

4. Висоцький, С. П. Накопування в теплофікаційних системах [Текст] / С. П. Висоцький, Г. В. Фаткуліна // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – № 2. – С. 99-105.
5. Балабан-Ирменин, Ю. В. Закономерности накипеобразования в водогрейном оборудовании систем теплоснабжения [Текст] / Ю. В. Балабан-Ирменин, А. В. Богловский, А. Г. Васина и др. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 3. – С. 10-16.
6. Правила технической эксплуатации электростанций и сетей [Текст] – Энергоиздат, 1989. – 288 с.
7. Grau, P. Mathematical modeling of wastewater treatment technologies in industrial water circuits [Текст] / P. Grau, I. Lizarralde, L. Sancho : mid term Conference (14 of June 2013, Oviedo).
8. Chamberlain, B. Designing sustainable waste water systems: Generating Design Alternatives [Текст] / B. Chamberlain, A. Zarei, H. Taheri, D. Poole [and others] // Journal of Environment Management. – 2008. – № 88 (3). – P. 437-447.
9. Helmer, R. Water pollution control [Текст] / R. Helmer, I. Hespanhol. // A Guide to the use of Water Quality Management. – WHO/UNEP, 1997. – 39 p.
10. Pattarkine, V. M. Advanced lagoon treatment technologies for wastewater treatment [Текст] / V. M. Pattarkine, R. C. Chann, C. E. Tharp. – Water Environment Foundation, 2006. – 2991-3002 p.

*Наведено відомості про вплив синтезованих алюмосилікатів на властивості цементних систем. Показана ефективність застосування алюмосилікатів у вапняних і цементних системах. Встановлено прискорення строків тужавіння цементу в присутності добавок синтезованих алюмосилікатів. Виявлено аморфна структура синтезованих добавок і їх висока гідравлічна активність*

*Ключові слова: синтез алюмосилікатів, фазовий склад, дисперсність, активність, властивості цементних систем*

*Приведены сведения о влиянии синтезированных алюмосиликатов на свойства цементных систем. Показана эффективность применения алюмосиликатов в известковых и цементных системах. Установлено ускорение сроков схватывания цемента в присутствии добавок синтезированных алюмосиликатов. Выявлена аморфная структура синтезированных добавок и их высокая гидравлическая активность*

*Ключевые слова: синтез алюмосиликатов, фазовый состав, дисперсность, активность, свойства цементных систем*

УДК 691.175.746

## ДОБАВКА НА ОСНОВЕ СИНТЕЗИРОВАННЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

**В. И. Логанина**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой\*  
E-mail: loganin@mail.ru

**И. В. Жерновский**

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент  
Кафедра строительного материаловедения,  
изделий и конструкций  
Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г.Шухова  
ул. Костюкова, 46, г. Белгород, Россия, 308012  
E-mail: zhernovsky.igoi@mail.ru

**М. А. Садовникова**

Аспирант\*  
E-mail: adikaevka\_01@mail.ru

**К. В. Жегера**

Аспирант\*  
E-mail: jegera@yandex.ru

\*Кафедра управления качеством и  
технологии строительного производства  
Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
ул. Германа Титова, 28, г. Пенза, Россия, 44028

### 1. Введение

Одним из приоритетов современного строительного материаловедения является разработка эффективных строительных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами. Решение этой задачи основывается на целенаправленном формировании структуры материала как гетерогенной, многофазной

системы сложной иерархии. Одним из направлений управления свойствами такой системы является модифицирование их структуры наноразмерными частицами [1]. Внедрение в технологию строительных материалов новых эффективных модификаторов структуры и свойств, композиционных вяжущих веществ, тонкодисперсных добавок, волокнистых наполнителей и совершенствования с учетом их воздействия структуры

и технологии, позволяют существенно повысить эксплуатационные характеристики. За последние годы значительно повысилась патентная активность в области нанотехнологии в строительном материаловедении. Наиболее запатентованными на данный момент являются нанотехнологии для материалов и покрытий. Анализ направлений патентования изобретений в области использования нанотехнологий и наноматериалов показал, что наиболее патентуемой областью нанотехнологий является создание наноструктур различными способами.

## 2. Анализ литературных данных и существующего опыта

Все методики наноструктурирования строительных материалов можно разделить на две группы. В первую группу входят методики, связанные с введением в материал синтезированных нанобъектов; во вторую входят методики, включающие синтез нанобъектов в материале в процессе изготовления [2 – 4].

Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что в настоящее время усилия отечественных и зарубежных ученых преимущественно сосредоточены в направлении модифицирования строительных композитов нанобъектами – углеродными и оксидными наночастицами, углеродными нанотрубками [5 – 10].

Композицию из цемента, воды, нано- и микро-размерных частиц наполнителя можно представить как диссипативную неравновесную систему. Переход термодинамически неустойчивой системы в равновесное состояние происходит благодаря избыточной поверхностной энергии и сопровождается образованием кластеров, организованных структур. Процессами самоорганизации структур можно управлять путем введения наполнителей оптимальной дисперсности. В работе [11] приведены данные об упорядоченности структуры матрицы в граничном слое по поверхности нанодисперсного модификатора и отмечается образование структурированной оболочки на его поверхности. При определенном содержании наполнителя осуществляется фазовый переход вяжущей матрицы из объемного состояния в пленочное, формируются граничные слои, структура матрицы в которых наследуется в соответствии со структурой нанодисперсной модифицирующей добавки. Результаты исследований, представленные в научных публикациях, позволяют утверждать, что введение наночастиц и нанотрубок, в первую очередь, увеличивает прочностные показатели вяжущих материалов, изменяет морфологию кристаллогидратов с формированием контактных зон повышенной плотности по поверхности твердой фазы, при этом повышается прочность и трещиностойкость изделий из модифицированного бетона, которые определяют его долговечность.

Углеродные наноструктуры нашли применение и при изготовлении сухих строительных смесей, их введение позволило улучшить физико-механические характеристики. Механизм влияния на структуру и свойства ССС заключается в ускорении коагуляции частиц твердой фазы, уменьшении расклинивающего действия воды. Нанотрубки в растворе вяжущего ве-

дут себя как «зародыши» кристаллов, но поскольку они имеют не точечную форму, а протяженную, кристаллы образуются вытянутые. Разрастаясь, кристаллы переплетаются, частично прорастают друг в друга, образуют пространственную сеть, пронизывающую и связывающую в единое целое весь цементный камень [12].

К настоящему моменту синтезирован значительно широкий ассортимент наполнителей, позволяющих регулировать структуру и свойства материалов на основе минеральных вяжущих. Целью настоящей работы является исследование влияния синтезированных наполнителей на основе алюмосиликатов на свойства цементных систем.

## 3. Влияние синтезированных алюмосиликатов на свойства композитов на основе минеральных вяжущих

Синтез алюмосиликатов заключался в их осаждении из раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  добавлением силиката натрия с последующим промыванием водой осадка. Синтез осуществлялся в кислой среде. При разработке технологии синтеза алюмосиликатной добавки исследовалось влияние модуля жидкого стекла, pH раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , количество введенного силиката натрия, pH фильтрата.

Установлено, что при pH раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , равном pH<sup>3</sup> 5, осадка не образуется. Минимальный выход синтезированного продукта составляет 33,12% и наблюдается при pH раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , равным pH= 3, а максимальный выход (45,87%) - при pH раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ , равным pH= 1,5. Увеличение модуля жидкого стекла с 2,69 до 2,88 приводит к увеличению выхода готовой продукции с 44,76% до 45,87%.

Химический и фазовый состав синтезируемого продукта определялся на рентгеновской станции ARL 9900 X-ray WorkStation (Thermo Scientific) на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова. При оценке химического состава синтезированных алюмосиликатов установлено, что преобладают оксиды кремнезема, составляющие 55,45%.

Рентгенофазовый анализ выявил наличие кристаллической фазы (22%), представленной тенардитом и гиббситом, а также аморфной составляющей, представленной агрегатами наноразмерных кристобалитоподобных кристаллитов (78%).

Анализ гранулометрического состава, выполненный с помощью автоматического лазерного дифрактометра Fritsch Particle Sizer Analysette 22, показывает, что менее 0.01% составляют частицы размером 0.010-0.500 мкм, содержание частиц размером 100.000-200.000 мкм составляет 0.44 %. Менее 5% составляют частицы диаметром 3.226 мкм, менее 15% частицы диаметром 6.985 мкм (табл. 1).

Установлено, что синтезированные алюмосиликаты характеризуются высокой активностью, составляющей более 350 мг/г. Удельная поверхность порошка, определенная методом БЭТ, составляет  $S_{уд} = 86,5 \pm 3,5 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Результаты проведенных исследований показали эффективность применения синтезированных алюмосиликатов в известковых композитах [13]. Известковые составы с применением синтетических цеолитов

характеризуются хорошей удобоукладываемостью, отсутствием трещинообразования. Время высыхания до степени 5 составляет 15-20 минут, прочность сцепления с растворной подложкой -0,6-1,2МПа.

Таблица 1

## Гранулометрический состав наполнителя - исправил

Фракция, мкм	Процентное содержание, %
0,01-0,5	0,01
0,5-2,0	1,81
2,0-3,0	2,55
3,0-4,0	2,8
4,0-5,0	2,73
5,0-10,0	12,61
10,0-20,0	16,61
20,0-45,0	27,2
45,0-80,0	29,14
80,0-100,0	4,09
100,0-200,0	0,44

Установлено, что количество химически связанной извести в контрольных образцах в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составляет 46,5 %, а с применением синтезированных алюмосиликатов 50,03-55,28 %.

В продолжение дальнейших исследований нами установлена возможность применения синтезированных алюмосиликатов в цементных системах. Для проведения исследований в работе применялся Вольский портландцемент марки 400. Оценивалось влияние добавок на изменение сроков схватывания цемента. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Анализ данных свидетельствует, что композиционное цементное вяжущее, содержащее синтезированные

алюмосиликаты, имеет более высокое значение нормальной плотности цементного теста, составляющее 34-43 % в зависимости от содержания добавки. Наблюдается ускорение сроков схватывания. Так, у цементного теста без добавки начало и конец схватывания составляют соответственно 2ч 30мин и 5ч, а у композиционного вяжущего, содержащего 20% алюмосиликатов, - 40мин и 1ч 30 мин. С увеличением содержания алюмосиликатов в композиционном вяжущем сроки схватывания ускоряются.

Таблица 2

## Изменение нормальной плотности и сроков схватывания цементного теста в зависимости от содержания добавки

Содержание добавки (%), от массы цемента	Нормальная плотность цементного теста НГЦТ, %	Сроки схватывания	
		Начало схватывания	Конец схватывания
-	28	2ч 30мин	5ч
10	34	50мин	1ч 40 мин
20	41	40 мин	1ч 30 мин
30	43	20мин	1 ч 15 мин

## 4. Выводы

Установлено, что добавка синтезированных алюмосиликатов обладает более высокой гидравлической активностью, составляющей более 350 мг/г, по сравнению с известными (диатомит, опока), способствует ускорению начала схватывания цемента в 3-7 раз, конца схватывания в 3-4 раза. Введение синтезированных алюмосиликатов в известковые смеси способствует увеличению на 18,9% количества химически связанной извести.

## Литература

1. Баженов, Ю. М. Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении [Текст] / Ю. М. Баженов, Е. В. Королев // Строительные материалы. – 2009. – №6. – С. 66-67.
2. Kuo, W.-Y. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars [Text] / Wen-Yih Kuo, Jong-Shin Huang, Chi-Hsien Lin // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36. – Issue 5. – P. 886-895.
3. Ventolà, L. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics [Text] / L. Ventolà, M. Vendrell, P. Giraldez, L. Merino // Construction and Building Materials. – 2011. – Vol. 25. – Issue 8. – P. 3313-3318.
4. Володченко, А. Н. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья [Текст] / А. Н. Володченко, В. С. Лесовик // Строительные материалы. – 2008. – №11. – С. 42-44.
5. Строкова, В. В. Свойства синтетических нанотубулярных гидросиликатов [Текст] / В. В. Строкова, А. И. Везенцев, Д. А. Колесников, М. С. Шиманская // Вестник БГТУ им. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2010. – № 4. – С. 30-34.
6. Логанина, В.И. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей [Текст] / В. И. Логанина, Н. А. Петухова, Э. Р. Акжигитова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 8-12.
7. Логанина, В. И. Исследование закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита [Текст] / В. И. Логанина, О. А. Давыдова, Е. Е. Симонов // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 63.
8. Vejmelková, E. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings [Text] / Eva Vejmelková, Martin Keppert, Zbyněk Keršner, Pavla Rovnaníková, Robert Černý // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 31. – P. 22-28.
9. İşçi, S. Investigation of rheological and colloidal properties of bentonitic clay dispersion in the presence of a cationic surfactant [Text] / Sevim İşçi, F. Seniha Güner, Ö. Işık Ece, Nurfer Güngör // Progress in Organic Coatings. – 2005. – Vol. 54. – Issue 1. – P. 28-33.
10. Luckham, P. F. The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions [Text] / Paul F. Luckham, Sylvia Rossi // Advances in Colloid and Interface Science. – 1999. – Vol. 82. – Issues 1–3. – P. 43-92.

11. Bordere, S. Industrial production and applications of carbon nanotubes [Text] / S. Bordere, J. M. Corpart, N. E. Bounia, P. Gaillard, N. Passade-Boupat, P. M. Piccione, D. Plée // Arkema, Groupement de Recherches de Lacq. Available: www.graphistrength.com.
12. Кривцов, Е. Е. Исследование характеристик наномодифицированных сухих строительных смесей [Текст] / Е. Е. Кривцов, Н. М. Никулин, Е. В. Ясинская // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №2. – С. 29-32.
13. Логанина, В. И. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов [Текст] / В. И. Логанина, С. Н. Кислицына, Л. В. Макарова, М. А. Садовникова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 4. – С. 37-42.

*Обговорюється питання відмінності характеру обертальних та лібраційних коливань молекул води в її різних фазових станах - у рідкій воді, льоду та «зв'язаній воді». Розглядаються фізичні наслідки цих змін для теплофізичних властивостей води в різних станах. Обговорюється вплив «зв'язаних» молекул води на формування та зміну структури макромолекул у водних розчинах*

*Ключеві слова: зв'язана вода, обертальні та лібраційні коливання, коливальні ступені свободи, теплоємність*

*Обсуждается вопрос отличия характера вращательных и либрационных колебаний молекул воды в ее различных фазовых состояниях - в жидкой воде, льде, «связанной воде». Рассматриваются физические последствия этих изменений для теплофизических свойств воды в различных состояниях. Обсуждается влияние «связанных» молекул воды на формирование и изменение структуры макромолекул в водных растворах*

*Ключевые слова: связанная вода, вращательные и либрационные колебания, колебательные степени свободы, теплоемкость*

УДК 539.194: 544.273

## ОСОБЕННОСТИ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ МОД КОЛЕБАНИЙ МОЛЕКУЛ ВОДЫ В СВОБОДНОМ И СВЯЗАННОМ СОСТОЯНИЯХ

**Н. Т. Малафеев**

Кандидат физико-математических наук, доцент\*

E-mail: mnt49@mail.ru

**Н. И. Погожих**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой\*

E-mail: drpogozhikh@mail.ru

**Е. А. Иштван**

Ассистент\*

E-mail: egor\_ishtvan@mail.ru

\*Кафедра энергетики и физики

Харьковского национального  
университета питания и торговли

ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051

### 1. Введение

Известно, что лед при нормальном давлении выше температуры 0°C плавится, а вода ниже 0°C может находиться в переохлажденном состоянии [1 – 4]. Пищевые продукты замерзают при температурах несколько ниже 0°C [5], а содержащаяся в них «связанная вода» не замерзает при -20°C и не испаряется при 100°C. Назрела необходимость обсуждения особенностей поведения молекул воды и теплофизических параметров воды для различных фазовых состояний – жидкой воды, льда и «связанной воды». Одним из ключевых моментов изучения поведения молекул может стать рассмотрение изменений характера их колебаний в различных фазах [6].

### 2. Постановка проблемы

Свойства вещества зависят как от взаимодействий между его атомами и молекулами, так и от колебатель-

ных спектров этих атомов и молекул и от числа колебательных мод в нем. Данные вопросы подробно рассматриваются в рамках теории эффекта Яна – Теллера (ЭЯТ) [7]. Хотя свойства воды широко обсуждаются в литературе [1 – 4], однако проблеме изучения колебательных мод молекул воды до сих пор не уделено должного внимания, за исключением работы [6], где предложен новый подход к данной проблеме.

### 3. Литературный обзор

Хотя колебательные спектры в воде изучаются достаточно давно [2, 4], однако вследствие связанности колебаний и отсутствия информации об их модах, эта проблема остается острой как для молекул воды, так и для их атомов водорода (протонов). В работе [6] в рамках теории ЭЯТ рассматривались возможные моды колебаний молекул воды в жидкой фазе и результаты их влияния на свойства воды. Было показано, что данные колебания молекул в жидкой фазе относятся к классу