

В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ¹, Т.Б. НОВИЧЕНКОВА¹,
К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ², Ю. СВЕЙТИ¹

¹Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия,

²Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ОТДЕЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ПРОИЗВОДСТВА ВНУТРЕННИХ РАБОТ

Аннотация. Целью исследования являлось определение связи структуры и свойств гипсового композита на основе полуводного гипса с наполнителем в виде полых стеклянных микрогранул с характеристиками водопотребности и степени наполнения смеси микрогранулами. В работе использовался стеклянный наполнитель с размерами полых микрогранул 0,1 - 50 мкм с вакуумом внутри. Для решения поставленной задачи был выбран двухфакторный планированный эксперимент, где в качестве выходных факторов были выбраны предел прочности при сжатии и средняя плотность гипсового композита. Полученные данные подтверждают эффективность использования исследованных отечественных полых микрогранул для получения облегченных материалов на основе полуводного гипса. Они оказывают пластифицирующий эффект в составе сырьевых смесей на основе гипсового вяжущего и способствуют снижению их средней плотности.

Ключевые слова: смеси, гипсовое вяжущее, стекло, микрогранулы, прочность, плотность.

V.B. PETROPAVLOVSKAYA¹, T.B. NOVICHENKOVA¹,
K.S. PETROPAVLOVSKII², Yu. SWEITY¹

¹Tver State Technical University, Tver, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

DRY CONSTRUCTION MIXTURES FOR FINISHING MATERIALS AND PRODUCTION OF INTERNAL WORKS

Abstract. The aim of the study was to determine the relationship between the structure and properties of a gypsum composite based on semi-aquatic gypsum with a filler in the form of hollow glass microspheres with characteristics of water demand and the degree of filling of the mixture with microspheres.

We used a glass filler with the sizes of hollow microspheres of 0.1 - 50 microns with a vacuum inside. To solve this problem, a two-factor planned experiment was chosen, where the ultimate compressive strength and the average density of the gypsum composite were selected as the output factors. The data obtained confirm the effectiveness of using hollow microspheres for producing light materials based on calcium sulfate hemihydrate. Domestic samples of glass microspheres were used. It is shown that they have a plasticizing effect in the composition of raw mixtures based on gypsum binder and contribute to a decrease in their average density.

Keywords: mixtures, gypsum, binder, glass, microspheres, strength, density.

Введение

В настоящее время имеется достаточно большое количество работ, посвященных созданию эффективных гипсовых смесей для различных условий их эксплуатации. Существуют требования к гипсовым смесям и материалам, используемым и в условиях сухого и жаркого климата, в том числе и по срокам схватывания, и по средней плотности, и по прочности гипсового камня в сухом влажном состоянии, а также по теплоизоляции, цвету и

другим эксплуатационным характеристикам [1, 2]. Минимальная средняя плотность при требуемой прочности необходима для облегченных несущих конструкций, используемых в малоэтажном строительстве [3].

Известно, что в гипсовые смеси для снижения плотности и теплопроводности камня вводят органические и неорганические добавки-наполнители: пенообразователи [4], вспученные перлит, вермикулит [5]; древесные опилки [5]; микрогранулы из стекла и пеностекла [3, 4, 5], алюмосиликатные микросферы [6], фибра [7]. Однако применение этих материалов не всегда является эффективным, при снижении средней плотности может снижаться и прочность, и другие эксплуатационные свойства.

Проблема повышения эксплуатационных свойств гипсовых вяжущих, рассматривается во многих исследованиях гипсоцементно-пуццолановых (ГЦПВ), композиционных гипсовых (КГВ) и других вяжущих веществ на основе гипса [8, 9]. В них в качестве добавок использовались природные и техногенные минеральные добавки, используемые для изготовления материалов [8, 9, 10], наливных самотвердеющих гипсовых составов с использованием кварца, аморфного кремнезема [11] и других побочных продуктов промышленности [12 – 14]. Известно также применение гранулированного фосфополугидрата и фосфогипса в производстве цемента [15, 16, 17, 18], разработана технология получения вяжущих веществ из фосфогипса [19, 20]. Однако упрочнение гипсового камня путем армирования гипсового камня волокном представляет больший интерес, поскольку это позволяет упростить управление процессом их структурообразования в сравнении с многокомпонентными системами на основе гипсовых вяжущих, в особенности в отдаленные сроки твердения. Об этом свидетельствуют исследования, посвященные решению проблемы долговечности строительных материалов на основе смешанных гипсовых вяжущих веществ [7, 8], в особенности – на основе техногенных отходов.

Для упрочнения штукатурных смесей предлагаются разные способы армирования, например, волокном BarChip в сочетании с суперпластификатором для повышения прочности на сжатие и прочности на изгиб. При этом отмечается, что использование суперпластификатора в количестве 1 % способствует увеличению прочности на сжатие и прочности на изгиб с 6 МПа и 2 МПа до ~ 9 МПа и ~ 3 МПа соответственно, а также – сокращению количества воды, необходимого для обеспечения оптимальной консистенции. Было обнаружено, что включение волокон BarChip в гипсовую смесь, помимо использования суперпластификатора, дает наилучшее значение с точки зрения прочности на сжатие. Так прочность на сжатие гипсовой штукатурки увеличилась на 44 % за счет армирования волокнами. Кроме того, отмечено, что использование 1 % суперпластификатора и 1 % волокон BarChip в смеси дает прирост значений и на изгиб гипсового камня – прочность увеличилась с 2,25 до 3,65 МПа (превышена в среднем на 62 %) [22].

Для улучшения физико-механических свойств используют армирование природным волокном – древесными опилками, стружками, отходов рисовой шелухи, кокосовым волокном и т.д. [5].

Так для снижения средней плотности древесно-цементных композиций исследователями [5] предлагалось вводить микрокремнезем в сочетании добавками шунгита и кремнезема. Причем, шунгит и кремнезем вводились в виде частиц нанометрового размера, что отразилось на ряде свойств получаемых композиций.

Древесно-цементная композиция без нано добавок имела прочность при сжатии – 2,3 МПа при средней плотности – 747 кг/м^3 и водопоглощении по массе – 86 %. Тогда как при введении наноразмерных частиц шунгита средняя плотность составила 707 кг/м^3 , а водопоглощение по массе – 27 %, т.е. существенно понизилось. Предел прочности при сжатии повысился и составил – 2,7 МПа. Введение добавки кремнезема в виде наноразмерных частиц еще в большей мере способствовало снижению средней плотности – до 670 кг/м^3 . Однако в этом случае авторы отметили повышение водопоглощения по массе – до 65 %, но и предел

прочности при сжатии повысился – до 3,5 МПа. Совместное введение добавок кремнезема и микрокремнезема с наноразмерными частицами позволило еще немного понизить среднюю плотность – до 610 кг/м^3 , а прочность при сжатии увеличить до 6,2 МПа. Водопоглощение по массе составило для этого состава – 62 %, т.е. промежуточное значение в сравнении с данными, описанными выше. Таким образом, при использовании комплекса кремнезёмистых добавок, путем регулирования состава композита на нано уровне удалось создать композицию [5] с низкой плотностью и улучшенной прочностью. Однако высокое водопоглощение ограничивало область применения этого материала.

Решить проблему получения облегчённых материалов на основе минеральных вяжущих с высокими эксплуатационными свойствами позволяет появление на рынке ряда пенонаполнителей – пеностеклянных, алюмосиликатных и полых стеклянных микрогранул с широкими пределами по насыпной плотности, дисперсности, прочности и т.д. [21, 22].

Введение в гипсовое вяжущее высокой прочности полых стеклянных микросфер (ПСМС) совместно с химическими модификаторами, приводит к появлению синергетического эффекта, проявляющегося в интенсивности процесса образования кристаллогидратов более крупных размеров, обеспечивающих уплотнение и упрочнение структуры матрицы гипсового камня пониженной средней плотности с улучшенными показателями эксплуатационных свойств композиционного материала: прочности при сжатии, изгибе и сцепления с основанием [21]. Совместное введение в гипс микросфер, суперпластификатора, гидрофобизатора и метакаолина способствует снижению В/Г, средней плотности и улучшению других эксплуатационных свойств.

В процессе твердения образуется плотная дендритоподобная структура модифицированного гипсового камня со средней плотностью в сухом состоянии – 500 и 800 кг/м^3 ; пределом прочности при сжатии от 5 до 10 МПа и водопоглощением по массе ~ 7 – 14 %.

Следовательно, решение проблемы получения эффективного гипсового материала с пониженной средней плотностью и улучшенными эксплуатационными показателями может быть осуществлено путем создания материала с упрочненной структурой и включения в модифицированный гипсовый камень стеклянных полых микросфер.

Модели и методы

В исследованиях использовалось низкообжиговое гипсовое вяжущее β - модификации марки Г-5, которое характеризовалось ПО ГОСТ 125 – 2018 следующими показателями: пределом прочности при сжатии – 5 МПа, пределом прочности при изгибе – 2,5 МПа, началом схватывания не ранее 6 мин, концом схватывания – не позднее 30 мин и остатком на сите 0,2 мм – не более 14 %.

В качестве наполнителя в работе использовались стеклянные полые микрогранулы местного производства диаметром 0,1 - 50 мкм с вакуумом внутри. Основные показатели микрогранул приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства полых стеклянных микрогранул

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Фактические значения
1	Насыпная плотность микросфер	кг/м^3	1700 – 1750
2	Коэффициент заполнения объёма	%	от 60
3	Влажность, массовая доля	%	до 0,3
4	Плавучесть, объёмная доля	%	75

Ввиду того, что на структуру и свойства гипсового композита с добавкой стеклянных микрогранул может влиять целый ряд взаимно независимых факторов, то в данном исследовании был выбран двухфакторный эксперимент.

Варьируемыми факторами в данном эксперименте были назначены процентное содержание стеклодобавки (X_1) и водопотребность сырьевой смеси (X_2) согласно принятой матрице, представленной в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица варьированных факторов

№	Матрица		Содержание микрогранул, %	В/Т
	X_1	X_2		
1	-		0	0,6
2	-	+	30	0,6
3	-	0	0	0,64
4	+	-	30	0,64
5	+	+	0	0,62
6	+	0	30	0,62
7	0	-	15	0,6
8	0	+	15	0,64
9	0	0	15	0,62

Результаты исследования и их анализ

Полученные экспериментальные данные по исследованию прочности гипсового композита с добавкой стекломикрогранул приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения пределов прочности при сжатии образцов гипсового композита

№	$R_{сж}, \text{МПа}$
1	16,87
2	11,48
3	14,25
4	10,62
5	17,25
6	10,37
7	12,75
8	12,37
9	12,75

После обработки результатов были получены уравнения регрессии для гипсового камня с добавкой микрогранул по прочности и плотности.

Уравнение для предела прочности при сжатии имело следующий вид:

$$R_{сж} = 12,889 - 2,655 X_1 - 0,644 X_2 + 0,889 X_1^2 + 0,44 X_2^2 - 0,63 X_1 X_2, \text{ МПа}$$

Результаты исследований влияния варьируемых факторов на прочность камня приведены на рисунках 1 и 2.

После обработки результатов по зависимости средней плотности от совместного влияния факторов, приведенных в таблице 4, было получено следующее уравнение регрессии:

$$\rho_0 = 997,002 - 192,46 X_1 - 20,871 X_2 + 65,43 X_1^2 + 2,355 X_2^2 + 8,52 X_1 X_2, \text{ кг/м}^3.$$

Таблица 4 – Результаты определения средней плотности образцов гипсового композита

№	Средняя плотность, кг/м^3
1	1276
2	896
3	1229
4	860
5	1260
6	858
7	1022
8	983
9	998

Результаты исследований влияния процентного содержания микрогранул и водотвердого отношения на плотность камня приведены на рисунках 1, 3. На рисунке 1 представлены зависимости прочности и средней плотности гипсового камня с добавкой стеклянных микрогранул для водотвердого отношения $B/T = 0,6$, как типичного в данном исследовании.

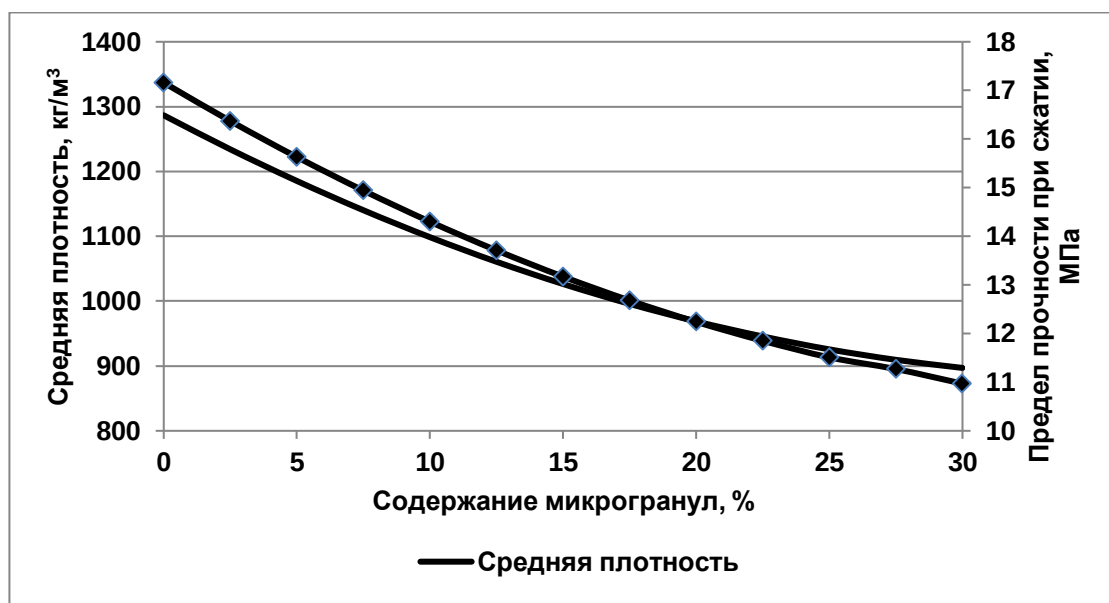


Рисунок 1 – Зависимость прочности и средней плотности модифицированного гипсового камня от содержания добавки микрогранул

С увеличением количества микрогранул в составе сырьевой смеси на основе гипсового вяжущего предел прочности при сжатии монотонно уменьшается (рисунок 1). При этом установлено, что при $B/T = 0,64$ предел прочности снижается на 35 % в пределах изменения содержания гранул микрогранул от 0 до 30 %.

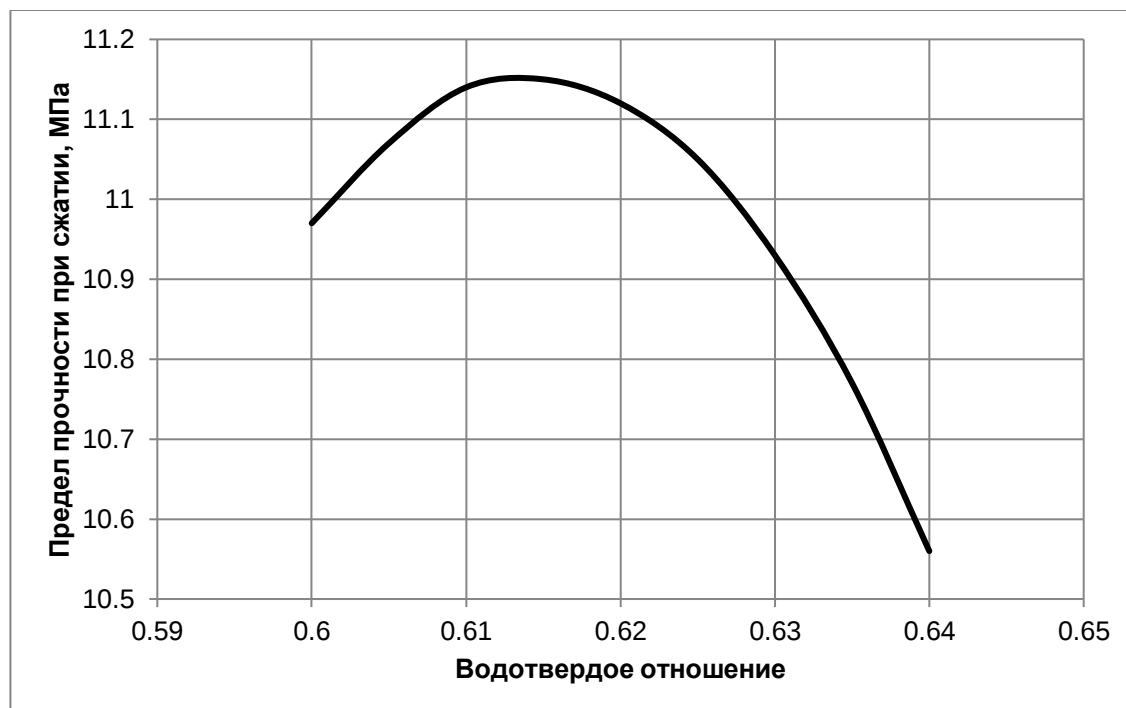


Рисунок 2 – Зависимость прочности модифицированного гипсового камня с добавкой микрогранул от водотвердого отношения

Зависимость прочности от содержания микросфер для ряда с $V/T = 0,64$ находится ниже, чем зависимости с $V/T = 0,62$ и $0,6$, причем снижение прочности составляет (как показано ниже) всего лишь 47 %, т.е. является наименее заметным по величине. Тогда как для водотвердого отношения $V/T = 0,6$ снижение прочности составляет 56 %. Для водотвердых отношений $0,6$ и $0,62$ кривые более близки по характеру, однако прочность при $V/T = 0,6$ будет выше всех остальных значений прочности гипсового композита.

Это объясняется, тем что, по видимому, при $V/T=0,6$ микрогранулы способствуют повышению подвижности смеси, ввиду того, что они имеют гладкую ровную поверхность и тем самым сокращают трение между компонентами растворной смеси. Следовательно, нет необходимости вводить большое количество воды для получения нормальной консистенции гипсового раствора. И вода в таком случае будет тратиться, прежде всего, на гидратацию гипса.

Таким образом, с точки зрения прочности, увеличение водопотребности свыше 60 %, оказывает негативное воздействие на структуру гипсового камня с добавкой микронаполнителя, несмотря на то, что микрогранулы являются высокодисперсными частицами. В данном случае исследования показали, что оптимальное V/T дает возможность обеспечить максимальную прочность композиту.

Согласно зависимости, представленной на рисунке 2, установлено, что с увеличением водотвердого отношения V/T от 0,6 до 0,615 прочность повышается, а затем с дальнейшим увеличением водотвердого отношения от 0,615 до 0,64 прочность начинает монотонно уменьшаться, максимальная прочность достигается для составов без добавки микрогранул и составляет 17 МПа.

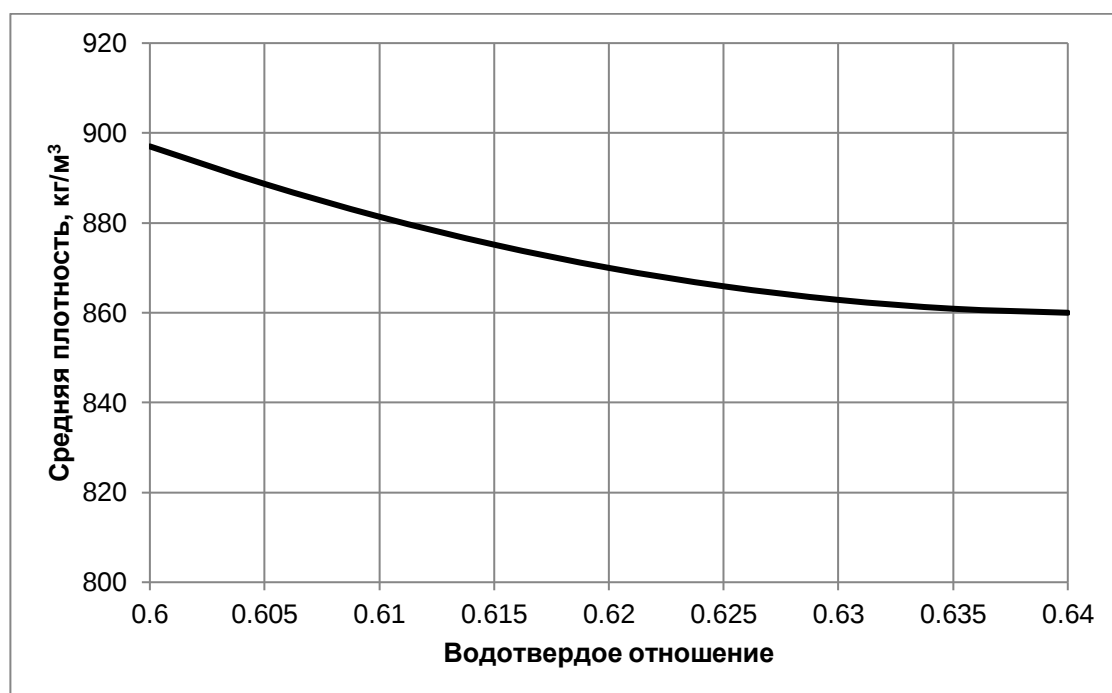


Рисунок 3 – Зависимость средней плотности модифицированного гипсового камня с добавкой микрогранул от водотвердого отношения

В отличие от предела прочности при сжатии водотвердое отношение в большей степени влияет на среднюю плотность и характер сохраняется при всех значениях V/T . Так установлено, что при высоких значениях V/T наибольшее снижение плотности наблюдается для кривой с содержанием микрогранул 30 %.

Расчетами установлена следующая динамика снижения прочности и плотности композита от варьируемых факторов:

1. Снижение предела прочности при сжатии при $\frac{B}{T} = 0,64$ составило

$$\Delta R_{сж} = \frac{14,35 - 10,56}{10,56} \cdot 100 \% = 35,89 \%$$

2. Снижение предела прочности при сжатии при $\frac{B}{T} = 0,62$ составило

$$\Delta R_{сж} = \frac{16,43 - 11,12}{11,12} \cdot 100 \% = 47,75 \%$$

3. Снижение предела прочности при сжатии при $\frac{B}{T} = 0,6$ составило

$$\Delta R_{сж} = \frac{17,16 - 10,97}{10,97} \cdot 100 \% = 56,42 \%$$

4. Снижение средней плотности при содержании микрогранул в количестве 27,50 % составило

$$\Delta = \frac{909,49 - 871,67}{871,67} \cdot 100 \% = 4,34 \%$$

5. Снижение средней плотности при содержании микрогранул в количестве 30 % составило

$$\Delta = \frac{897,01 - 859,98}{859,98} \cdot 100 \% = 4,30 \%$$

Выводы

1. Установлена взаимосвязь свойств гипсового композита с наполнителем в виде полых стеклянных микрогранул с характеристиками водопотребности и степени наполнения смеси микрогранулами.

2. Влияние В/Т проявляется в большей степени для смеси без наполнителя или с малым количеством наполнителя. С увеличением количества микрогранул влияние В/Т нивелируется, поскольку микрогранулы создают пластифицирующий эффект и нет необходимости увеличивать водосодержание гипсовой смеси.

3. С увеличением количества микрогранул в составе сырьевой смеси на основе гипсового вяжущего предел прочности при сжатии монотонно уменьшается. Снижение прочности при введении микрогранул в среднем составляет ~ 9 % на каждые 5 % наполнителя для исследованного диапазона.

4. Оптимальное В/Т отношение составило 0,6 для состава с максимальным процентным содержанием микрогранул – 30 %.

5. По своим основным характеристикам материал может быть использован для изготовления отделочных изделий широкой номенклатуры по литьевой технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zabalza B.I., Valero C.A., Aranda A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental IMPacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential // Fuel and Energy Abstracts. 2011. 46 (5). pp.1133–1140.
2. ASTM C20-00, Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water, ASTM International [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astm.org/cis/ru/index.html> (дата обращения: 22.12.2019).
3. Семенов В.С., Розовская Т.А. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций с применением облегченных кладочных растворов // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 16-19.

4. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С. Самоармированные гипсовые композиты. М.: Де Нова, 2015. 163 с.
5. Орешкин Д.В., Горностаева Е.Ю., Капцов П.В., Хаев Т.Э. Древесно-цементные композиции с улучшенными физико-техническими показателями // Вестник ВолгГАСУ. 2015. № 40 (59). С. 174-185.
6. Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б. Облегченные самоармированные гипсовые композиты // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 40-45.
7. Цыплаков А.Н., Черноусенко Г.И., Семёнова А.Т., Кукина О.Б., Гайдина Н.М., Парусимов И.В. Перспективы применения гипсокомпозита в монолитном малоэтажном строительстве // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 4 (23). С. 4-21.
8. Новиченкова Т.Б., Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П., Петропавловский К.С. Применение пылевидных отходов базальтового производства в качестве наполнителя гипсовых композиций // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 9-13.
9. Ферронская А.В. Гипс: эколого-экономические аспекты его применения в строительстве // Строительные материалы. 1999. № 4. С. 28-31.
10. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Проблемы промышленной переработки фосфогипса в РФ, состояние и перспективы // Фундаментальные исследования. 2015. № 6–2. С. 273–276.
11. Мещеряков Ю.Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов. Л.: Стройиздат, 1982. 143 с.
12. Иващенко Ю.Г., Страхов А.В., Евстигнеев С.А. Исследование влияния пластификаторов на композиционное гипсового вяжущего на основе фосфогипса и алюмосиликатных добавок // Международная научно-техническая конференция «Наука, Техника, Инновации». Брянск: Надежные машины, 2014. С. 118–122
13. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А., Волков В.В., Еремин А.В., Волокитина О.А. Безобжиговые строительные материалы из отвалного фосфогипса. Beau Bassin, Mauritius. LapLambertAcademicPublishing. 2020. 150 с.
14. Ряшин А.А., Евстигнеев С.А. Разработка композиционного гипсового вяжущего на основе гипсосодержащих отходов Саратовской области // Математические методы в технике и технологиях. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2014. № 12 (70). С. 65-66.
15. Мещеряков Ю.Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1982. 143 с.
16. Мещеряков Ю.Г., Лисица Г.Е., Иванов О.И., Шморгуниченко Н.С. Применение гранулированного фосфополугидрата в производстве цемента // Цемент. 1987.
17. Мещеряков Ю.Г., Григорьева А.С. Влияние режима обжига сырья на фазовый состав и свойства гипсовых вяжущих // Известия Вузов. Химия и хим. технол. 1988. № 4.
18. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. СПб: Стройиздат, 2007. 104 с.
19. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Энергосберегающие технологии переработки фосфогипса и фосфополугидрата // Строительные материалы. № 12. 2005. С.56-57.
20. 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. 45-50.
21. Семенов В.С., Розовская Т.А. Сухие кладочные смеси с полыми керамическими микросферами // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 195-199.
22. Dawood E.T., Mezal A.M. Properties of fiber-reinforced gypsum to study the compressive strength and flexural strength of gypsum plaster// Scientific Research & Reports. 2014. No. 3(10). Pp.1339-1347.

REFERENCES

1. Zabalza B.I., Valero C.A., Aranda A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental IMPacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential // Fuel and Energy Abstracts. 2011. 46 (5).Pp.1133–1140.
2. ASTM C20-00, Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water, ASTM International [Online]. URL: <http://www.astm.org/cis/ru/index.html>(date of application: 22.12.2019).
3. Semenov V.S., Rozovskaya T.A. Povyshenie energoeffektivnosti ograzhdayushchih konstrukcij s primeneniem oblegchennyh kladochnyh rastvorov [Improving energy efficiency of enclosing structures using light-weight masonry solutions] *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 6. Pp. 16-19. (rus)
4. Petropavlovskaya V.B., Bur'yanov A.F., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S. Samoarmirovannye gipsovyje kompozity [The self-reinforced plaster composites] M.: De Nova, 2015. 163 p. (rus)
5. Oreshkin D.V., Gornostaeva E.YU., Kapcov P.V., Haev T.E. Drevsesno- cementnye kompozicii s uluchshennymi fiziko-tekhnicheskimi pokazatelyami [Wood-cement compositions with improved physical and technical characteristics] *Vestnik VolgGASU*. 2015. No. 40 (59). Pp. 174-185. (rus)

6. Petropavlovskii K.S., Bur'yanov A.F., Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B. Oblegchennye samoarmirovannye gipsovye kompozity [Lightweight self-reinforced gypsum composites] *Stroitel'nye materialy*. 2019. No.10. Pp. 40-45. (rus)
7. Cyplakov A.N., Chernousenko G.I., Semyonova A.T., Kukina O.B., Gajdina N.M., Parusimov I.V. Perspektivy primeneniya gipsokompozita v monolitnom maloetazhnom stroitel'stve [Prospects for application of gypsum complex in monolithic low-rise construction] *Himiya, fizika i mekhanika materialov*. 2019. No. 4 (23). Pp. 4-21. (rus)
8. Novichenkova T.B., Petropavlovskaya V.B., Zavad'ko M.Yu., Bur'yanov A.F., Pustovgar A.P., Petropavlovskii K.S. Primenenie pylevidnyh othodov bazaltovogo proizvodstva v kachestve napolnitelya gipsovyh kompozitsiy [Application of pulverized wastes of basalt production as a filler of gypsum compositions] // *Stroitel'nyye materialy*. 2018. No. 8. Pp. 9-13. (rus)
9. Ferronskaya A.V. Gips: ekologo-ekonomicheskie aspekty ego primeneniya v stroitel'stve [Gypsum: ecological-economic aspects of its application in construction] *Stroitel'nye materialy*. 1999. No. 4. Pp. 28-31. (rus)
10. Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. Problemy promyshlennoy pererabotki fosfogipsa v RF, sostoyanie i perspektivy [Problems of industrial processing of phosphogypsum in the Russian Federation, condition and prospects] // *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 6-2. Pp. 273-276. (rus)
11. Мещеряков Ю.Г. Gipsovye poputnye promyshlennyye produkty i ih primeneniye v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Gypsum associated industrial products and their use in the production of building materials]. L.: Strojizdat, 1982. 143 p. (rus)
12. Ivashchenko Yu.G., Strahov A.V., Evstigneev S.A. Issledovanie vliyaniya plastifikatorov na kompozitsionnoye gipsovoye vyazhushchego na osnove fosfogipsa i alyumosilikatnykh dobavok [Study of the effect of plasticizers on composite gypsum binder based on phosphogypsum and aluminosilicate additives]: Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nauka, Tekhnika, Innovatsii» [International Scientific and Technical Conference "Science, Technology, Innovation"]. 2014. Bryansk: Nadezhnye mashiny. Pp. 118–122.
13. Zolotuhin S.N., Kukina O.B., Abramenko A.A., Volkov V.V., Eremin A.V., Volokitina O.A. Bezobzhigovyye stroitel'nye materialy iz otval'nogo fosfogipsa [Non-burning construction materials from dump phosphogypsum] Beau Bassin, Mauritius. Lap Lambert Academic Publishing, 2020. 150 p. (rus)
14. Ryashin A.A., Evstigneev S.A. Razrabotka kompozitsionnogo gipsovogo vyazhushchego na osnove gipsosoderzhashchih othodov Saratovskoy oblasti [Development of composite gypsum binder based on gypsum-containing wastes of Saratov region]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah*. Saratov: SGTU im. Gagarina Yu.A., 2014. No. 12 (70). Pp. 65-66. (rus)
15. Meshcheryakov Yu.G. Gipsovye poputnye promyshlennyye produkty i ih primeneniye v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Gypsum associated industrial products and their use in the production of construction materials]. M.: Strojizdat, 1982. 143 p. (rus)
16. Meshcheryakov Yu.G., Lisica G.E., Ivanov O.I., Shmorgunenkov N.S. Primeneniye granulirovannogo fosfopolugidrata v proizvodstve tsementa [Use of granular phosphopolyhydrate in cement production] *Cement*. 1987. (rus)
17. Meshcheryakov Yu.G., Grigor'eva A.S. Vliyanie rezhima obzhiga syr'ya na fazovyy sostav i svoystva gipsovykh vyazhushchih [Effect of raw material firing mode on phase composition and properties of gypsum binders] *Izvestiya Vuzov. Himiya i him. tekhnol.* 1988. No. 4. (rus)
18. Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. Promyshlennaya pererabotka fosfogipsa [Industrial processing of a phosphite] SPb: Strojizdat, 2007. 104 p. (rus)
19. Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. Energosberegayushchie tekhnologii pererabotki fosfogipsa i fosfopolugidrata [Energy-saving technologies for processing phosphogypsum and phosphopolyhydrate] *Stroitel'nye materialy*. No. 12. 2005. Pp. 56-57. (rus)
20. Haev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Modificirovannyj oblegchennyy gipsovyj material s polymi steklyannymi mikrosferami dlya restavratsionnykh rabot [Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration work] *Stroitel'nye materialy*. 2017. No. 10. Pp. 45-50. (rus)
21. Semenov V.S., Rozovskaya T.A. Suhie kladochnye smesi s polymi keramicheskimi mikrosferami [Dry masonry mixes with hollow ceramic microspheres] *Nauchnoye obozrenie*. 2013. No. 9. Pp. 195-199. (rus)
22. Dawood E.T., Mezal A.M. Properties of fiber-reinforced gypsum to study the compressive strength and flexural strength of gypsum plaster // *Scientific Research & Reports*. 2014. No. 3(10). Pp. 1339-1347.

Информация об авторах:

Петропавловская Виктория Борисовна

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций.
E-mail: victoriapetrop@gmail.com

Новиченкова Татьяна Борисовна

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций.
E-mail: tanovi.69@mail.ru

Петропавловский Кирилл Сергеевич

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
инженер научно-исследовательского института строительных материалов и технологий.
E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

Свейти Юсри

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия,
аспирант кафедры производства строительных изделий и конструкций.
E-mail: yousri6324244@gmail.com

Information about authors:

Petropavlovskaya Victoria B.

Tver State Technical University, Tver, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department building materials and structures.
E-mail: victoriapetrop@gmail.com

Novichenkova Tatyana B.

Tver State Technical University, Tver, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department building materials and structures.
E-mail: tanovi.69@mail.ru

Petropavlovskii Kirill S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
engineer of the research institute of building materials and technology.
E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

Sweity Yousri

Tver State Technical University, Tver, Russia,
post-graduate student of the dep building materials and structures.
E-mail: yousri6324244@gmail.com