадиспергирования добавки.

2. Затворение цементного теста активированным гидрозоле силиката натрия позволяет управлять поровым пространством цементного композита за счет снижения как общего объема пор, так и их диаметра, что способствует уплотнению цементной матрицы.

3. Использование активированной воды затворения, содержащей жидкое стекло, обеспечивает повышение прочностных характеристик мелкозернистого бетона, способствует увеличению его термической и химической стойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчаренко Г.И., Песоцкий А.В., Аввакумов Е.Г. Влияние минеральных микродобавок на прочность цементного камня // Ползуновский вестник. – 2014, № 1. С. 130...134.

2. Патент РФ № 2274623. Жаростойкий бетон С04В35/66 С04В28/26 / Первухин Л.Б., Сафранов Д.А., Бердыченко А.А., Цицилин В.В. Владельцы:

Общество с ограниченной ответственностью "Битруб Интернэшнл" (ООО "Битруб Интернэшнл") Заявл. 23.07.2004. Оpubл. 20.04.2006.

3. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. – 1995, № 4. С. 16...20.

4. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р. Новый век: новые эффективные бетоны и технологии // Мат. I Всероссийск. конф. – М., 2001. С. 91...100.

5. Баженов Ю.М. Нанотехнологии в строительстве и производстве строительных материалов // Сб. докл. участников круглого стола: Наносистемы в строительстве и производстве строительных материалов. – М.: МГСУ, 2007. С. 12...16.

6. Зиновьев А.А., Кудряков А.И., Дворянинова Н.В. Кладочные растворы повышенной высоко- и морозостойкости с добавками микрокремнезема и омыленного таллового пека. – Братск: Изд-во БрГУ, 2011.

7. Lisa M. Federico Waste Glass - A Supplementary Cementitious Material McMaster University Hamilton. – Ontario, Canada, September 2013.

8. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспективы // ООО "Предприятие Мастер Бетон" Статьи. Режим доступа: <http://www.master-concrete.com/papers/reality.htm>

9. Фиговский О.Л., Кудрявцев П.Г. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых композиционных материалов // Эл. науч. журн. Инженерный вестник Дона. 2014. Т. 29. №2. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2448>

10. Sodium silicate applications for cement and concrete/J. Larosa-Tompson, P. Gill, В.Е. Scheetz, M.R. Silsbee// 10th Int. Cong. Chem. Cem.: Proceed. - Gothenburg, 1997. V. 3.

11. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. – СПб: Стройиздат. 1996.

12. Сычев М.М. Неорганические клеи. – 2-е изд. – Л.: Химия, 1986.

13. Брыков А.С., Данилов В.В., Ларичков А.В. Особенности гидратации портландцемента в присутствии силикатов натрия // ЖПХ. – 2006. Т. 79, №4. С. 533...536.

14. Акулова М.В., Слизнева Т.Е., Стрельников А.Н., Падохин В.А., Базанов А.В. Механоимпульсная активация жидкофазных функциональных добавок в цементы и бетоны // Мат. Междунар. науч.-практич. конф.: Актуальные проблемы современного строительства. – Пенза: ПГУАС, 2011. С.5...8.

15. Патент РФ на полезную модель № 136745. Коллоидная мельница / В.А. Падохин, Н.Е. Кочкина, Т.Е. Слизнева. – Патентообладатель(и): ИХР РАН им. Г.А. Крестова, ФГБОУ ВПО ИГХТУ, Заявка 2013118033, 18.04.2013. Оpubл. 20.01.2014. Бюл. №2.

16. Федосов С.В., Акулова М.В., Кокишаров С.А., Метелева О.В. Теоретические основы тепломассопереноса в перспективных технологиях производ-

- ства материалов текстильной и строительной отраслей промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 170...174.
17. Федосов С.В., Акулова М.В., Зиновьева Е.В. Особенности механической активации дистиллированной воды различными насадками роторной мешалки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С. 153...157.
18. Горленко Н.П., Саркисов Ю.С. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2011.
19. Власов В.А., Мышкин В.Ф., Хан В.А., Ижойкин Д.А., Гамов Д.Л. Анализ процессов, обуславливающих влияние магнитного поля на структуру и свойства воды // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. №81. С. 635...647. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-protsestsovo-obuslavlivayuschih-vliyaniye-magnitnogo-polya-na-strukturu-i-svoystva-vody>
20. Помазкин В.А., Макаева А.А. Магнитоактивированная вода в строительных технологиях // Вестник ОГУ. – 2001, №1. С. 109...114.
21. 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. 56...57.
22. Berne B.J., Pecora R. Dynamic Light Scattering. – New York: Wiley, 1976.
23. Кокишаров С.А., Корнилова Н.Л., Метелева О.В. Методика подготовки растворителя для оценки нанодисперсных объектов методом динамического светового рассеяния // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №1. С.136...140.
24. Грег С., Синг К. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость / Пер. с англ. под ред. К.В. Чмутова. – 2-е изд. – М.: "МИР", 1984.
25. Barrett E. P. et al. The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms // J. Am. Chem. Soc. – V. 73. 1951. P. 373...380.
26. Aligizaki Kalliopi K. Pore Structure of Cement-Based Materials: Testing Interpretation and Requirements (Modern Concrete Technology). – Taylor & Francis, 2005.
27. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Альянс, 2004.
28. Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е., Ахмадулина Ю.С., Падохин В.А. Влияние ультразвуковой пергагии растворов электролитов на свойства и структуру цементных композиций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011, №2. С. 7...10.
1. Ovcharenko G.I., Pesockij A.V., Avvakumov E.G. Vlijanie mineral'nyh mikrodozavok na prochnost' cementnogo kamnja // Polzunovskij vestnik. – 2014, №1. S. 130...134.
2. Patent RF № 2274623. Zharostojkij beton C04B35/66 C04B28/26 / Pervuhin L.B., Safranov D.A., Berdychenko A.A., Cicilin V.V. Vldel'cy: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Bitrub Internjeshnl" (ООО "Bitrub Internjeshnl") Zajavl. 23.07.2004. Opubl. 20.04.2006.
3. Kaprielov S.S. Obshhie zakonomernosti formirovanija struktury cementnogo kamnja i betona s dobavkoj ul'tradispersnyh materialov // Beton i zhelezobeton. – 1995, № 4. S. 16...20.
4. Bazhenov Ju.M., Falikman V.R. Novyj vek: novye jeffektivnye betony i tehnologii // Mat. I Vserossijsk. konf. – М., 2001. S. 91...100.
5. Bazhenov Ju.M. Nanotehnologii v stroitel'stve i proizvodstve stroitel'nyh materialov // Sb. dokl. uchastnikov kruglogo stola: Nanosistemy v stroitel'stve i proizvodstve stroitel'nyh materialov. – М.: MGSU, 2007. S.12...16.
6. Zinov'ev A.A., Kudjakov A.I., Dvorjaninova N.V. Kladochnye rastvory povyshennoj vysoko- i morozostojkosti s dobavkami mikrokrementzema i omylenogo talloвого peka. – Bratsk: Izd-vo BrGU, 2011.
7. Lisa M. Federico Waste Glass - A Supplementary Cementitious Material McMaster University Hamilton. – Ontario, Canada, September 2013.
8. Kaprielov S.S., Batrakov V.G., Shejfel'd A.V. Modificirovannye betony novogo pokolenija: real'nost' i perspektivy // ООО "Predpriyatje Master Beton" Stat'i. Rezhim dostupa: <http://www.master-concrete.com/papers/reality.htm>
9. Figovskij O.L., Kudrjavcev P.G. Zhidkoe steklo i vodnye rastvory silikatov, kak perspektivnaja osnova tehnologicheskijh processov poluchenija novyh kompozicionnyh materialov // Jel. nauch. zhurn. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. T. 29. №2. Rezhim dostupa: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2448>
10. Sodium silicate applications for cement and concrete/J. Larosa-Tompson, P. Gill, B.E. Scheetz, M.R. Silsbee// 10th Int. Cong. Chem. Cem.: Proceed. - Gothenburg, 1997. V. 3.
11. Korneev V.I., Danilov V.V. Zhidkoe i rastvorimoe steklo. – SPb: Strojizdat. 1996.
12. Sychev M.M. Neorganicheskie klei. – 2-e izd. – L.: Himija, 1986.
13. Brykov A.S., Danilov V.V., Larichkov A.V. Osobnosti gidratacii portlandcementsa v prisutstvii silikatov natrija // ZhPH. – 2006. T. 79, № 4. S.533...536.
14. Akulova M.V., Slizneva T.E., Strel'nikov A.N., Padohin V.A., Bazanov A.V. Mehanoimpul'snaja aktivacija zhidkofaznyh funkcional'nyh dozavok v cementy i betony // Mat. Mezhdunar. nauch.-praktich. konf.: Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva. – Penza: PGUAS, 2011. S.5...8.

15. Patent RF na poleznuju model' № 136745. Kolloidnaja mel'nica / V.A. Padohin, N.E. Kochkina, T.E. Slizneva. – Patentoobladatel'(i): IHR RAN im. G.A. Krestova, FGBOU VPO IGHTU, Zajavka 2013118033, 18.04.2013. Opubl. 20.01.2014. Bjul. №2.
16. Fedosov S.V., Akulova M.V., Koksharov S.A., Meteleva O.V. Teoreticheskie osnovy teplomassoperenosa v perspektivnyh tehnologijah proizvodstva materialov tekstil'noj i stroitel'noj otraslej promyshlennosti // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. – 2015, № 6. S. 170...174.
17. Fedosov S.V., Akulova M.V., Zinov'eva E.V. Osobennosti mehanicheskoj aktivacii distillirovannoju vody razlichnymi nasadkami rotnoj meshalki // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. – 2016, № 1. S. 153...157.
18. Gorlenko N.P., Sarkisov Ju.S. Nizkoenergeticheskaja aktivacija dispersnyh sistem. – Tomsk: Izd-vo TGASU, 2011.
19. Vlasov V.A., Myshkin V.F., Han V.A., Izhojkin D.A., Gamov D.L. Analiz processov, obuslovlivajushih vlijanie magnitnogo polja na strukturu i svojstva vody // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]*. – Krasnodar: KubGAU, 2012. №81. S.635...647. Rezhim dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-protsessov-obuslavlivayuschih-vliyanie-magnitnogo-polya-na-strukturu-i-svojstva-vody>
20. Pomazkin V.A., Makaeva A.A. Magnitoaktivirovannaja voda v stroitel'nyh tehnologijah // *Vestnik OGU*. – 2001, №1. S. 109...114.
21. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Osipov A.K., Emel'janov D.V., Judin P.V. Kompozicionnye stroitel'nye materialy na aktivirovannoju vode zatvoreniya // *Stroitel'nye materialy*. – 2007, №11. S.56...57.
22. Berne B.J., Pecora R. *Dynamic Light Scattering*. – New York: Wiley, 1976.
23. Koksharov S.A., Kornilova N.L., Meteleva O.V. Metodika podgotovki rastvoritelja dlja ocenki nanodispersnyh ob'ektov metodom dinamicheskogo svetovogo rassejanija // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. – 2014, № 1. S. 136...140.
24. Greg S., Sing K. Adsorbicija. Udel'naja poverhnost'. Poristost' / Per. s angl. pod red. K.V. Chmutova. – 2-e izd. – M.: "MIR", 1984.
25. Barrett E. P. et al. The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms // *J. Am. Chem. Soc.* – V. 73. 1951. P. 373...380.
26. Aligizaki Kalliopi K. *Pore Structure of Cement-Based Materials: Testing Interpretation and Requirements (Modern Concrete Technology)*. – Taylor & Francis, 2005.
27. Frolov Ju.G. *Kurs kolloidnoj himii. Poverhnostnye javlenija i dispersnye sistemy*. – M.: Al'jans, 2004.
28. Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E., Ahmadulina Ju.S., Padohin V.A. Vlijanie ul'tradispergacii rastvorov jelektrolitov na svojstva i strukturu cementnyh kompozicij // *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. – 2011, №2. S. 7...10.

Рекомендована кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов ИВГПУ. Поступила 21.11.16.