

УДК 691.263.5

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГИПСОВЫХ СИСТЕМ С ПОЛЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ

<sup>1</sup>Серова Р.Ф., <sup>2</sup>Хаев Т.Э., <sup>2</sup>Ткач Е.В.

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: roza\_serova@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, e-mail: ev\_tkach@mail.ru

В статье изложены научные и технические предпосылки для разработки эффективных облегченных гипсовых систем для реставрационных работ с сохранением всех деталей и особенностей памятников архитектуры. Показаны свойства высокопрочного гипса для художественной лепнины, которые были определены в лабораторных условиях. В статье представлены микроструктуры полых стеклянных микросфер и гипсового порошка и их химические анализы. Показаны сравнительные рентгенограммы полых стеклянных микросфер и гипсового порошка, полученные на рентгеновском дифрактометре ARL X'tra (Швейцария). Предложен состав облегченных гипсовых растворов с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ архитектурных памятников и проанализированы облегчающие добавки в гипсовые смеси в виде деревянных опилок и пеностекольных гранул на основе диатомита. Доказано, что введение в гипсовую систему полых стеклянных микросфер с модификатором ПВА позволит более чем в 2 раза снизить среднюю плотность гипсового камня и получить материал с требуемой прочностью.

**Ключевые слова:** архитектурные элементы, высокопрочный гипс, для художественной лепнины, облегченный гипсовый раствор, полые стеклянные микросферы, реставрационные работы

## THE STUDY OF THE PROPERTIES OF GYPSUM SYSTEMS WITH HOLLOW GLASS MICROSPHERES FOR RESTORATION WORK

<sup>1</sup>Serova R.F., <sup>2</sup>Khaev T.E., <sup>2</sup>Tkach E.V.

<sup>1</sup>Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: roza\_serova@mail.ru;

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of civil engineering, Moscow, e-mail: ev\_tkach@mail.ru

The article describes the scientific and technical background for the development of effective lightweight plaster systems for restoration work, preserving all of the details and features of the monuments. Properties of high-strength gypsum for artistic moldings, which were determined in laboratory conditions, are shown. Microstructures of hollow glass microspheres and gypsum powder and their chemical analyzes are presented in the article. Comparative roentgenograms of hollow glass microspheres and gypsum powder obtained on an X-ray diffractometer ARL X'tra (Switzerland) are shown. A composition of lightweight gypsum solutions with hollow glass microspheres is proposed for the restoration work of architectural monuments and facilitating additions to gypsum mixtures in the form of sawdust and foam pellet granules based on diatomite are analyzed. It is proved that the introduction of a plaster system of hollow glass microspheres with PVA modifier will allow more than 2 times to reduce the media element density of gypsum and to obtain a material with the required strength.

**Keywords:** architectural elements, high strength plaster, for artistic stucco, lightweight gypsum putty with hollow glass microspheres, restoration

В настоящее время существенно возросли объёмы строительства жилья и реставрации памятников архитектуры, поэтому важной задачей является развитие производства гипсовых материалов для отделочных, ремонтных и реставрационных работ. Для сохранения богатого культурного наследия требуются реставрационные работы с сохранением всех деталей и особенностей памятников архитектуры. Многие архитектурные элементы внутри таких зданий выполнены из гипсовых материалов. Старинные дворцы, помещицы усадьбы со временем требуют реставрации, особенно их уникальные гипсовые лепные элементы и украшения на стенах, карнизах и потолках. Это относится также и к отделке стен, каминов, колонн, балясин и балюстрад в целом, где для имитации мрамора использо-

вались гипсовые (ангидритовые) вяжущие вещества [1–3].

Как известно, к гипсовым материалам для реставрационных работ предъявляются требования по срокам схватывания, цвету, средней плотности, прочности влажного и сухого камня. Минимальная средняя плотность при требуемой прочности необходима для потолочной лепнины. Она находится на несущих деревянных конструкциях (балках, перекрытиях). Они со временем снижают несущую способность. Традиционные гипсовые реставрационные составы для лепнины увеличивают прогиб, имеют высокую среднюю плотность во влажном состоянии: от 1500 до 1900 кг/м<sup>3</sup>.

Целью настоящих исследований является разработка облегченных гипсовых

растворов с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ архитектурных памятников. Для достижения цели на данном этапе были решены следующие задачи: обоснована возможность получения облегчённых гипсовых растворов с полыми стеклянными микросферами (ПСМС) с требуемыми свойствами для реставрационных работ, разработаны составы облегчённых гипсовых растворов с ПСМС, исследованы физико-механические свойства гипса и гипсовых растворов с ПСМС (стандартная консистенция гипсового теста, сроки схватывания, прочность при изгибе и сжатии, влажность по массе и объёму).

В экспериментах использовался высокопрочный гипс для художественной лепнины ( $\alpha$ -модификации  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , имеющей крупные и плотные кристаллы в виде игл или призм), тонкомолотый порошок белого цвета, экологически безопасный материал. Его производит ЗАО «Самарский гипсовый комбинат» по ТУ 21-РСФСР-153-90, изм. 1–5, путем дробления природного гипсового камня, термической обработкой в автоклаве, помолом и сепарацией.

В лабораторных условиях были определены свойства высокопрочного гипса для художественной лепнины, результаты которых представлены в табл. 1. Подвижность сверхлёгких гипсовых растворов определялась на вискозиметре Суттарда. Прочность при изгибе и сжатии опреде-

лялась на автоматической испытательной установке Controls (Италия). Микроструктурный и химический анализы гипса, наполнителя и затвердевшего раствора проводились с использованием растрового электронного микроскопа-микроанализатора FEI Quanta 200, оснащенного рентгеновским спектрометром для проведения элементного и химического анализа (EDAX). Рентгенограммы были получены на рентгеновском дифрактометре ARL X'tra (Швейцария).

Свойства высокопрочного гипса для художественной лепнины: удельная поверхность порошка гипса:  $S_{уд.} = 4088 \text{ см}^2/\text{г}$ ; стандартная консистенция гипсового теста: при  $V/\Gamma = 0,4$ ; начало схватывания гипсового теста по прибору Вика: Н.с. = 12 мин и конец схватывания: К.с. = 15,5 мин. Гипс имеет марку по прочности Г16 и приближается по значениям прочности к марке Г19.

В экспериментах использовались полые стеклянные микросферы (ПСМС) марки МСО-«0» класса  $B_1$ , выпускаемые ОАО «Новгородский завод стекловолокна» по ТУ-6-11-156-79 с изм. Они имеют показатели: истинная плотность –  $0,3 \text{ г}/\text{см}^3$ ; прочность на гидростатическое сжатие при 50%-ном разрушении – 11,3 МПа; коэффициент заполнения объема – 65%; толщина стенки 2–3 мкм. Микроструктура ПСМС и гипсового порошка представлена на рис. 1 и их химические анализы указаны в табл. 2.

**Таблица 1**

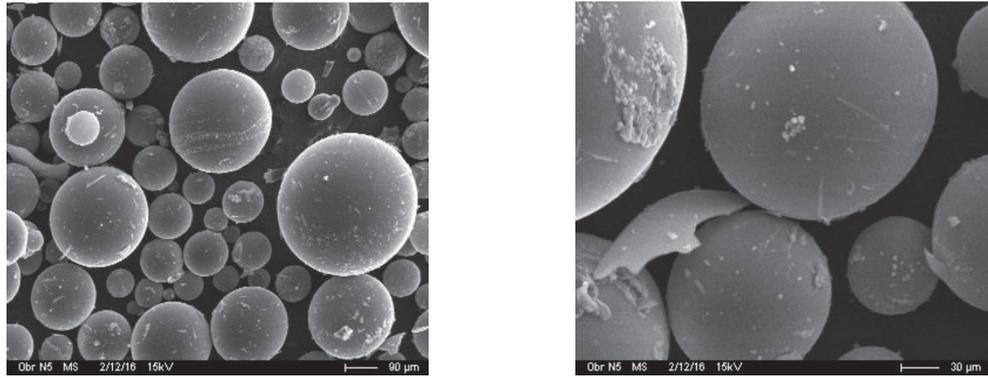
Определение свойств гипсового камня

№ образца	Средняя плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ , образца:		Прочность, МПа			Влажность, %	
	влажного	сухого	на изгиб	на сжатие		по массе	по объёму
1	1,89	1,47	6,28	18,3	18,4	28,6	42,02
2	1,9	1,48	6,28	17,4	17,5	28,4	42,03
3	1,85	1,445	6,64	20	20,1	27,9	40,3
Средние значения	1,88	1,465	6,46	18,62		28,3	41,4

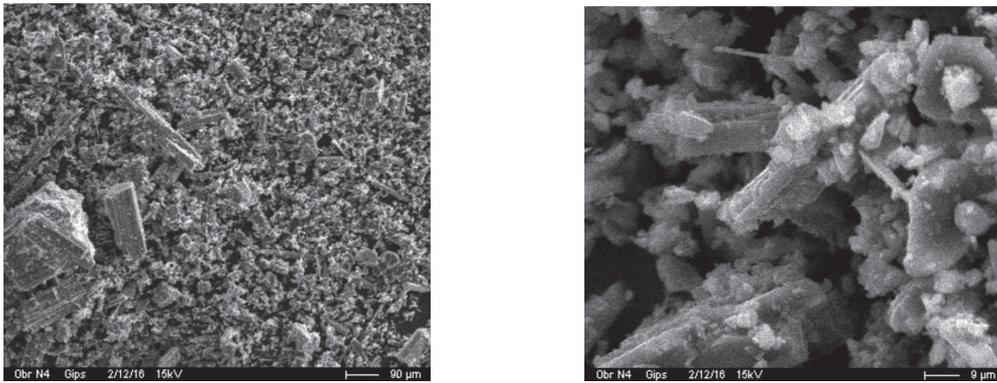
**Таблица 2**

Химические анализы ПСМС и гипсового порошка

Полые стеклянные микросферы		Высокопрочный гипс	
Оксид	Содержание, %	Оксид	Содержание, %
$\text{SiO}_2$	83,1–83,16	$\text{SiO}_2$	0,45–0,47
$\text{CaO}$	–	$\text{CaO}$	57,1–58,1
$\text{Na}_2\text{O}$	12,06–12,08	$\text{Na}_2\text{O}$	–
$\text{SO}_3$	1,84–1,86	$\text{SO}_3$	41,98–42,01
$\text{B}_2\text{O}_3$	3,07–3,09	$\text{B}_2\text{O}_3$	–



а



б

Рис. 1. Микроструктура: а – полых стеклянных микросфер (ПСМС); б – гипсового порошка

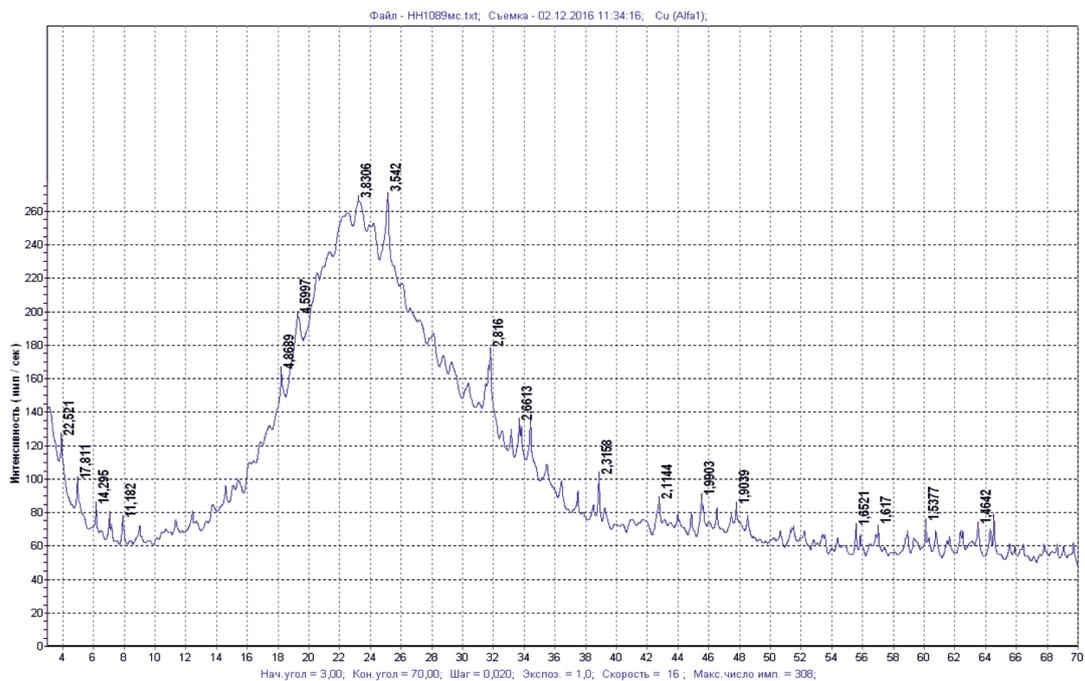


Рис. 2. Рентгенограмма полых стеклянных микросфер

Рентгенограммы микрофер и гипсового порошка приведены на рис. 2, 3.

На рентгенограмме полых стеклянных микрофер (рис. 2) чётко видна ярко выраженная аморфная фаза с кристаллическими соединениями силикатов натрия, боросиликатов и натрийборосиликатов. Подробный рентгенофазовый анализ позволит в дальнейшем определить детальный фазовый состав полых стеклянных микрофер.

Было установлено, что на рентгенограмме гипсового порошка присутствуют пики полуводного  $\alpha$ -гипса  $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{Ocd} = (5,98; 3,45; 2,33; 2,12) \times 10^{-10}$  м и ангидрида  $\text{CaSO}_4$  с  $d = (3,49; 2,85; 2,32; 2,2; 1,86; 1,74; 1,64; 1,318) \times 10^{-10}$  м, а на рентгенограмме гипсового камня видна высокая интенсивность пиков двуводного гипса –

$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{Ocd} = (7,762; 4,28; 3,801; 3,068; 2,875) \times 10^{-10}$  м.

Для снижения средней плотности гипсового камня А.В. Ферронская и В.Ф. Коровяков использовали древесные опилки и пеностекло [1, 4]. Однако из работ профессора Д.В. Орешкина и его учеников известно, что лучшим облегчающим наполнителем цементных систем являются полые стеклянные микроферы [5–6]. На основании этого были проведены исследования по подбору состава и определению свойств гипсового камня с ПСМС.

При количестве ПСМС 10% расход материалов составил: ПСМС = 18 г; гипс  $\alpha$ -модификации = 180 г; В = 108 г; модификатор ПАВ = 0,5% от массы гипса. Основные свойства гипсового камня с 10% ПСМС приведены в табл. 3.

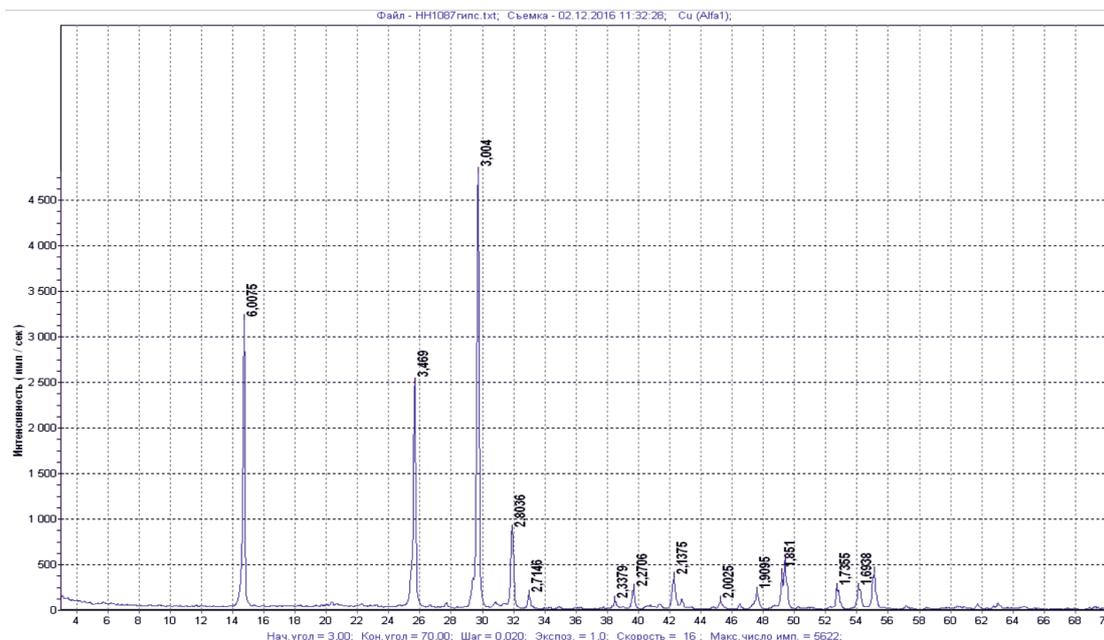


Рис. 3. Рентгенограмма гипсового порошка

Таблица 3

Определение свойств гипсового камня с 10% ПСМС

№ образца	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> , образца:		Прочность, МПа			Влажность, %	
	влажного	сухого	на изгиб	на сжатие		по массе	по объёму
1	1,3	0,866	1,81	2,8	2,9	57,2	49,5
2	1,302	0,868	1,78	3,4	3,3	57,1	49,6
3	1,301	0,867	1,72	3,1	3,2	57,3	49,7
Средние значения	1,301	0,867	1,77	3,12		57,1	49,6

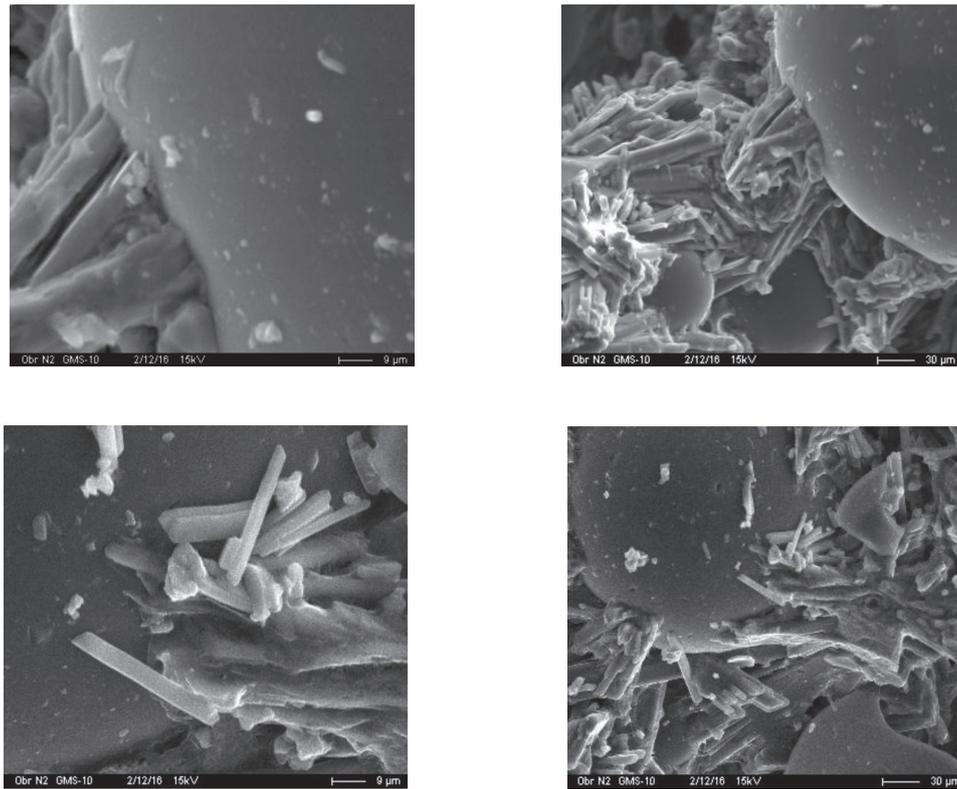


Рис. 4. Микроструктура гипсового камня с 10% ПСМС

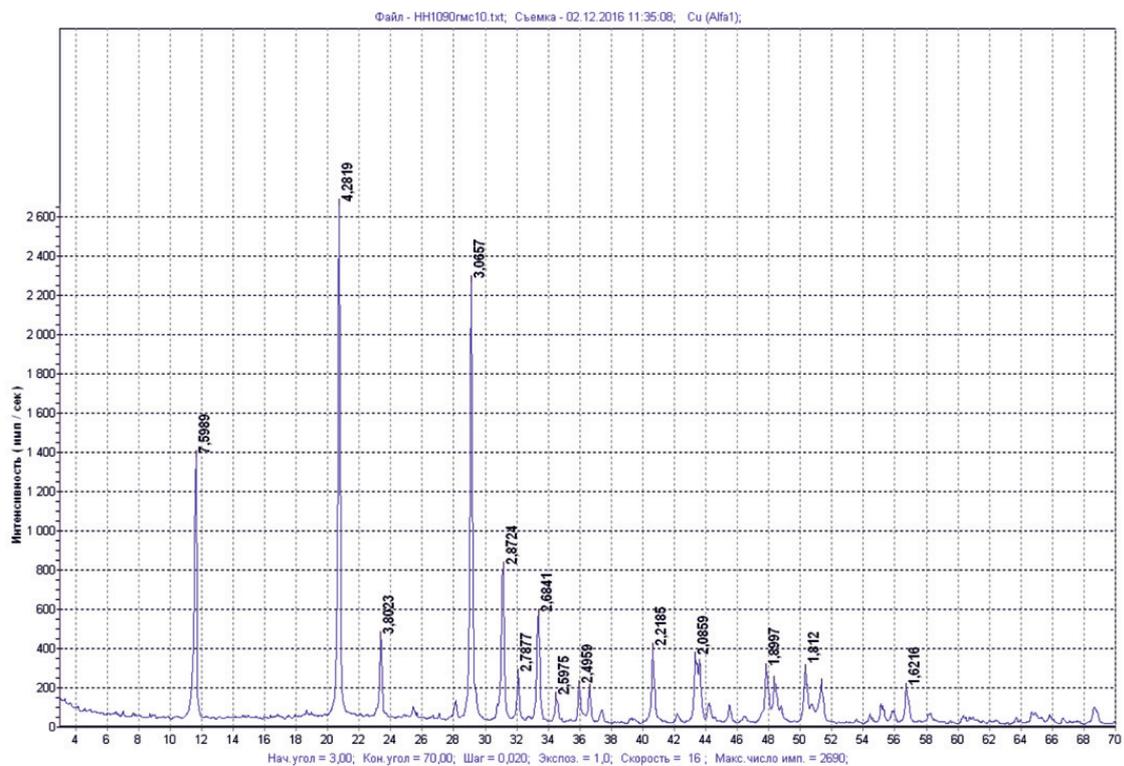


Рис. 5. Рентгенограмма гипсового камня с 10% ПСМС

Микроструктура гипсового камня с 10% ПСМС представлена на рис. 4.

Был проведён рентгенофазовый анализ структуры гипсового камня с 10% ПСМС. Результаты представлены на рис. 5.

При введении в гипсовую систему ПСМС снижается высота аморфного фона рентгенограмм. Это говорит об увеличении закристаллизованности системы.

Таким образом, в результате проведённых исследований было установлено, что высокопрочный гипс  $\alpha$ -модификации для художественной лепнины имеет высокую среднюю плотность (до 1900 кг/м<sup>3</sup>). Это может привести к разрушению старинных дворцов и усадеб за счёт применения традиционного гипсового камня при реставрации лепнины на потолках при деревянных перекрытиях. Введение в гипсовую систему полых стеклянных микросфер с модификатором ПВА позволит более чем в 2 раза снизить среднюю плотность гипсового камня и получить материал с требуемой для реставрационных работ прочностью.

### Список литературы

1. Ферронская А.В. Гипс: эколого-экономические аспекты его применения в строительстве // Строительные материалы. – 1999. – № 4. – С. 28–31.
2. Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // Жилищное строительство. – 2015. – № 12. – С. 38–40.
3. Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Керене Я., Фишер Х.Б., Рахимова Н.Р., Бурьянов А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры // Строительные материалы. – 2016. – № 1–2. – С. 90–95.
4. Коровяков В.Ф. Использование диатомитового сырья для получения пеностекольных гранул и легкого бетона на их основе // Сб. докл. участников межд. заочной науч.-практ. конф., посв. 110-летию В.А. Китайцева. – М.: НИУ МГСУ, 19–20 мая 2016. – С. 23–35.
5. Семенов В.С., Розовская Т.А., Орешкин Д.В. Энергоэффективные сухие кладочные смеси на основе полых микросфер // В сборнике: Бетон и железобетон – взгляд в будущее III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону. – 2014. – С. 344–352.
6. Perfilov V.A., Oreshkin D.V., Semenov V.S. Environmentally safe mortar and grouting solutions with hollow glass microspheres // В сборнике: Procedia Engineering 2. Ser. «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016». – 2016. – P. 1479–1484.
7. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Землянушнов Д.Ю., Соловьев В.И. Реставрационные работы с применением облегченных гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2017. – № 2–2. – С. 116–118.