

---

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

---

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Известия вузов. Строительство. 2022. № 5. С. 57–66.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (5): 57–66.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.55:666.911.5

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-57-66

### ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ФАСАДНЫХ ШТУКАТУРОК НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО

Алексей Дмитриевич Жуков<sup>1, 3</sup>, Иван Иванович Попов<sup>2</sup>,  
Борис Александрович Ефимов<sup>1</sup>, Бекеле Арега Демиссе<sup>1</sup>,  
Владимир Владимирович Белканов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва, Россия

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы, связанные с исследованием возможного использования композиционного вяжущего на основе вулканического туфа скория в рецептурах фасадных штукатурных смесей. В исследованиях реализованы две задачи: изучение возможности применения вулканических туфов и, в частности, туфа скория в качестве активного компонента минеральных вяжущих на основе портландцемента, а также разработка методики подбора состава фасадной штукатурной смеси с композиционным вяжущим. В основу исследования была положена гипотеза о том, что изменение активности композиционного вяжущего на основе портландцемента и туфа скория в интервале от 30 до 40 МПа незначительно влияет на прочностные характеристики фасадной штукатурки. Базовый и экспресс-методы показали, что туф скория относится к группе добавок, обладающих средней пуццолановой активностью, и может использоваться в составе минеральных вяжущих гидравлического твердения. Методика подбора состава, разработанная по результатам активного эксперимента, основанного на математическом планировании, позволяет решать как прямую задачу, ориентированную на подбор состава штукатурки, так и обратную, позволяющую прогнозировать свойства штукатурного покрытия.

**Ключевые слова:** штукатурные составы, цемент, туф скория, пуццолановая активность, математический анализ, активный эксперимент

**Благодарности:** исследования проводились в лабораториях Московского инженерно-строительного университета (НИУ МГСУ) и НИИ строительной физики (НИИСФ РААСН). Часть исследований, изложенных в данной работе, проведена с использованием оборудования Центра коллективного пользования (ЦКП) имени

проф. Ю.М. Борисова ВГТУ, получившего поддержку Министерства науки и высшего образования РФ, Соглашение № 075-15-2021-662.

**Для цитирования:** Жуков А.Д., Попов И.И., Ефимов Б.А., Демиссе Б.А., Белканов В.В. Оптимизация составов фасадных штукатурок на основе модифицированного вяжущего // Известия вузов. Строительство. 2022. № 5. С. 57–66. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-57-66

Original article

## OPTIMIZATION OF THE COMPOSITIONS OF FACADE PLASTERS BASED ON A MODIFIED BINDER

Alexey D. Zhukov<sup>1, 3</sup>, Ivan I. Popov<sup>2</sup>, Boris A. Efimov<sup>1</sup>, Bekele A. Demissie<sup>1</sup>,  
Vladimir V. Belkanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

<sup>3</sup>Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** The article considers the issues related to the study of the possible use of a composite binder based on scoria tuff in the formulations of facade plaster mixtures. The studies implemented two tasks, studying the possibility of using volcanic tuffs and, in particular, scoria tuff as an active component of mineral binders based on Portland cement, as well as developing the methodology for selecting the composition of a facade plaster mixture based on a composite binder. The study was developed on the hypothesis that a change in the activity of a composite binder based on Portland cement and scoria tuff in the range from 30 to 40 MPa slightly affects the strength characteristics of facade plaster. The basic and express methods have shown that scoria tuff belongs to the group of additives with medium pozzolanic activity and can be used as a part of hydraulically hardened mineral binders. Being developed on the basis of the results of an active experiment based on mathematical planning, the method of selecting the composition allows solving both the direct problem, focused on the selection of the composition of the plaster, and the reverse one, which allows predicting the properties of the plaster coating.

**Keywords:** plaster compositions, cement, scoria tuff, pozzolanic activity, mathematical analysis, active experiment

**Acknowledgments:** the research was carried out in the laboratories of the Moscow Engineering University of Civil Engineering and the Research Institute of Building Physics (NIISF RAASN). A part of the research presented in this paper was carried out using the equipment of the Central Collective Use Center named after prof. Yu.M. Borisov of VSTU, supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 075-15-2021-662.

**For citation:** Zhukov A.D., Popov I.I., Efimov B.A., Demissie B.A., Belkanov V.V. Optimization of the compositions of facade plasters based on a modified binder. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (5): 57–66. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-57-66.

**1. Введение.** В практике отделочных работ широкое применение имеют штукатурные растворы на основе сухих строительных смесей. Несмотря на большое разнообразие материалов для фасадных штукатурных работ самыми популярными являются смеси на базе портландцемента [1–3]. Это обусловлено: устойчивостью штукатурных покрытий к колебаниям температур и влажности, что позволяет использовать их в более экстремальных условиях; по-

вышенной прочностью в сравнении с штукатурными растворами на основе извести или модифицированных гипсовых вяжущих; высокой степенью адгезии с каменными и бетонными основаниями; технологичностью при выравнивании поверхностей с крупными дефектами [4–6].

Большое внимание уделяется обеспечению высокого качества штукатурных покрытий, так как качество отделочного материала влияет на внешний вид, состояние и долговечность ограждающей конструкции. Недостаточные эксплуатационные свойства штукатурных составов (прочность, водостойкость, теплопроводность и т.д.) ограничивают их широкое использование в строительстве [7–9].

Улучшение эксплуатационных качеств фасадных штукатурок достигается путем введения в состав модифицирующих компонентов. На данный момент известно множество модифицирующих добавок с различными свойствами. В зависимости от того, какой параметр необходимо отрегулировать, используются соответствующие добавки. Отметим, что многие отечественные производители применяли зарубежные модифицирующие добавки [10–12].

Значительная доля рынка сухих строительных смесей принадлежала иностранным компаниям (или их «российским дочкам») и предприятиям со смешанным капиталом. При создавшейся в стране экономической ситуации, обусловленной международными рестрикциями как в финансовой, так и в технологической сферах, особенно важна ориентация на отечественные технологии и отечественные сырьевые компоненты, в том числе и модифицирующие добавки, а также на гидравлические вяжущие с оптимизированными характеристиками [13–15].

Необходимо изучение возможности применения в составе штукатурных смесей горных пород, обладающих пусть не стабильной, но пуццолановой активностью, к которым относится туф скория [16, 17]. Развитие производства аналогов сухих строительных смесей на основе отечественных (местных) материалов положительно скажется на внутренней и внешней экономике страны. Поэтому данная сфера является развивающейся и высокоперспективной для Российской Федерации.

Также становится перспективной адаптация современных методов исследований к изучению свойств и технологий строительных материалов с применением цифровых методик. Подобный подход реализуется в методе аналитической оптимизации рецептур и технологических процессов, разработанной НИУ МГСУ.

**2. Материалы и методы исследования.** Рассматривалась гипотеза о том, что изменение активности портландцемента в интервале от 30 до 40 МПа незначительно влияет на прочностные характеристики фасадной штукатурки. Это объясняется влиянием гранулометрии наполнителя и присутствием модифицирующих добавок.

В экспериментах использовалось композиционное вяжущее на основе портландцемента и вулканического туфа скория. Расход последнего в структуре вяжущего составлял 20–30 % от расхода портландцемента. Эксперимент был ориентирован на решение двух задач: оценки активности туфа скория и модифицированного вяжущего на основе его и портландцемента, а также разработки методики подбора состава фасадной сухой смеси.

В эксперименте для решения первой задачи (базовый метод) осуществлялась оценка пуццолановой активности туфа скория. Количество СаО, поглощенное 1 г добавки от начала опыта, рассчитывалось нарастающим итогом каждые 2 дня, а общая величина активности устанавливалась по суммарному количеству СаО, поглощенного за 30 сут испытаний.

Для реализации второй задачи определялась прочностная зависимость штукатурной смеси от ее состава и проводилось исследование в виде трехфакторного эксперимента на основе матрицы D-оптимального плана.

Оптимизация полученного полинома выполнялась аналитическим методом, разработанным в НИУ МГСУ и продолжающим развитие методов исследования экстремумов функций нескольких переменных [18–20]. При использовании этого метода исходят из двух положений. Первое заключается в том, что полученная модель адекватно описывает реальный процесс на установленных условиях эксперимента областях определения факторов. Второе положение состоит в том, что функция отклика не имеет разрывов в этих областях определения.

В таблице в качестве факторов варьирования приведены: активность (марка по прочности) портландцемента –  $A_{II}$  (МПа), количество пластифицирующей добавки –  $P$  (кг/м<sup>3</sup>), расход адгезионной добавки-модификатора –  $A$  (кг/м<sup>3</sup>).

**3. Результаты и обсуждения.** Установлено, что для оценки активности комплексной минеральной добавки оптимальны экспресс-метод и метод поглощения добавкой извести из известкового раствора. Выявлено, что тонкомолотый туф скория поглощает за 30 сут до 330–332 мг/г, а в зависимости от содержания модификатора поглощение комплексной минеральной добавкой увеличивается до 341–343 мг/г. Проведенный эксперимент показал, что в интервале температур 20–40 °С изменения по поглощению СаО незначительны и вполне укладываются в интервал, установленный для туфа скория и комплексной минеральной добавки. Повышение температуры практически не влияет на общее поглощение СаО из раствора, но ускоряет скорость химических реакций.

Базовый и экспресс-методы показали, что туф скория, как и минеральная композиционная добавка на его основе, содержащая золу кофейной шелухи, относится к группе добавок, обладающих средней пуццолановой активностью, и может использоваться в составе минеральных вяжущих гидравлического твердения.

### Условия проведения эксперимента

#### Conditions of the experiment

Наименование фактора	Символ $x_i$	Среднее значение фактора $\bar{x}_i$	Интервал варьирования $\Delta x_i$	Значения фактора на уровнях	
				-1	+1
Активность вяжущего, МПа	$x_1$	36	6	42	30
Количество пластификатора, кг/м <sup>3</sup>	$x_2$	1,0	0,6	1,4	0,6
Количество адгезионной добавки-модификатора, кг/м <sup>3</sup>	$x_3$	10	4	14	6

По результатам активного эксперимента и проверки значимости коэффициентов при доверительном интервале 0,6 было получено следующее уравнение регрессии только со значимыми коэффициентами:

$$y = 31,11 + 3,08x_1 + 4,75x_2 + 3,92x_3 - 0,41(x_1)^2 - 2,88(x_2)^2 + 1,93x_1x_3. \quad (1)$$

Анализ коэффициентов математической модели (1) позволяет сделать ряд заключений. Наибольшее влияние на результат (прочность при сжатии) оказывает содержание пластификатора (коэффициент 4,75 при  $x_2$ ). Но это влияние неоднозначно. При расходах пластификатора, превышающих оптимальное значение, прочность имеет тенденцию к снижению (коэффициент  $-2,88$  при  $x_2^2$ ). Это может быть объяснено изменением реологических характеристик смеси, а также блокированием компонентов гидравлического вяжущего полимерным пластификатором. Оптимальный расход пластификатора будет установлен далее в результате аналитической оптимизации.

Влияние активности минерального вяжущего и расхода адгезионной добавки на прочность значимо, но проявляется в меньшей степени (коэффициенты при  $x_1$  и  $x_3$ , равные соответственно 3,08 и 3,92). Установленный факт подтверждает выдвинутое в гипотезе исследований предположение о том, что активность портландцемента (ее изменение в интервале от 30 до 40 МПа) незначительно влияет на свойства интерьерной штукатурки.

Заслуживает внимания факт совместного влияния активности портландцемента и расхода адгезионной добавки-модификатора на прочность (коэффициент 1,93 при парном взаимодействии  $x_1x_3$ ). Это дает возможность предполагать наличие специальных эффектов усиления, но требует проведения дополнительных исследований.

Рассматривая математическую модель (1) как функцию трех переменных, т.е. как математический полином, можно применить к этой функции правила математического анализа и определить локальные экстремумы ее по отдельным факторам методом частных производных. В данном случае математически оправданным является определение экстремума по расходу пластификатора ( $x_2$ ):

$$\partial y / \partial x_2 = 4,75 - 5,76x_2 = 0 \rightarrow x_2 = 4,75 / 5,76 = 0,82.$$

Вычислим натуральное значение фактора  $x_2$  (количество пластификатора):

$$x_2 = 1,0 + 0,3 \times 0,82 = 1,24 - 1,25 \text{ кг/м}^3.$$

Оптимизируем трехфакторную функцию отклика (математическую модель) при  $x_2 = 0,82$ . Получаем двухфакторную функцию отклика при оптимальном значении расхода пластификатора (равном в натуральном выражении  $1,24 - 1,25 \text{ кг/м}^3$ ):

$$y = 33,56 + 3,08x_1 + 3,92x_3 + 1,93x_1x_3. \quad (2)$$

Графическая интерпретация зависимости (2) представлена на рис. 1. Методика подбора состава сухой строительной смеси реализуется на ее основе. Номограмма выбора расхода адгезионной добавки модификатора в зависимости от требуемой прочности штукатурного покрытия и активности вяжущего при оптимальном расходе пластификатора  $1,24 - 1,25 \text{ кг/м}^3$  показана на рис. 2.

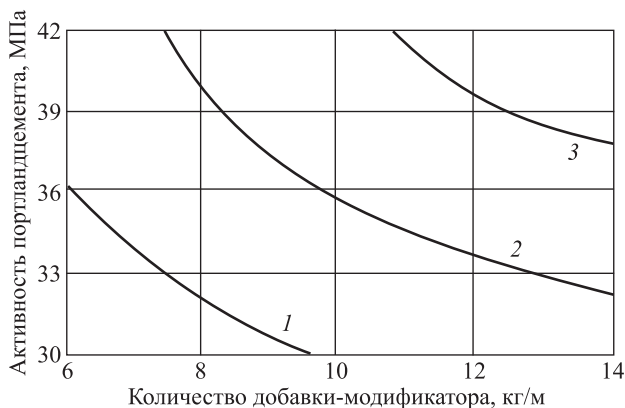


Рис. 1. Зависимость прочности интерьерной штукатурной смеси от расхода модифицирующей добавки и активности вяжущего при оптимальном расходе пластификатора 1,24–1,25 кг/м<sup>3</sup>. Прочность штукатурной смеси, МПа: 30 (1); 34 (2); 38 (3)

Fig. 1. The dependence of the strength of the interior plaster mixture on the consumption of the modifying additive and the activity of the binder at the optimal consumption of the plasticizer 1,24–1,25 kg/m<sup>3</sup>. The strength of the plaster mixture, MPa: 30(1); 34(2); 38(3)

Последовательность определения расхода адгезионной добавки следующая. Задают активность портландцемента, которая указывается в сопроводительных документах как марка (т.е. марочная прочность) или ее корректируют в процессе предварительных испытаний (реальная прочность). Допустим, она равна 40 МПа (рис. 2, точка *a*).

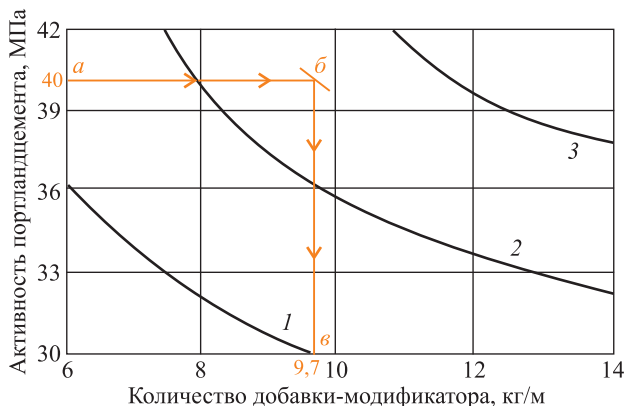


Рис. 2. Выбор расхода адгезионной добавки модификатора в зависимости от требуемой прочности штукатурного покрытия и активности вяжущего при оптимальном расходе пластификатора 1,24–1,25 кг/м<sup>3</sup>. Прочность штукатурной смеси, МПа: 30 (1); 34 (2); 38 (3)

Fig. 2. The choice of the consumption of the adhesive additive modifier depending on the required strength of the plaster coatings and binder activity at an optimal plasticizer consumption of the 1,24–1,25 kg/m<sup>3</sup>. The strength of the plaster mixture, MPa: 30 (1); 34 (2); 38 (3)



Принимают требуемую прочность штукатурного покрытия, например, 36 МПа. Из точки *a* проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой прочности 36 МПа и получают точку *b*. Из нее параллельно оси ординат проходит линия до точки *v*, характеризующей расход добавки-модификатора. Расход модификатора равен 9,7 кг/м<sup>3</sup>.

На основании эксперимента, статистической обработки установлено, что для получения штукатурного покрытия с прочностью 36 МПа, при активности вяжущего 40 МПа необходим расход пластификатора 1,24–1,25 кг/м<sup>3</sup>, а также расход адгезионной добавки-модификатора 9,7 кг/м<sup>3</sup>. Расчетные данные проверяют проведением контрольных замесов и корректируют их по результатам.

**4. Выводы.** Для оценки активности комплексной минеральной добавки оптимальными являются экспресс-метод и метод поглощения добавкой извести из известкового раствора. Определено, что тонкомолотый туф скория поглощает за 30 сут до 330–332 мг/г, а в зависимости от содержания золы кофейной шелухи поглощение комплексной минеральной добавкой увеличивается до 341–343 мг/г. Согласно проведенному эксперименту, в интервале температур 20–40 °С изменения по поглощению СаО незначительны и вполне укладываются в интервал, установленный для туфа скория и комплексной минеральной добавки. Повышение температуры практически не влияет на общее поглощение СаО из раствора, но ускоряет скорость химических реакций.

Базовый и экспресс-методы показали, что туф скория относится к группе добавок, обладающих средней пуццолановой активностью, и может использоваться в составе минеральных вяжущих гидравлического твердения.

Замена части клинкера туфом скория или комплексной минеральной добавкой позволит снизить энергоемкость гидравлического вяжущего по факту его производства, что положительно повлияет на экологические характеристики технологии и, в частности, на углеродный след и ESG-показатели производителя.

#### Список источников

1. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Горбунова Э.А. Исследование водостойкости гидрофобизированных пазогребневых гипсовых плит // Строит. материалы. 2021. № 6. С. 57–61.
2. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Шилов А.Н., Говряков И.С. Системы «теплых» фундаментов // Жил. стр-во. 2021. № 7. С. 30–36.
3. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Горбунова Э.А. Гипсосодержащие модифицированные материалы // Строит. материалы. 2021. № 8. С. 18–26.
4. Hoshino S., Yamada K., Hirao H. XRD/Rietvelo Analysis of Hidration and Strength and Development of Slag and Limestone blended Cement // Journal of Advanced Concrete Technology. 2006. Vol. 4, no. 3. P. 357–367.
5. Radlinski M., Olek Ja. Investigation into the synergistic effects in ternary cementitious systems containing portland cement, fly ash and silica fume // Cement & Concrete Composites. 2012. Vol. 34. P. 451–459.
6. Ву Ким Зуен, Баженова С.И., Танг Ван Лам. Влияние минеральных добавок, летучей золы, доменного шлака на механические свойства пенобетона // Стр-во и реконструкция. 2020. № 2. С. 25–34.

7. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего // Строит. материалы. 2013. № 1. С. 124–128.
8. Потапова Е.Н., Манушина А.С., Зырянов М.С., Урбанов А.В. Методы определения пуццолановой активности минеральных добавок // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2017. № 7-8. С. 29–33.
9. Строчкова В.В., Жерновский И.В., Максаков А.В. и др. Экспресс-метод определения активности кремнеземного сырья для получения гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Строит. материалы. 2013. № 1. С. 38–39.
10. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Bobrova E.Yu., Gorbunova E.A., Demissie B.A. Materials based on modified gypsum for facade systems // Nanotechnologies in Construction: a scientific online journal. 2021. Vol. 13. Issue 3. P. 144–149.
11. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р., Стоянов О.В. Влияние добавки в портландцемент прокаленной и молотой полиминеральной каолинитсодержащей глины на прочность цементного камня // Вестн. технолог. ун-та. 2015. Т. 18, № 5. С. 80–83.
12. Bessonov I.V., Ushakov A.Yu., Zhukov A.D., Vidiborenko V.G. Assessment of Light Concrete Frost Resistance // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079. P. 022078.
13. Tchamdjou W.H.J., Grigoletto S., Michel F., Courard L., Abidi M.L., Cherradi T. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar // Case Studies in Construction Materials. 2017. No. 7. P. 191–206.
14. Al-Swaidani A.M., Aliyan S.D. Effect of adding scoria as cement replacement on durability-related properties // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2015. Vol. 9. P. 241–254.
15. Hossain K.M.A. Blended cement and lightweight concrete using scoria: Mix design, strength, durability and heat insulation characteristics // International Journal of Physical Science. 2006. Vol. 1. P. 5–16.
16. Николаенко Е.А. Исследования пуццолановых портландцементов на основе эффузивных горных пород // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 1(6). С. 69–73.
17. Батт Ю.М., Тимашев В.В. Семинар по химической технологии строительных материалов. М.: Высш. шк., 1973. 504 р.
18. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A. Application of statistical methods for solving problems of building materials science // Nanotechnology in construction. 2020. Vol. 12, no. 6. P. 313–319.
19. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Popov I.I., Demissie B.A. System analysis of technological processes // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. No. 17(4). P. 73–82.
20. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Demissie B.A., Zinoveva E.A. Analytical optimization of the dispersion-reinforced fine-grained concrete composition // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. P. 012037.

## References

1. Bessonov I.V., Zhukov A.D., Gorbunova E.A. Study of the water resistance of hydrophobized tongue-and-groove gypsum boards. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2021; (6): 57–61. (In Russ.).
2. Bessonov I.V., Zhukov A.D., Shilov A.N., Govryakov I.S. Systems of “warm” foundations. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing Construction*. 2021; (7): 30–36. (In Russ.).
3. Bessonov I.V., Zhukov A.D., Gorbunova E.A. Gypsum-containing modified materials. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2021; (8): 18–26. (In Russ.).



4. Hoshino S., Yamada K., Hirao H. XRD/Rietvelo Analysis of Hidration and Strength and Development of Slag and Limestone blended Cement. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2006; 4(3): 357–367.
5. Radlinski M., Olek Ja. Investigation into the synergistic effects in ternary cementitious systems containing portland cement, fly ash and silica fume. *Cement & Concrete Composites*. 2012; 34: 451–459.
6. Vu Kim Zien, Bazhenova S.I., Tang Van Lam. Influence of mineral additives, fly ash, blast furnace slag on the mechanical properties of foam concrete. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and reconstruction*. 2020; (2): 25–34. (In Russ.).
7. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. Construction and mineral binders of the past, present and future. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2013; (1): 124–128. (In Russ.).
8. Potapova E.N., Manushina A.S., Zyryanov M.S., Urbanov A.V. Methods for determining the pozzolan activity of mineral additives. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka = Building Materials, Equipment and Technologies of the XXI century*. 2017; (7-8): 29–33. (In Russ.).
9. Strokova V.V., Zhernovskiy I.V., Maksakov A.V. et al. Express method for determining the activity of silica raw materials for the production of granular nanostructuring filler. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2013; (1): 38–39. (In Russ.).
10. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Bobrova E.Yu., Gorbunova E.A., Demissie B.A. Materials based on modified gypsum for facade systems. *Nanotechnologies in Construction: a scientific online journal*. 2021; 13(3): 144–149.
11. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gayfullin A.R., Stoyanov O.V. The effect of the addition of calcined and young polymineral kaolinite-containing clay to Portland cement on the strength of cement stone. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2015; 18(5): 80–83. (In Russ.).
12. Bessonov I.V., Ushakov A.Yu., Zhukov A.D., Vidiborenko V.G. Assessment of Light Concrete Frost Resistance. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1079: 022078.
13. Tchamdjou W.H.J., Grigoletto S., Michel F., Courard L., Abidi M.L., Cherradi T. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar. *Case Studies in Construction Materials*. 2017; (7): 191–206.
14. Al-Swaidani A.M., Aliyan S.D. Effect of adding scoria as cement replacement on durability-related properties. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2015; 9: 241–254.
15. Hossain K.M.A. Blended cement and lightweight concrete using scoria: Mix design, strength, durability and heat insulation characteristics. *International Journal of Physical Science*. 2006; 1: 5–16.
16. Nikolaenko E.A. Studies of pozzolan Portland cement based on effusive rocks. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = News of Universities. Investment. Construction. Real Estate*. 2014; (1(6)): 69–73. (In Russ.).
17. Butt Yu.M., Timashev V.V. Workshop on chemical technology of binding materials. Moscow: Higher School, 1973. 504 p. (In Russ.).
18. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Medvedev A.A., Demissie B.A. Application of statistical methods for solving problems of building materials science. *Nanotechnology in Construction*. 2020; 12(6): 313–319.
19. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Popov I.I., Demissie B.A. System analysis of technological processes. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021; (17(4)): 73–82.
20. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Demissie B.A., Zinoveva E.A. Analytical optimization of the dispersion-reinforced fine-grained concrete composition. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1083: 012037.

**Информация об авторах**

**А.Д. Жуков** – кандидат технических наук, доцент  
**И.И. Попов** – кандидат технических наук, 89042149140@mail.ru  
**Б.А. Ефимов** – кандидат технических наук, доцент  
**Б.А. Демиссе** – аспирант  
**В.В. Белканов** – студент

**Information about the authors**

**A.D. Zhukov** – PhD, Ass. Professor  
**I.I. Popov** – PhD, 89042149140@mail.ru  
**B.A. Efimov** – PhD, Ass. Professor  
**B.A. Demissie** – Post-graduate Student  
**V.V. Belkanov** – Student

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.03.2022  
Одобрена после рецензирования 22.04.2022  
Принята к публикации 29.04.2022

The article was submitted 23.03.2022  
Approved after reviewing 22.04.2022  
Accepted for publication 29.04.2022