

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V. Construction biocomposites using woodworking waste. Part 3 (selection of biologically activated sawdust concrete compositions) // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 3 (19), pp. 19–33.

УДК 691.32**МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ
НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСА
С ПОЛЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ***А.Ф. Бурьянов, Е.В. Ткач, Д.В. Стибунов**Московский государственный строительный университет (г. Москва)*

© Бурьянов А.Ф., Ткач Е.В.,
Стибунов Д.В., 2023

Аннотация. В результате проведенных научных исследований установлено, что совместное введение в высокопрочный гипс полых стеклянных микросфер (ПСМС), гидрофобно-пластифицирующей добавки (суперпластификатора (СП) Peramin SMF-10 + гидрофобизатора (ГФ) Vinnapas 8031 Н) и метаксаолина приводит к возникновению синергетического эффекта. Полученный эффект проявляется в интенсивности процесса образования кристаллогидратов более крупных размеров, обеспечивающих уплотнение и упрочнение структуры матрицы гипсового камня пониженной средней плотности с улучшенными эксплуатационными свойствами композиционного материала по прочности при сжатии и изгибе, водостойкости, сорбционной влажности и водопоглощению. С помощью методов электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и химического анализа выявлено совместное влияние ПСМС, гидрофобно-пластифицирующей добавки (СП + ГФ) и метаксаолина на процесс формирования в стесненных условиях плотной дендритоподобной структуры гипсового камня, образующейся из перекрещивающихся в разных плоскостях закономерных сростков кристаллов гипса, которые формируют более прочную контактную зону между микросферой и гипсовым камнем.

Ключевые слова: высокопрочный гипс, полые стеклянные микросферы, суперпластификатор, гидрофобизатор, синергетический эффект.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-3-33-43**ВВЕДЕНИЕ**

Создание архитектурных элементов внутри исторических зданий производится с применением гипсовых материалов. В настоящее время многим памятникам архитектуры требуются реставрационные работы, при которых возникают проблемы, связанные с восстановлением деталей, штукатурки и лепнины [1–3]. Таким образом, гипс должен обеспечить высокое качество работ, долговечность при эксплуатации, экологическую безопасность для человека и окружающей среды, снижение средней плотности и

материалоемкости реставрационных работ, негорючесть и белизну материала, эстетический вид. Наполнитель в гипсовых системах должен также соответствовать этим нормам. К реставрационным гипсовым материалам предъявляется комплекс требований по белизне, средней плотности, срокам схватывания, прочности [3–5]. Минимальная средняя плотность при требуемой прочности необходима потолочной лепнине, находящейся чаще всего на несущих деревянных конструкциях (балках, перекрытиях), у которых со временем снижается несущая способность. Традиционные гипсовые реставрационные составы для лепнины имеют высокую среднюю плотность камня во влажном состоянии. Следовательно, на ослабленных деревянных конструкциях применение традиционных гипсовых составов приведет к увеличению прогибов, разрушению исторической лепнины и самих конструкций.

Были проанализированы известные гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества с наполнителями для повышения прочности и водостойкости в виде цемента, диатомита, трепела, опоки, золы, аморфного кремнезема, кварца и техногенных отходов. С целью улучшения свойств гипсового камня вводили суперпластификатор, углеродные нанотрубки и силикатные наночастицы [6–10]. Для облегчения смеси применяли древесные опилки, гранулы из пеностекла, пенообразователи, керамзит и др. Кроме того, было проанализировано использование полых стеклянных микросфер (ПСМС) в цементных кладочных, штукатурных и тампонажных растворах [10–15]. Установлено, что ПСМС в цементных системах являются лучшим облегчающим наполнителем белого цвета по сравнению с алюмосиликатными (керамическими, серого цвета) полыми микросферами, а также традиционными наполнителями (древесными опилками, вспученным перлитом и вермикулитом).

Цель данных исследований – научное обоснование технологического решения, обеспечивающего получение эффективного гипсового материала на основе высокопрочного гипса с ПСМС для реставрационных работ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались высокопрочный гипс для художественной лепнины марки Г16 БШ Самарского завода, ПСМС Новгородского завода «Стекловолокно» со средней плотностью $0,3 \text{ г/см}^3$ и прочностью при объемном сжатии 11,3 МПа. Применялся суперпластификатор Peramin SMF-10 (СП), представляющий собой порошок белого цвета (первая группа суперпластификаторов) и имеющий меламиноформальдегидную основу с активным радикалом $-\text{SO}_3\text{Na}$. Порошок гидрофобизатора Vinnapas 8031 Н (ГФ) также имеет белый цвет, состоит из тройного сополимера этилена, виниллаурата, винилхлорида и содержит до 15 % ультрадисперсного наполнителя в виде мела и метакаолина. Использовался, помимо названного, и высокоактивный метакаолин ВМК-45 (ВМК) с удельной поверхностью $16\,215 \text{ см}^2/\text{г}$ и химической формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,26 \text{ SiO}_2$. В работе применялось современное оборудование Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, а также стандартные методики определения свойств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения эффективного гипсового материала была разработана методика исследований, которая имеет следующую схему: проверка паспортных данных всех компонентов состава; проведение микроструктурного (МСА), элементного (ЭА),

рентгенофазового (РФА) анализов гипса для лепнины; выявление основных закономерностей изменения структуры и свойств гипсового камня с ПСМС и определение путей повышения прочности; модификация структуры и свойств гипсового камня с ПСМС путем введения в смесь СП и ГФ и оптимизация расхода добавок с помощью математического планирования эксперимента и получения моделей свойств; установление основных закономерностей изменения структуры и свойств модифицированного гипсового камня (СП + ГФ) с ПСМС с целью определения пути существенного повышения прочности за счет введения в его состав метакаолина; разработка теоретических положений гипсового камня, упрочненного ПСМС совместно с (СП + ГФ + ВМК), и выявление основных закономерностей изменения структуры и свойств гипсового камня.

Все гипсовые смеси, использованные в работе, имели стандартную консистенцию (расплав гипсового теста 180 + 5 мм по вискозиметру Суттарда). Смеси из высокопрочного чистого гипса (бездобавочного) и с добавлением к нему гидрофобно-пластифицирующей добавки (СП + ГФ) имели следующие показатели: В/Г = 0,4 и 0,34; рН = 7,5 и 7,7 соответственно; начало схватывания (н. с.) – 12 и 21 мин; конец схватывания (к. с.): 15,5 и 23 мин; марка по прочности – Г16 и Г19. Для гипсовых смесей и камней с 10 % ПСМС (без добавки, с добавкой (СП + ГФ) и (СП + ГФ) + ВМК соответственно) были определены свойства: В/Г = 0,6; 0,5 и 0,48; рН = 8,0; 8,2 и 7,7; н. с. – 13,5; 15 и 16,5 мин; к. с. – 18; 17 и 20 мин; марка по прочности Г3; Г5 и Г10. Аналогичные свойства – для гипсового камня с 30 % ПСМС: В/Г = 1; 0,84 и 0,79; рН = 8,4; 8,6 и 7,5; н. с. – 11,5; 13 и 14,5 мин; к. с. – 15,5; 16 и 17,5 мин; марка по прочности Г2; Г4 и Г5.

Для разработки облегченных гипсовых составов, необходимых в процессе реставрации памятников архитектуры, требуется существенное повышение прочности при сохранении низких значений средней плотности. В этих целях предлагается в смесь гипса, ПСМС (СП + ГФ) вводить высокоактивный метакаолин ВМК-45, количество которого было установлено предварительными исследованиями. Определили, что эквивалентная замена 10 мас.% гипса на 10 мас.% метакаолина позволит значительно повысить пределы прочности при сжатии и на изгиб. В дальнейшем исследования проводились на оптимизированных расходах СП и ГФ в соответствии с указанной методикой. Были установлены свойства гипсового камня с 10 и 30 % ПСМС. Последовательность снижения средней плотности и повышения прочности камня представлена в табл. 1.

Таблица 1

Свойства гипсового камня и камня с 10 и 30 % ПСМС

Средняя плотность, кг/м ³		Прочность, МПа		Влажность, %,
влажного	сухого	на изгиб	на сжатие	
1	2	3	4	5
Гипсовый камень (без добавок), В/Г = 0,4				
1 850	1 445	6,46	18,62	28,3
Гипсовый камень с 10 % ПСМС, В/Г = 0,6				
1 301	867	1,77	3,12	57,1
Модифицированный гипсовый камень с 10 % ПСМС, СП + ГФ, В/Г = 0,5				
1 350	1 102	2,78	5,17	46,1

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Упрочненный гипсовый камень с 10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК, В/Г = 0,48				
1 270	805	3,53	10,32	40,1
Гипсовый камень с 30 % ПСМС, В/Г = 1				
963	544	0,76	1,3	77,0
Модифицированный гипсовый камень с 30 % ПСМС, СП + ГФ, В/Г = 0,84				
911	531	1,83	4,11	58,2
Упрочненный гипсовый камень с 30 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК, В/Г = 0,79				
870	502	2,85	5,33	50,1

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал, что у упрочненных гипсовых смесей и камня с 10 % ПСМС В/Г снизилось на 20 и 4 %, влажность уменьшилась на 10 % за счет фактического уменьшения отношения количества воды к сумме гипса и метаксаолина. При этом средняя плотность снизилась на 14 %, а прочность при сжатии за счет уплотнения структуры матрицы между микросферами увеличилась (по сравнению с модифицированным составом) в 2 раза, с 10 % ПСМС – в 3 раза, марка по прочности – на 5 ступеней (с Г3 до Г10).

Были определены основные свойства упрочненного гипсового камня с 30 % ПСМС в возрасте 2 ч (по сравнению с модифицированным и без добавок соответственно): В/Г (или В/(Г + ВМК)) уменьшилось на 6 и 21 %. При этом средняя плотность уменьшилась на 6,5 и 8 %, прочность при сжатии увеличилась на 29 % и в 4 раза, а марка стала выше на 3 ступени (от Г2, Г4 до Г5).

Установлено, что у гипсовых смесей с 10 % ПСМС изменение рН: без добавок – 8; с СП + ГФ – 8,2, с СП + ГФ, ВМК – 7,7. Аналогично для 30 % ПСМС рН = 8,4; 8,6 и 7,4. Сроки схватывания по мере введения компонентов СП + ГФ и СП + ГФ, ВМК постепенно увеличиваются, что способствует улучшению качества проводимых работ по реставрации (удлиняется время работы с гипсовым тестом). Далее в соответствии с предложенной методикой были проведены исследования МСА, РФА и ЭА чистого гипсового камня, модифицированного и упрочненного камней с 10 и 30 % ПСМС. На рис. 1 и 2 приведены данные РФА, а на рис. 3 – фотографии микроструктуры камней с зонами проведения элементных анализов ПСМС и гипсовой матрицы.

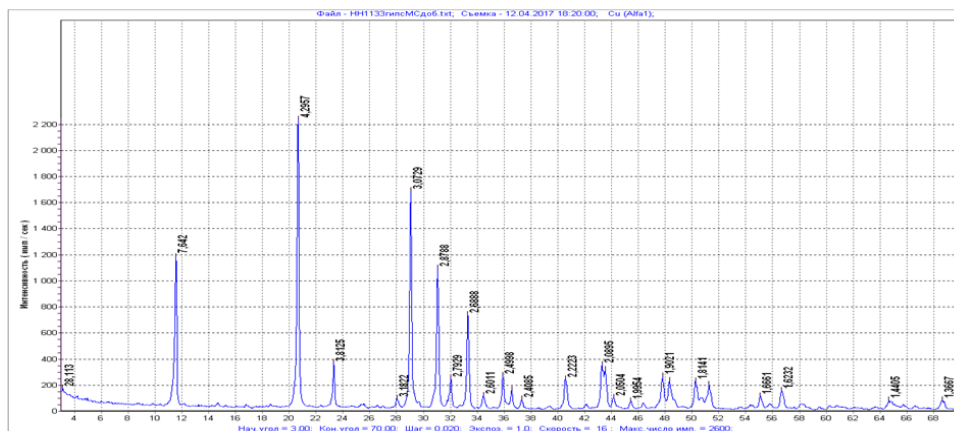


Рис. 1. Рентгенограмма гипсового камня с 10 % ПСМС, СП + ГФ

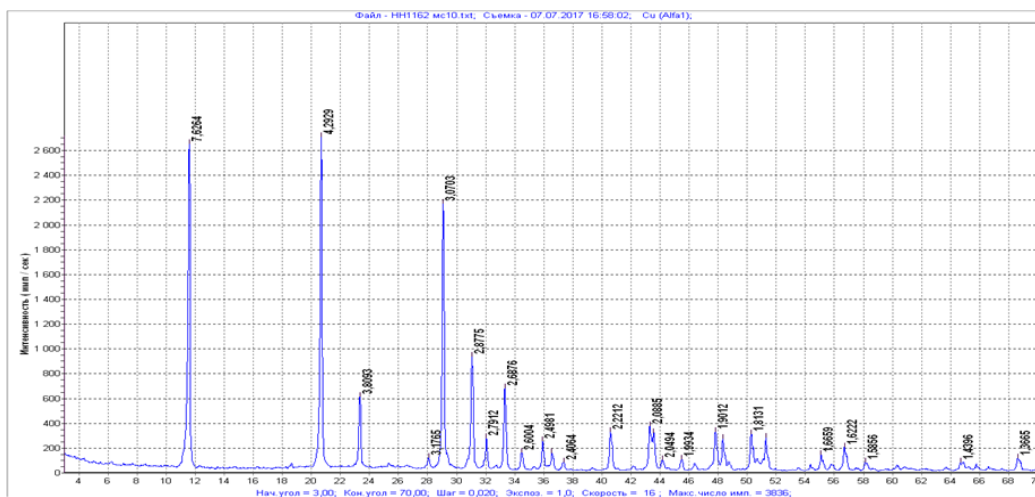
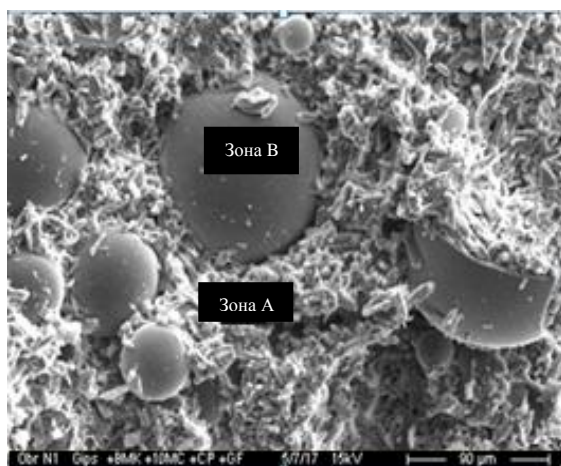
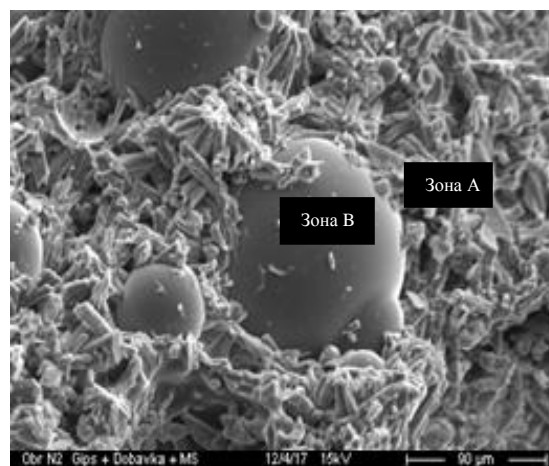


Рис. 2. Рентгенограмма гипсового камня с 10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК



а



б

Рис. 3. Микроструктура гипсового камня
с 10 % ПСМС, СП + ГФ (а); 10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК (б);
зона А – гипсовый камень; зона В – ПСМС

Микроструктура упрочненного гипсового камня с 10 и 30 % ПСМС отличается высокой однородностью их распределения в гипсовой матрице. При этом формируется дендритоподобная структура из перекрещивающихся в разных плоскостях кристаллов гипса, которые формируют более прочную контактную зону между микросферой и гипсовым камнем. Однако у камня с 30 % ПСМС формируется более пористая структура, чем у камня с 10 % ПСМС.

Были проанализированы рентгенограммы упрочненного гипсового камня с 10 и 30 % ПСМС и получены данные о межплоскостных расстояниях кристаллов гипса. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Межплоскостные расстояния гипсового камня, $d = n \cdot 10^{-10}$ м

Угол, °	Гипсо- вый камень	Гипсовый камень с 10 % ПСМС			Гипсовый камень с 30 % ПСМС		
		без добавок	СП + ГФ	СП + ГФ ВМК	без добавок	СП + ГФ	СП + ГФ ВМК
11,6	7,622	7,598 9	7,642	7,626 4	7,622	6,038 4	7,661 5
20,7	4,287	4,281 9	4,295 7	4,292 9	4,289 7	4,379 5	4,301 6
29,2	3,068 6	3,065 7	3,072 9	3,070 3	3,069 6	3,011 5	3,075 1
31	2,875	2,875 4	2,878 8	2,877 5	2,876 6	2,810 4	2,881 4
33,5	2,686	2,684 1	2,688 8	2,687 6	2,686 8	2,719 3	2,691 4

Анализ данных табл. 2 показал, что установлены изменения у модифицированных составов с 10 % ПСМС, СП + ГФ и упрочненного гипсового камня 10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК по межплоскостным расстояниям в кристаллах по пяти пикам в сравнении с контрольным составом.

Было определено, что для гипсового камня с 10 % ПСМС без добавок при всех углах исследования межплоскостные расстояния в кристаллах гипса уменьшаются; для камня с 10 % ПСМС, СП + ГФ при всех углах исследования межплоскостные расстояния в кристаллах гипса увеличиваются; для упрочненного камня с 10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК при всех углах межплоскостные расстояния тоже увеличиваются, но несколько меньше, чем у модифицированного камня. Эти изменения связаны с изменениями элементного состава микросфер и гипсовой матрицы, а также размеров кристаллов гипса. Были установлены изменения в кристаллах гипсовых камней с 30 % ПСМС, в том числе модифицированного и упрочненного, по межплоскостным расстояниям (см. табл. 2). Установлено увеличение межплоскостных расстояний в кристаллах гипсового камня с 30 % ПСМС и особенно у упрочненного материала с 30 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК. Эти изменения произошли за счет химической и поверхностной активности микросфер и элементного состава ПСМС, гипсовой матрицы, в том числе и благодаря СП и ГФ.

Таким образом, доказано влияние ПСМС и гидрофобно-пластифицирующей добавки, состоящей из ПСМС, метакаолина, СП Peramin SMF-10 и ГФ Vinnapas 8031 Н, на структуру (изменение в кристаллической решетке) упрочненного гипсового камня с ПСМС. Установлены межплоскостные расстояния в упрочненном гипсовом камне: $d = (7,626 4; 4,292 9; 3,070 3; 2,877 5; 2,687 6) \cdot 10^{-10}$ м и $d = (7,661 5; 4,301 6; 3,075 1; 2,881 4; 2,691 4) \cdot 10^{-10}$ м с 10 и 30 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК соответственно.

При анализе данных табл. 2 установлено, что у упрочненного гипсового камня с 30 % ПСМС определены бóльшие межплоскостные расстояния в кристаллах гипса по сравнению с чистым гипсовым камнем. Рост составил $\approx 0,04 \cdot 10^{-10}$ м при угле исследований $11,6^\circ$ и $\approx 0,02 \cdot 10^{-10}$ м при угле исследований $20,7^\circ$. Имеются также некоторые изменения фиксации пиков и соответствующего угла исследований (отражения рентгеновских лучей) для камня с 30 % ПСМС, СП + ГФ. Увеличение интенсивности основных пиков кристаллогидратов свидетельствует об их повышенном содержании.

Для сохранения лепного декора старинных дворцов, не имеющих системы отопления, требуется повышать эксплуатационные свойства. В табл. 3 приведены эксплуатационные свойства эффективных гипсовых смесей и камней с 10 и 30 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК для реставрационных работ.

Таблица 3

Эксплуатационные свойства
гипсовой смеси и камня с 10 и 30 % ПСМС

Наименование показателей	Контрольный (чистый гипсовый камень)	10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК	30 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК
В/Г (расплыв гипсового теста 180 ± 5 мм)	0,4	0,48	0,79
рН смеси	7,5	7,7	7,4
Начало схватывания смеси, мин	12,0	16,5	14,5
Конец схватывания смеси, мин	15,5	20	17,5
Средняя плотность камня в возрасте 2 ч, кг/м ³	1 850	1 270	870
Средняя плотность сухого камня, кг/м ³	1 445	805	502
Удельная прочность при изгибе, МПа	4,40	4,41	5,7
Удельная прочность при сжатии, МПа	12,7	12,9	10,66
Прочность сцепления с основанием (из чистого гипса для художественной лепнины), МПа	1,8	1,85	0,9
Коэффициент размягчения	0,5	0,7	0,65
Сорбционная влажность, %	4,9	3,1	4,2

Как видно из табл. 3, по сравнению с чистым гипсовым камнем упрочненный камень с ПСМС обладает технической эффективностью по показателям средней плотности, удельной прочности, прочности сцепления, коэффициенту размягчения, сорбционной влажности. На основании разработанных ТУ 2352-201-10-29888514 «Эффективный гипсовый материал для реставрационных работ», утвержденных ООО «Инновационный ресурс», было осуществлено опытное апробирование эффективного гипсового материала объемом 5,1 м³ при проведении ремонтно-восстановительных работ в помещениях ООО «МаСТ». Таким образом, выполненные работы по апробированию предлагаемых технических решений и полученные при этом результаты испытаний показали состоятельность и техническую эффективность предлагаемого гипсового материала для реставрационных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обосновано и экспериментально доказано, что совместное введение в высокопрочный гипс ПСМС гидрофобно-пластифицирующей добавки (СП PeraminSMF-10 + ГФ Vinnapas 8031 Н) и метакаолина способствует снижению В/Г, средней плотности и

улучшает эксплуатационные свойства композиционного материала за счет синергетического эффекта. Последний проявляется в интенсивности процесса образования кристаллогидратов более крупных размеров, образующих плотную дендритоподобную структуру модифицированного гипсового камня, который имеет следующие показатели в возрасте 2 ч (при расходе ПСМС 10 и 30 % соответственно): средняя плотность в сухом состоянии – 805 и 502 кг/м³; предел прочности при сжатии – 10,32 и 5,33 МПа; удельная прочность – 12,9 и 10,66 МПа; прочность сцепления с основанием – 1,85 и 0,9 МПа; водопоглощение по массе – 7,1 и 14,3 %; коэффициент размягчения – 0,7 и 0,65; сорбционная влажность – 3,1 и 4,2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // *Строительные материалы*. 2010. № 11. С. 6–8.
2. Semenov V.S., Rozovskaya T.A., Oreshkin D.V. Properties of the dry masonry mixtures with hollow ceramics microspheres // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 860–863. P. 1244–1247.
3. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 45–51.
4. Бурьянов А.Ф. Гипс, его исследование и применение от П.П. Будникова до наших дней // *Строительные материалы*. 2005. № 9. С. 46–48.
5. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Твердеющие кристаллизационные системы на основе порошков двуводного гипса // *Строительные материалы*. 2007. № 12. С. 46–47.
6. Оптимизация внутренней структуры дисперсных систем негидратационного твердения / В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, Т.Б. Новиченкова, А.Ф. Бурьянов, А.П. Пустовгар // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 22–23.
7. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Проблемы промышленной переработки фосфогипса в РФ, состояние и перспективы // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6. С. 273–276.
8. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками / Г.И. Яковлев, Г.Н. Первушин, И.С. Маева, А. Корженко, А.Ф. Бурьянов, Р. Мачюлайтис // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 25–27.
9. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры / А.Ф. Гордина, Г.И. Яковлев, И.С. Полянских, Я. Керене, Х.-Б. Фишер, Н.Р. Рахимова, А.Ф. Бурьянов // *Строительные материалы*. 2016. № 1-2. С. 90–95.
10. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Беликов, А.Ю. Щекина, А.А. Куприна // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 82–85.
11. Пашкевич А.А., Орешкин Д.В. Сухие смеси с полыми стеклянными микросферами для получения штукатурных растворов // *Сухие строительные смеси*. 2007. № 2. С. 21–23.
12. Королев Е.В., Иноземцев А.С. Экономические предпосылки применения высокопрочных легких бетонов // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2012. № 5. С. 198–206.
13. Бурьянов А.Ф., Фишер Х.Б. Исследование влияния многокомпонентных активаторов твердения на свойства природного ангидрита // *Строительные материалы*. 2023. № 1–2. С. 63–68.

14. Облегченные гипсовые составы с пористыми наполнителями / В.Б. Петропавловская, М.Ю. Завадько, Т.Б. Новиченкова, К.С. Петропавловский // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 37–43.

15. Influence of acid-activated micro-dispersed additive on the properties of cement sulphate-resistant compositions / V.B. Petropavlovskaya, T.B. Novichenkova, K.S. Petropavlovskii, M.Yu. Zavadko. *Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Materials Research Proceedings*. 2022. С. 285–292.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БУРЬЯНОВ Александр Федорович – доктор технических наук, доцент, профессор-консультант кафедры строительного материаловедения, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, Россия, г. Москва, Ярославское ш., д. 26. E-mail: rga-service@mail.ru

ТКАЧ Евгения Владимировна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры градостроительства, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, Россия, г. Москва, Ярославское ш., д. 26. E-mail: ev_tkach@mail.ru

СТИБУНОВ Даниил Васильевич – студент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, Россия, г. Москва, Ярославское ш., д. 26. E-mail: danilastibunov@gmail.com

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Бурьянов А.Ф., Ткач Е.В., Стибунув Д.В. Материал для реставрационных работ на основе высокопрочного гипса с полыми стеклянными микросферами // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 3 (19). С. 33–43.

GYPSUM MATERIAL FOR RESTORATION WORKS BASED ON HIGH-STRENGTH GYPSUM WITH HOLLOW GLASS MICROSPHERES

A.F. Buryanov, E.V. Tkach, D.V. Stibunov
Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)

Abstract. As a result of scientific research it has been established that the joint introduction of hollow glass microspheres (HGMS), hydrophobic-plasticising additive (superplasticiser (SP) Peramin SMF-10 + hydrophobiser (HF) Vinnapas 8031 H) and metakaolin into high-strength gypsum leads to a synergetic effect. The obtained effect is manifested in the intensity of the process of formation of crystalline hydrates of larger sizes, providing compaction and strengthening of the structure of the gypsum stone matrix of reduced average density with improved performance properties of the composite material in terms of compressive and bending strength, water resistance, sorption moisture and water absorption. By means of electron microscopy, X-ray phase analysis and chemical analysis methods the joint influence of PSMS, hydrophobic-plasticising additive (SP + GF) and metakaolin on the process of formation of dense dendrite-like structure of gypsum stone in confined conditions was revealed, which is formed

from crossed in different planes regular intergrowths of gypsum crystals, which form a stronger contact zone between microsphere and gypsum stone.

Keywords: high-strength gypsum, hollow glass microspheres, superplasticizer, water repellent, synergistic effect.

REFERENCES

1. Oreshkin D.V. Problems of building materials science and production of building materials. *Stroitel'nye Materialy*. 2010. No. 11, pp. 6–8. (In Russian).
2. Semenov V.S., Rozovskaya T.A., Oreshkin D.V. Properties of the dry masonry mixtures with hollow ceramics microspheres // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 860–863, pp. 1244–1247.
3. Khaev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration work. *Stroitel'nye Materialy*. 2017. No. 10, pp. 45–51. (In Russian).
4. Buryanov A.F. Gypsum, its research and application from P.P. Budnikov to the present day. *Stroitel'nye Materialy*. 2005. No. 9, pp. 46–48. (In Russian).
5. Petropavlovskaya V.B., Belov V.V., Buryanov A.F. Hardening crystallization systems based on powders of two-water gypsum. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 12, pp. 46–47. (In Russian).
6. Optimization of the internal structure of dispersed systems of non-hydration hardening / V.B. Petropavlovskaya, V.V. Belov, T.B. Novichenkova, A.F. Buryanov, A.P. Pustovgar // *Stroitel'nye Materialy*. 2010. No. 7, pp. 22–23. (In Russian).
7. Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. Problems of industrial processing of phosphogypsum in the Russian Federation, state and prospects. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 6, pp. 273–276. (In Russian).
8. Modification of anhydrite compositions with multilayer carbon nanotubes / G.I. Yakovlev, G.N. Pervushin, I.S. Maeva, A. Korzhenko, A.F. Buryanov, R. Machyulaitis // *Stroitel'nye Materialy*. 2010. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
9. Gypsum compositions with complex structure modifiers / A.F. Gordina, G.I. Yakovlev, I.S. Polyanskikh, Ya. Kerene, H.-B. Fisher, N.R. Rakhimova, A.F. Buryanov. *Stroitel'nye Materialy*. 2016. No. 1-2, pp. 90–95. (In Russian).
10. Effective dry mixes for repair and restoration works / V.S. Lesovik, L.Kh. Zagorodnyuk, D.A. Belikov, A.Yu. Shchekina, A.A. Kuprin. *Stroitel'nye Materialy*. 2014. No. 7, pp. 82–85. (In Russian).
11. Pashkevich A.A., Oreshkin D.V. Dry mixtures with hollow glass microspheres for the preparation of plaster mortars. *Suhie stroitel'nye smesi*. 2007. No. 2, pp. 21–23. (In Russian).
12. Korolev E.V., Inozemtsev A.S. Economic prerequisites for the use of high-strength lightweight concrete. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya*. 2012. No. 5, pp. 198–206. (In Russian).
13. Buryanov A.F., Fisher H.B. Study of the effect of multicomponent hardening activators on the properties of natural anhydrite. *Stroitel'nye materialy*. 2023. No. 1-2, pp. 63–68. (In Russian).
14. Lightweight gypsum compositions with porous fillers / V.B. Petropavlovskaya, M.Yu. Zavadko, T.B. Novichenkova, K.S. Petropavlovskii. *Stroitel'nye materialy*. 2021. No. 10, pp. 37–43. (In Russian).
15. Influence of acid-activated micro-dispersed additive on the properties of cement sulphate-resistant compositions / V.B. Petropavlovskaya, T.B. Novichenkova, K.S. Petropavlovskii, M.Yu. Zavadko. *Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Materials Research Proceedings*. 2022, pp. 285–292.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BURYANOV Alexander Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Consulting Professor of the Department of Building Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russia. E-mail: rga-service@mail.ru

TKACH Evgeniya Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department Building Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russia. E-mail: ev_tkach@mail.ru

STIBUNOV Daniil Vasilyevich – Bachelor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russia. E-mail: danilastibunov@gmail.com

CITATION FOR AN ARTICLE

Buryanov A.F., Tkach E.V., Stibunov D.V. Gypsum material for restoration works based on high-strength gypsum with hollow glass microspheres // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 3 (19), pp. 33–43.

УДК 691.328

**ПРОТИВОРЕЧИЯ В НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ**

Ю.Ю. Курятников

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Курятников Ю.Ю., 2023

Аннотация. В статье приведен анализ проблем, возникающих при изготовлении железобетонных изделий и связанных с несогласованностью положений нормативных документов. Отмечено, что при актуализации устаревшей нормативной документации, принятии новых документов разными институтами допускаются несогласованность, дублирование и нечеткость в требованиях. Предложены пути решения данных проблем.

Ключевые слова: железобетонные изделия, нормативная документация, схемы армирования, водопропускные трубы, кольца колодцев, дорожные плиты, арматурная сталь, композитная арматура.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-3-43-49

ВВЕДЕНИЕ

Большое разнообразие нормативной документации в строительной отрасли обусловлено сложностью строительных объектов, которые должны соответствовать различным требованиям и ограничениям. Научно-технический прогресс в строительстве, изменение экономико-правовых форм хозяйствования требуют совершенствования и корректировки нормативной базы. Эффективность организации этого процесса во многом