

УДК 666.914

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138

*Г.В. СОПЕГИН, Н.С. СЕМЕЙНЫХ, Д.Ч. РУСТАМОВА,  
Пермский национальный исследовательский  
Политехнический университет*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА СВОЙСТВА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Представлены результаты исследований по влиянию добавки стеклосодержащего компонента (измельченного гранулированного пеностекла) на свойства гипсового вяжущего, а также оценке пригодности использования стеклосодержащего компонента (ССК) для разработки нового состава теплоизоляционной гипсовой смеси.

Установлено, что введение ССК фракции 0,14–1,25 мм в количестве 5–15 % обеспечивает наибольший прирост прочности камня строительного гипса. Присутствие ССК смеси фракций 0,063–0,14 мм в составе строительного гипса способствует повышению его коэффициента размягчения с 0,42 до 0,48.

Основные свойства гипсовой смеси оценивались при введении ССК фракции 0,063–4,0 мм в количестве 30, 40 и 50 % от массы вяжущего. Выявлено, что начало схватывания растворной смеси с добавкой наступает не позднее 6 мин. Введение 50 % ССК значительно снижает величину вододерживающей способности до 85 %. Увеличение количества ССК с 30 до 50 % приводит к уменьшению теплопроводности исследуемых образцов с 0,279 до 0,209 Вт/(м·°С). Предел прочности при сжатии образцов снижается с 15,85 до 9,273 МПа по мере увеличения содержания в смеси ССК до 50 %. Прочность сцепления с керамическим кирпичом у составов, содержащих 30 и 40 % ССК, находится в интервале 0,44–0,69 МПа.

Наиболее эффективными с точки зрения сочетания физико-механических и теплоизоляционных свойств являются составы с содержанием ССК 30 и 40 %. В дальнейшем необходима модификация данных составов введением различных замедлителей схватывания, вододерживающих и пластифицирующих добавок.

**Ключевые слова:** сухие строительные смеси; строительный гипс; прочность при сжатии; теплопроводность; коэффициент размягчения; нормальная плотность; гипсовое вяжущее; гранулированное пеностекло; стеклосодержащий компонент (ССК).

**Для цитирования:** Сопегин Г.В., Семейных Н.С., Рустамова Д.Ч. Оценка влияния стеклосодержащего компонента на свойства гипсового вяжущего и сухих строительных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 129–138.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138

*G.V SOPEGIN, N.S. SEMEYNYKH, D.Ch. RUSTAMOVA,  
Perm National Research Polytechnic University*

## **THE INFLUENCE OF GLASS CONTAINING COMPONENT ON GYPSUM BINDER AND DRY MIX MORTAR PROPERTIES**

The paper studies the properties of the gypsum binder after the addition of glass containing component (crushed granulated foam glass) and the suitability of the latter for the development of a new composition of the heat-insulated gypsum mixture.

It is shown that the addition of the glass containing component (GCC) fraction of 0.14–1.25 mm in the amount of 5–15 % provides the highest strength increase of the gypsum binder. The presence of GCC fractions of 0.063–0.14 mm in the composition of the gypsum binder increases its softening coefficient from 0.42 to 0.48.

The main properties of the gypsum mixture are studied after the addition of the GCC fraction of 0.063–4.0 mm in the amount of 30, 40 and 50 % of the binder mass. The initial setting of the GCC-containing mortar mixture occurs no later than in 6 minutes. The introduction of 50 % GCC significantly reduces the water retaining power to 85 %. An increase in the GCC content from 30 to 50 % in the composition of the gypsum mixture leads to a decrease in the thermal conductivity of the samples from 0.279 to 0.209 W/(m·°C). The compressive strength reduces from 15.85 to 9.273 MPa as the GCC content increases to 50 %. The adhesive strength to ceramic brick for compositions containing 30 and 40 % GCC ranges from 0.44 to 0.69 MPa.

In relation to physical, mechanical and heat insulating properties, compositions containing 30 and 40 % of GCC are the most effective. These compositions can be modified by the addition of various setting retardants, water-retaining and plasticizing additives.

**Keywords:** dry mix mortar; plaster; compressive strength; thermal conductivity; softening coefficient; normal consistency; gypsum binder; granulated foam glass; glass-containing component.

**For citation:** Sopegin G.V., Semeynykh N.S., Rustamova D.Ch. Otsenka vliyaniya steklosoderzhashchego komponenta na svoystva gipsovogo vyazhushchego i sukhikh stroitel'nykh smesei [The influence of glass containing component on gypsum binder and dry mix mortar properties]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 129–138.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138

## Введение

Современное строительство предъявляет высокие требования к экологичности, энергоэффективности и ресурсосбережению. Поэтому приоритетным направлением является разработка новых строительных материалов и усовершенствование технологий их производства с использованием техногенных и бытовых отходов, а также побочных продуктов различных отраслей промышленности.

Гипсовые вяжущие находят всё большее применение в разработке составов строительных материалов, что связано с рядом их преимуществ по физико-техническим свойствам и экологичности по сравнению с другими видами вяжущих веществ. Производство гипсовых вяжущих нетоксично и требует примерно в 4–5 раз меньше топливно-энергетических расходов, чем производство цемента. Однако гипсовые вяжущие и материалы на их основе имеют существенный недостаток – низкую водостойкость, поэтому область применения гипсовых материалов значительно ограничивается [1–3].

Одной из распространенных областей применения гипсовых вяжущих, решающей проблему «устойчивого развития», является разработка рецептур теплоизоляционных материалов, включая эффективные теплоизоляционные штукатурные смеси [4–6]. Состав теплоизоляционных штукатурок включает в себя смесь вяжущего с пористым наполнителем и различными добавками.

Перспективным пористым наполнителем может служить пеностекло, которое в штукатурных смесях целесообразно использовать в измельченном

состоянии либо в виде гранул. Являясь экологичным и долговечным материалом, пеностекло за последние десятилетия доказало свою эффективность как в качестве конструкционного материала, так и в качестве легкого заполнителя в бетонах [7–11].

Кроме того, в настоящее время рядом производителей («ВосЦемПродукт», *Baugran*<sup>®</sup>, GRANULIN AEROSTEK, PALADIUM) выпускаются теплоизоляционные штукатурные смеси на цементной основе с применением гранул пеностекла размером до 4,0 мм. Такие смеси характеризуются пределом прочности на сжатие не менее 1,5–2,5 МПа, прочностью сцепления с основанием не менее 0,5 МПа и коэффициентом теплопроводности не более 0,18 Вт/(м·°С).

Однако согласно исследованиям, представленным в научных источниках [10, 11], использование пеностекла в сочетании с цементным вяжущим может приводить к возникновению щелочно-силикатной реакции, способной со временем снизить прочностные характеристики материала и привести к его разрушению.

Таким образом, рациональным представляется использовать пеностекло для разработки составов теплоизоляционных строительных смесей на основе гипсового вяжущего. Анализ рынка и литературных данных [4–6, 12–16] показывает, что в последнее десятилетие теплоизоляционные гипсовые смеси находят широкое применение в строительной отрасли для внутренней и внешней отделки стен зданий. Кроме того, необходимо расширять область применения пеностекла, что позволит решать задачи в области ресурсосбережения и энергоэффективности строительного материаловедения.

Цель работы заключалась в следующем:

- 1) исследовать свойства гипсового вяжущего с добавкой стеклосодержащего компонента (ССК), представляющего собой предварительно измельченное гранулированное пеностекло;
- 2) оценить пригодность стеклосодержащего компонента для получения сухих строительных гипсовых смесей теплоизоляционного назначения.

#### **Материалы и методы исследования**

В работе применялся строительный гипс Г-5 БII по ГОСТ 125–2018 производства компании «Гипсополимер» (г. Пермь), а также смесь фракций (0,063–4,0 мм) пористого стеклосодержащего заполнителя – предварительно измельченного в шаровой мельнице гранулированного пеностекла с маркой по насыпной плотности D350, полученного в ходе полужаводских испытаний по порошковой технологии.

Как известно, высокие физико-механические свойства сухих смесей и растворов достигаются благодаря оптимальному расходу компонентов и наиболее плотной упаковке частиц заполнителя [15]. Высокие адгезионные свойства можно обеспечить благодаря созданию шероховатой поверхности затвердевшего раствора. Кроме того, для теплоизоляционных штукатурных смесей важными параметрами также являются минимальная плотность и теплопроводность. Достижение представленных показателей разрабатываемых гипсовых смесей в работе осуществлялось путем построения «идеальной

гранулометрической кривой» добавки ССК. Таким образом, более мелкие зерна будут заполнять пространство между крупными зернами, обеспечивая наиболее плотную упаковку частиц, а более крупные зерна создадут пористую шероховатую структуру затвердевшего раствора, обеспечив повышение адгезионных и теплоизоляционных свойств. «Идеальная гранулометрическая кривая» пористой добавки ССК, приведенная на рис. 1, была построена с помощью уравнения Фуллера, отражающего зависимость между полным остатком  $A_i$  на сите с размером ячеек  $d_i$  и наибольшим размером зерна в смеси  $D_{\max}$  [15]:

$$A_i = \sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}}. \quad (1)$$

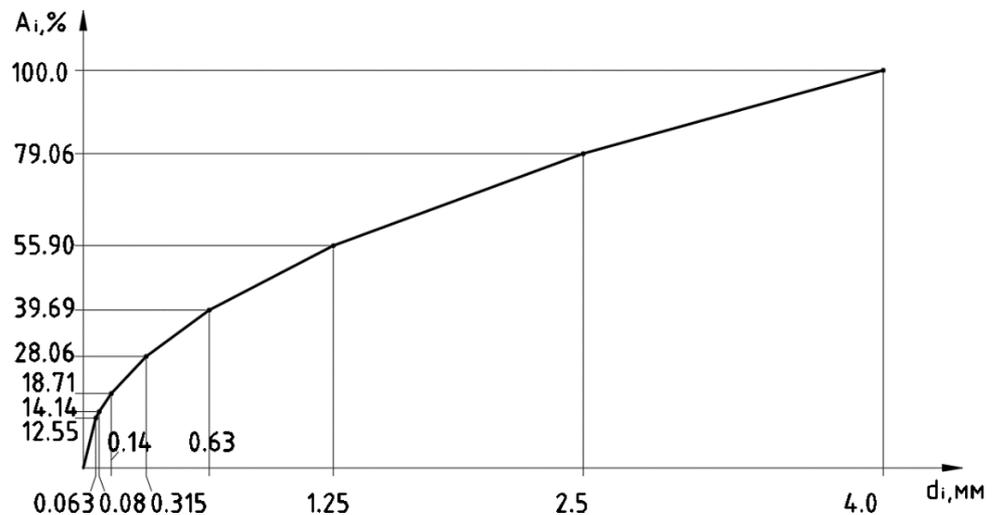


Рис. 1. Гранулометрическая кривая просеивания ССК

Свойства гипсового вяжущего с добавкой ССК определялись по ГОСТ 23789–2018. Прочность при сжатии затвердевшего гипсового вяжущего определялась в 28-суточном возрасте после высушивания образцов до постоянной массы. Коэффициент размягчения гипсового вяжущего был определен согласно методике ТУ 21-0284757–90.

Определение основных свойств сухих строительных смесей производилось по ГОСТ 58276–2018 и ГОСТ 5802–86. Коэффициент теплопроводности затвердевшего гипсового раствора определялся при стационарном тепловом режиме согласно ГОСТ 7076–99. Свойства полученных гипсовых смесей оценивались по ГОСТ 58279–2018.

#### Анализ результатов исследования

На рис. 2–4 представлены графические зависимости результатов испытаний по определению свойств гипсового вяжущего с добавкой ССК в количествах 5, 10 и 15 % от массы вяжущего.

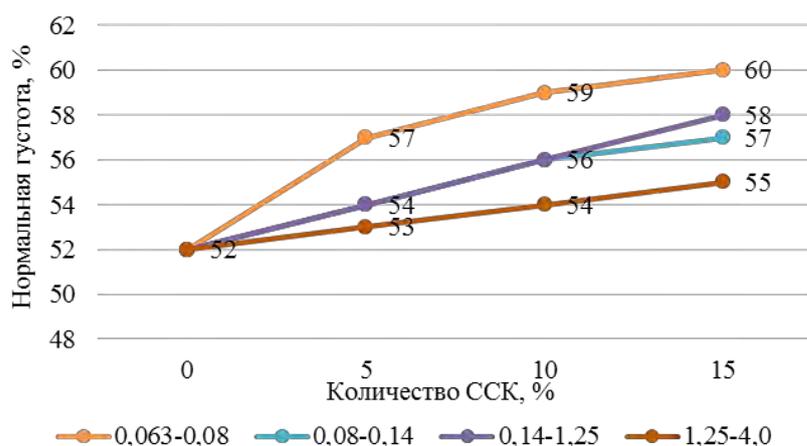


Рис. 2. График зависимости изменения нормальной плотности гипсового теста от количества вводимой добавки ССК

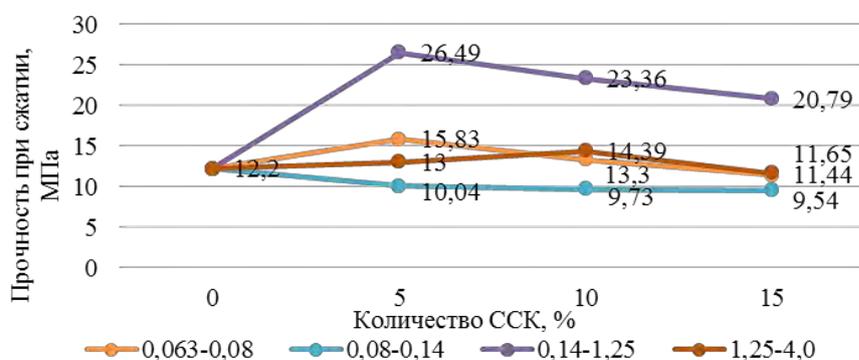


Рис. 3. График зависимости изменения прочности при сжатии камня строительного гипса от количества вводимой добавки ССК

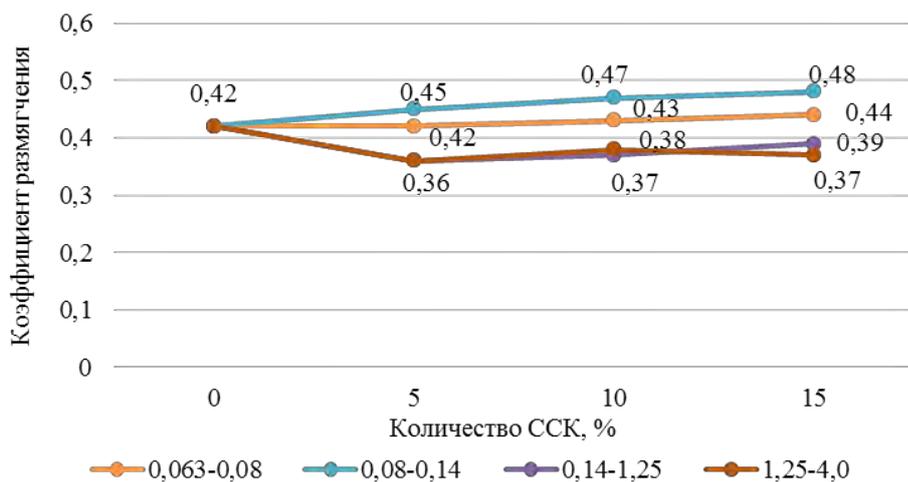


Рис. 4. График зависимости изменения коэффициента размягчения камня строительного гипса от количества вводимой добавки ССК

Анализ данных рис. 2 показывает, что нормальная плотность гипсового теста возрастает по мере увеличения количества вводимой в его состав добавки ССК и размера фракции. Подобная динамика объясняется пористым строением добавки, которое способствует повышению водопотребности вяжущего.

Прочность при сжатии камня строительного гипса при введении добавки ССК в целом повышается (рис. 3). Максимальный прирост прочности получил состав, содержащий ССК в количестве 5–15 % фр. 0,14–1,25 мм. Присутствие в гипсовом вяжущем ССК фракции 0,08–0,14 мм в количестве 5 % приводит к снижению прочности образцов с 12,20 до 9,54 МПа. Также было выявлено, что увеличение количества добавки ССК в составе строительного гипса каждой фракции до 15 % приводит к снижению прочностных характеристик гипсового камня в среднем на 18 %. Подобная закономерность изменения прочности образцов объясняется эффектом стерического стеснения, возникающего в результате препятствия большому объему частиц заполнителя (наполнителя) образовывать прочный каркас совместно с частицами вяжущего [16].

Присутствие добавки ССК смеси фракций 0,063–0,14 мм в составе строительного гипса способствует повышению его коэффициента размягчения с 0,42 до 0,48 (рис. 4). Однако дальнейшее повышение размера фракции ССК до 4,0 мм оказывает отрицательное воздействие на значение коэффициента размягчения, снижая его в среднем на 11 %.

Характеристики свойств полученной сухой, растворной и затвердевшей гипсовой смеси с содержанием ССК фр. 0,06–34,0 мм в количестве 30, 40 и 50 % от массы вяжущего представлены в таблице.

#### Характеристика свойств сухой гипсовой смеси с добавкой ССК

Показатели качества	Количество ССК в смеси, %				Требования ГОСТ 58279–2018
	0	30	40	50	
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	876	866	830	768	–
Начало схватывания, мин	9	5	5,5	6	Не менее 30
Водоудерживающая способность, %	93,46	95,707	93,95	85,035	Не менее 95
Прочность сцепления с основанием (кирпич керамический), МПа	0,302	0,44	0,69	0,13	Не менее 0,3
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,303	0,279	0,218	0,209	–
Водопоглощение, %	13	16	18	20	–
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	4,98	4,45	4,37	3,71	Не менее 1,0
Предел прочности при сжатии, МПа	16,76	15,85	11,82	9,27	Не менее 2,0
Коэффициент конструктивного качества	11,23	13,47	11,07	9,21	–

По данным таблицы можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение содержания ССК в составе смеси до 50 % приводит к снижению ее насыпной плотности с 876 до 768 кг/м<sup>3</sup>.

2. Начало схватывания всех составов гипсовой смеси с добавкой ССК наступает не позднее 6 мин с момента затворения водой, а увеличение ССК до 50 % приводит к существенному уменьшению водоудерживающей способности смеси до 85 %, что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 58279–2018. Из полученных результатов следует, что в состав сухой смеси необходимо вводить замедлители схватывания и водоудерживающие добавки.

3. Прочность сцепления с керамическим кирпичом у составов с 30 и 40 % содержания ССК удовлетворяет требованиям ГОСТ 58279–2018 и находится в интервале 0,44–0,69 МПа. Повышение содержания ССК до 50 % значительно снижает прочность сцепления с основанием гипсовой смеси до 0,13 МПа. Подобное явление при равной величине водопотребности смеси ( $HГ = 36$ ) можно объяснить присутствием в смеси ССК достаточно большого количества крупной фракции 2,5–4,0 мм, которое значительно затрудняет сцепление гипсовой смеси с керамическим кирпичом. Снижение содержания ССК в смеси уменьшает и количество крупной фракции, что улучшает сцепляемость смеси с основанием.

4. Повышение содержания ССК в составе смеси с 30 до 50 % обеспечивает снижение теплопроводности затвердевшего гипсового раствора с 0,279 до 0,209 Вт/(м·°С). Подобная динамика изменения величины теплопроводности объясняется высокопористой структурой ССК и свидетельствует об улучшении теплоизоляционных свойств гипсовой смеси.

5. Присутствие добавки ССК в составе смеси способствует повышению величины водопоглощения затвердевшего гипсового раствора с 13 до 20 %, что обусловлено накоплением влаги в открытых порах ССК.

6. По мере увеличения содержания ССК в составе смеси до 50 % предел прочности на растяжение при изгибе и сжатии, а также коэффициент конструктивного качества затвердевшего раствора уменьшаются. Максимальный коэффициент конструктивного качества (13,47) при обеспечении прочности при сжатии 15,85 МПа показал состав, в котором количество ССК составляет 30 % от массы гипсового вяжущего. В целом прочностные показатели полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым ГОСТ 58279–2018.

### **Заключение**

Результаты исследования показали, что путем введения стеклосодержащей добавки возможно повысить водостойкость гипсового вяжущего и улучшить прочностные характеристики камня строительного гипса. Наибольший прирост прочности обеспечивает введение фр. 0,14–1,25 мм в количестве 5–15 % по массе, а наилучшие результаты по повышению водостойкости гипсового вяжущего достигаются за счет введения фр. 0,063–0,14 мм, содержание которых также составляет 5–15 % по массе. Таким образом, существуют определенные предпосылки по объединению используемых фракций ССК для разработки составов сухих гипсовых теплоизоляционных смесей.

По результатам определения свойств сухих, растворных и затвердевших гипсовых смесей можно заключить, что эффективными с точки зрения сочетания физико-механических и теплоизоляционных свойств являются составы с содержанием ССК в количестве 30 и 40 % от массы вяжущего. Однако необходима модификация данных составов путем введения различных замедлителей схватывания, водоудерживающих и пластифицирующих добавок.

В целом данное исследование показало эффективность применения стеклосодержащего компонента для разработки составов сухих строительных гипсовых смесей теплоизоляционного назначения, что является предметом дальнейших исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самигов Н.А., Атакузиев Т.А., Асаматдинов М.О., Ахунджанова С.М. Физико-химическая структура и свойства водостойких и высокопрочных композиционных гипсовых материалов // *Universum: технические науки*. 2015. № 10 (21). С. 4.
2. Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Повышение водостойкости материалов на основе строительного гипса введением комплексной добавки с применением промышленных отходов // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2013. № 71. С. 214–217.
3. Pedreño-Rojas M.A., Morales-Conde M.J. et al. Influence of polycarbonate waste on gypsum composites: Mechanical and environmental study // *Journal of Cleaner Production*. 2019. May. V. 218. P. 21–37.
4. Hroudova J., Sedlmajer M. et al. Laboratory Testing of Developed Thermal Insulation Plasters on Pillars Built from Masonry Bricks // *Procedia Engineering*. 2017. V. 172. P. 377–384.
5. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Сухие строительные смеси на основе композиционных гипсовых вяжущих // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 1 (31). С. 153–159.
6. Ayse Bicer, Filiz Kar. Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2017. March. V. 1. P. 59–65.
7. Сопегин Г.В., Рустамова Д.Ч., Федосеев С.М. Анализ существующих технологических решений производства пеностекла // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 12. С. 1584–1609.
8. Шаленный В.Т., Смирнов Л.Н., Древетняк О.И. Повышение эффективности и конкурентоспособности применения пеностекла в штукатурных теплоизоляционных системах // *Кровельные и теплоизоляционные материалы*. 2018. № 3. С. 14–19.
9. Карпенко М.А., Тихомирова И.Н. Оптимизация составов теплоизоляционного материала на основе гранулированного пеностекла // *Успехи в химии и химической технологии*. 2018. Т. 32. № 2 (198). С. 86–88.
10. Bumanisa G., Bajarea D. et al. Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of lightweight concrete // *Construction and Building Materials*. 2013. October. V. 47. P. 274–281.
11. Сопегин Г.В., Семейных Н.С. Исследование влияния комплексной добавки на течение щелочно-силикатной реакции в легких бетонах на основе гранулированного пеностекла // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2018. № 3 (31). С. 68–78.
12. Elisa Fenoglio, Stefano Fantucci et al. Hygrothermal and environmental performance of a perlite-based insulating plaster for the energy retrofit of buildings // *Energy and Buildings*. 2018. November V. 179. P. 26–38.
13. Беседин И.А. Новые теплоизоляционные материалы. Теплоизоляционная штукатурка «УМКА.ру» // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2011. № 7 (150). С. 16–17.
14. Власова Е.Н., Овчинникова М.С. Анализ развития рынка сухих строительных смесей // *Наука молодых – будущее России : сб. научных статей 4-й Международной конференции перспективных разработок молодых ученых*. 2019. С. 61–64.

15. Корнеев В.И., Зозуля П.В., Медведева И.Н., Богоявленская Г.А., Нуждина Н.И. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям. Санкт-Петербург : РИА «Квинтет», 2010. 318 с.
16. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Строительный гипс с добавками керамзитовой пыли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2 (20). С. 166–171.

#### REFERENCES

1. Samigov N.A., Atakuziev T.A., Asamatdinov M.O., Akhundzhanova S.M. Fiziko-khimicheskaya struktura i svoystva vodostoikikh i vysokoprochnykh kompozitsionnykh gipsovykh materialov [Physical and chemical structure and characteristics of water-resistant and high-strength composite gypsum binders]. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2015. No. 10 (21). Pp. 4. (rus)
2. Khaliullin M.I., Gaifullin A.R. Povyshenie vodostoikosti materialov na osnove stroitel'nogo gipsa vvedeniem kompleksnoi dobavki s primeneniem promyshlennykh otkhodov [Improving water resistance of gypsum-based materials by introducing industrial waste-based complex additive]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniia*. 2013. No. 71. Pp. 214–217. (rus)
3. Pedreño-Rojas M.A., Morales-Conde M.J., et al. Influence of polycarbonate waste on gypsum composites: Mechanical and environmental study. *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 218. Pp. 21–37.
4. Hroudova J., Sedlmajer M., et al. Laboratory testing of developed thermal insulation plasters on pillars built from masonry bricks. *Procedia Engineering*. 2017. V. 172. Pp. 377–384.
5. Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z., Gaifullin A.R. Sukhie stroitel'nye smesi na osnove kompozitsionnykh gipsovykh viazhushchikh [Dry mixes based on composite gypsum binders]. *Izvestiia Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015. No. 1 (31). Pp. 153–159. (rus)
6. Ayse Bicer, Filiz Kar. Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2017. V. 1. Pp. 59–65.
7. Sopegin G.V., Rustamova D.Ch., Fedoseev S.M. Analiz sushchestvuiushchikh tekhnologicheskikh reshenii proizvodstva penostekla [Analysis of existing technological solutions of foam glass production]. *Vestnik MGSU*. 2019. No. 12. Pp. 1584–1609. (rus)
8. Shalennyi V.T., Smirnov L.N., Drevetniak O.I. Povyshenie effektivnosti i konkurentosposobnosti primeneniia penostekla v shtukaturnykh teploizoliatsionnykh sistemakh [Improving the efficiency and competitiveness of foam glass use in plaster insulation systems]. *Krovel'nye i teploizoliatsionnye materialy*. 2018. No. 3. Pp. 14–19. (rus)
9. Karpenko M.A., Tikhomirova I.N. Optimizatsiia sostavov teploizoliatsionnogo materiala na osnove granulirovannogo penostekla [Optimization of compositions of heat-insulating material based on granulated foam glass]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2018. No. 2(198). Pp. 86–88. (rus)
10. Bumanisa G., Bajarea D., et al. Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. V. 47. Pp. 274–281.
11. Sopegin G.V., Semeinykh N.S. Issledovanie vliianiia kompleksnoi dobavki na techenie shchelochno-silikatnoi reaktsii v legkikh betonakh na osnove granulirovannogo penostekla [The influence of complex additive on alkali-silica reaction in lightweight concrete based on granulated foam glass]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiya. Urbanistika*. 2018. No. 3 (31). Pp. 68–78. (rus)
12. Elisa Fenoglio, Stefano Fantucci, et al. Hygrothermal and environmental performance of a perlite-based insulating plaster for the energy retrofit of buildings. *Energy and Buildings*. 2018. V. 179. Pp. 26–38.
13. Besedin I.A. Novye teploizoliatsionnye materialy. Teploizoliatsionnaia shtukaturka «UMKA.ru» [New thermal insulation materials. Thermal insulating plaster "UMKA.ru"]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2011. No. 7 (150). Pp. 16–17. (rus)
14. Vlasova E.N., Ovchinnikova M.S. Analiz razvitiia rynka sukhikh stroitel'nykh smesei [Analysis of the development of the market of dry building mixes]. In: *Nauka molodykh – budushchee*

- Rossii. Sbornik nauchnykh statei 4-i Mezhdunarodnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh (*Int. Sci. Forum 'Science of the Future – Science of Youth'*). 2019. Pp. 61–64. (rus)
15. *Korneev V.I., Zozulia P.V., Medvedeva I.N., Bogoiavlenskaia G.A., Nuzhdina N.I.* Retsepturnyi spravochnik po sukhim stroitel'nym smesiam [Prescription guide for dry building mixes]. Saint-Petersburg: Kvintet, 2010. 318 p. (rus)
  16. *Gaifullin A.R., Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z.* Stroitel'nyi gips s dobavkami keramzitovoi pyli [Gypsum building plaster with expanded clay additives]. *Izvestiia Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No.2 (20). Pp. 166–171. (rus)

#### **Сведения об авторах**

*Сопегин Георгий Владимирович*, аспирант, ассистент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, sp.georg@yahoo.com

*Семейных Наталья Сергеевна*, канд. техн. наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, semeyn@mail.ru

*Рустамова Диана Чингизовна*, магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, diana.rustamova81@gmail.com

#### **Authors Details**

*Georgii V. Sopenin*, Research Assistant, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, sp.georg@yahoo.com

*Natal'ya S. Semeynykh*, PhD, A/Professor, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, semeyn@mail.ru

*Diana Ch. Rustamova*, Undergraduate, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, diana.rustamova81@gmail.com