

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691 31:666.97

DOI: 10.21822/2073-6185-2026-53-2-229-235



Оригинальная статья /Original article

**Многокомпонентные отделочные материалы с модифицированным
полимеркомпозитным вяжущим**

С.В. Соловьев, М.В. Яремчук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является создание современных эффективных отделочных материалов, обладающих высокими эксплуатационными, физическими, механическими, экологически безопасными свойствами. **Метод.** Применялись методы формирования прочности композиционных строительных материалов, имеющих многокомпонентную структуру. **Результат.** Введение полимерных добавок позволило повысить основные показатели прочности материала: прочность на изгиб увеличивается в 10-15 раз, а прочность на сжатие возрастает в 5-7 раз. **Вывод.** С внедрением высокоэффективных модифицирующих добавок обеспечена возможность увеличения долговечности материалов за счет целенаправленного изменения их внутренней структуры. Монтажные составы, произведенные с применением модифицированного полимер-карбонатного вяжущего, характеризуются высокой пластичностью и повышенной удобоукладываемостью. Адгезионные характеристики материала могут быть улучшены посредством внедрения полимерных компонентов, таких как карбоксиметилцеллюлоза.

Ключевые слова: органоминеральные компоненты, долговечные композиты, полимер-композит, модификатор, отделочные материалы.

Для цитирования: С.В. Соловьев, М.В. Яремчук. Многокомпонентные отделочные материалы с модифицированным полимеркомпозитным вяжущим. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(2):229-235. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-229-235

Multicomponent finishing materials with a modified polymer-composite binder

S.V. Solovyov, M.V. Yaremchuk

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study was to create modern, effective finishing materials with high performance, physical, mechanical, and environmentally friendly properties. **Method.** Methods for shaping the strength of composite building materials with a multicomponent structure were used. **Result.** The introduction of polymer additives improved the key strength parameters of the material: flexural strength increased by 10-15 times, and compressive strength increased by 5-7 times. **Conclusion.** The introduction of highly effective modifying additives increases the durability of materials by specifically altering their internal structure. Installation compounds produced using modified polymer carbonate binders are characterized by high plasticity and improved workability. The adhesion properties of the material can be improved by incorporating polymer components such as carboxymethyl cellulose.

Key words: organomineral components, durable composites, polymer composite, modifier, and finishing materials.

For citation: S.V. Solovyov, M.V. Yaremchuk. Multicomponent finishing materials with a modified polymer-composite binder. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(2):229-235. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-229-235

Введение. В ряде стран мира, таких как Германия, Финляндия, Швеция и Венгрия, сухие строительные смеси на протяжении многих лет успешно используются при проведении разнообразных строительных работ. За рубежом производство сухих смесей осуществляется на полностью автоматизированных заводах, мощность которых составляет 50–100 тысяч тонн продукции в год. В таких производствах применяют современное высокоэффективное оборудование, созданное с учетом новейших инженерных и технологических разработок.

В России развитие производства и использование сухих строительных смесей находится на начальной стадии и осуществляется нерегулярно, без системного подхода. Следует отметить, что в ряде случаев не принимаются во внимание ключевые экономические факторы, оказывающие существенное воздействие на процессы организации промышленного производства смесей различного назначения. В частности, зачастую игнорируются возможности рационального и экономически целесообразного использования отечественной сырьевой базы, что может привести к неэффективному управлению производственными мощностями и избыточным издержкам на закупку импортных материалов.

Кроме того, не производится комплексная оценка и количественный анализ актуальных потребностей внутреннего рынка, что затрудняет формирование сбалансированного ассортимента продукции и приводит к возникновению либо дефицита, либо профицита отдельных видов смесей. В результате формируется ситуация, при которой не реализуется потенциал повышения конкурентоспособности отечественных производителей и снижаются темпы инновационного развития отрасли в целом [1].

Технико-экономическая эффективность применения сухих строительных смесей в процессе возведения и ремонта жилых и общественных зданий и сооружений, а также в гражданском строительстве, подтверждена обширной практикой в сравнении с производственными растворами и бетонными смесями, приготовленными на централизованных промышленных предприятиях, таких как бетоносмесительные заводы и растворные узлы.

Сравнительный анализ эксплуатационных показателей свидетельствует о существенном снижении потребностей в трудозатратах, транспортных расходах, а также производственных издержках за счет оптимизации логистических процессов и минимизации необходимости использования специализированного оборудования. Благодаря возможности непосредственного приготовления необходимых смесей непосредственно на строительной площадке или вблизи объекта, достигается значительное сокращение временных затрат на доставку материалов. Дополнительно, применение сухих строительных смесей способствует сокращению влияния человеческого фактора, поскольку их состав пропорции компонентов стандартизированы и контролируются на стадии [2].

Постановка задачи. Создание современных эффективных отделочных материалов, обладающих поставленными эксплуатационными, физическими, механическими свойствами, а также экологически безопасных и экономически выгодных иницируются разработкой и усовершенствованием инновационных технологий, основанных на использовании современного оборудования и огромного разнообразия воздействий технологий на его структуру. Применение многокритериального анализа при проектировании составов всех возможных композиций со специальным назначением поможет решить множество сложных задач [3].

Штукатурные растворы представляют собой специфически структурированные строительные смеси, состоящие из вяжущего вещества, минерального заполнителя, а также комплекса целевых модифицирующих добавок, функциональное назначение которых заключается в дополнении, регулировании и улучшении эксплуатационных характеристик конечного материала. После нанесения на обрабатываемую поверхность данные смеси подвергаются технологическому процессу затвердевания, результатом которого является формирование прочной камневидной структуры, обладающей высокой адгезией к основанию и устойчивостью к воздействию внешних факторов.

В соответствии с показателями средней плотности в полностью высушенном состоянии, штукатурные растворы подразделяются на две основные группы: обычные (тяжелые) растворы, плотность которых превышает 1500 кг/м^3 ; легкие растворы, характеризующиеся значением данного параметра менее 1500 кг/м^3 . Применение тяжелых растворов по большей части характерно для наружных и внутренних отделочных работ, где требования к прочности, износостойкости и пониженной водопроницаемости являются приоритетными. Легкие растворные составы, напротив, используются преимущественно для теплоизоляционных или выравнивающих слоев, где сниженная плотность способствует уменьшению нагрузки на несущие конструкции и улучшает теплоизоляционные свойства оболочки здания.

Система классификации по параметру интенсивности схватывания различает два типа штукатурных составов: быстро схватывающиеся материалы, основным компонентом которых, как правило, выступают гипсовые вяжущие вещества с высоким уровнем реактивности, что обеспечивает сокращённое время твердения и целесообразно при срочном производстве отделочных работ; медленно схватывающиеся составы, основанные преимущественно на известковых связующих, отличающихся пролонгированным периодом набора прочности, что даёт возможность более тщательного выравнивания слоя и корректировки геометрии поверхности. Согласно количеству вяжущего вещества в составе, штукатурные растворы подразделяются на:

- жирные растворы, характеризующиеся повышенной концентрацией связывающей компоненты, что обеспечивает высокую пластичность, адгезию, однако может приводить к заметному усадочному процессу;
- тощие растворы, отличающиеся меньшим содержанием вяжущего, благодаря чему отличаются меньшей склонностью к появлению трещин, однако могут обладать пониженной прочностью и худшими рабочими характеристиками.

Понимание особенностей различий между данными группами, а также учет условий эксплуатации и требуемых характеристик поверхности позволяют обоснованно выбирать тип штукатурной смеси для решения конкретных строительных задач [4-6].

Песок, используемый в растворе, должен полностью соответствовать действующим государственным и отраслевым стандартам качества строительных материалов, предусматривающим определённые физико-механические, химические и фракционные характеристики. Помимо этого, особое внимание необходимо уделять тщательному подбору гранулометрического состава, характеризующегося однородностью и определённым распределением размеров частиц, что обеспечивает требуемые показатели прочности, плотности и работы растворов различных типов.

Согласно нормативам, оптимальный размер отдельных зерен песка должен находиться в диапазоне от 0,3 до 2,5 мм. Допускается присутствие мелких фракций размером до 0,3 мм, но их доля не должна превышать 30%. Количество пылевидных частиц размером до 0,15 мм ограничено 5%. При выполнении штукатурных работ раствор наносится поэтапно, в частности, в три слоя: обрызг, грунт и накрывка [7]. Для затирки бетонных поверхностей применяют растворы, изготовленные на основе известковых сухих смесей в пропорции 1:3 по массе (негашеная известь и песок). Если в составе сухой смеси присутствует негашеная известь, после смешивания с водой раствор необходимо выдержать в специальной емкости на протяжении 8–10 часов перед началом работ. Такая выдержка предотвращает появление на штукатурке дутиков и снижает риск осыпания штукатурного слоя [8].

Применение активных веществ, обладающих определённой интенсивностью, способствует созданию оптимальных условий для формирования в системе дополнительных факторов, которые улучшают физико-химические свойства композита [9].

В процессе производства сухих строительных смесей допустимо применение как природных, так и синтетических полимеров, выполняющих функцию связывающего компонента. В качестве связующих веществ применяются клеи животного происхождения,

такие как костный, мездровый, казеиновый, рыбий клей, а также желатин; растительные клеевые материалы, включая крахмал и муку; наряду с этим, используются синтетические клеи, представленные карбоксиметилцеллюлозой и метилцеллюлозой.

Костный клей представляет собой продукт, получаемый в результате переработки обезжиренных костей животных. Он производится в различных формах: в виде плиток, дроблёного материала, чешуек, а также гранул.

Мездровый клей изготавливается посредством переработки белковых отходов, получаемых на предприятиях кожевенной и кожсырьевой промышленности. В процессе производства проводится термическая обработка в водной среде мездры (подкожной соединительной ткани), а также сухожилий и обрезков свежих шкур животных. Полученный раствор подвергается дальнейшему выпариванию с последующей сушкой с целью получения конечного продукта.

Казеиновый клей, представленный в виде порошкообразной массы серого оттенка, представляет собой композицию, включающую казеин в сочетании с гидратом оксида кальция, разнообразными минеральными солями (в числе которых присутствуют фтористый натрий, кальцинированная сода, а также сульфат меди), а также с добавлением керосина. Технический казеин характеризуется формой зерен серовато-желтого цвета и производится посредством коагуляции белковых компонентов, содержащихся в коровьем молоке, за которой следуют процедуры промывания, химической обработки и сушки образующегося сгустка.

Рыбий клей получают посредством обработки плавательных пузырей представителей крупных видов осетровых и сомовых рыб, в результате чего формируется продукт в виде пластин различных конфигураций, обладающих характерным беловато-кремовым оттенком. Данный клейкий материал при растворении демонстрирует высокие адгезионные свойства.

Технический желатин представляет собой разновидность костного клея повышенного качества, выпускаемую в форме мелких пластин, зернистых структур, гранул либо порошкообразной массы. В процессе растворения данный материал способен формировать желеобразную консистенцию.

Крахмал, также известный как амилозо-аминопектиновый полимер (ААПП), представляет собой порошкообразное вещество белого цвета, в редких случаях обладающее сероватым либо желтоватым оттенком. Данный полисахарид характеризуется наличием примерно десяти разновидностей, обусловленных используемым растительным сырьём, включая картофельную, кукурузную, рисовую, пшеничную и другие формы [10-11].

Помимо главных технологических операций, производство сухой смеси включает в себя подготовительные этапы, такие как предварительная подготовка исходного сырья и его обработка [12].

Методы исследования. В процессе исследования с целью проведения комплексной оценки характеристик отделочных смесей были разработаны и апробированы ряд оригинальных методик, включающих определение времени жизнеспособности (ВЖ), установление предельной толщины растрескивания (ПТР) при процессе сушки, а также методику анализа адгезионной способности (СП). К числу используемых компонентов относятся сухая отделочная смесь, вода, а также лабораторные инструменты, включающие лабораторную лопатку, чашу и мерные емкости, технические весы и измерительную линейку. Осуществляется приготовление контрольной порции смеси требуемой рабочей вязкости в объёме 2 кг. Далее в данную емкость добавляется заранее установленный объём горячей воды. Полученная смесь подвергается тщательному перемешиванию до достижения однородной консистенции. Устанавливается рабочее значение вязкости смеси. Состав равномерно распределяется по горизонтальной поверхности с слоем толщиной 6–8 мм, после чего производится выравнивание смеси (рис. 1).

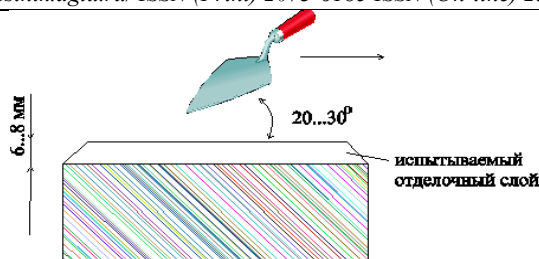


Рис. 1 – Методика установления времени сохранения работоспособности
Fig. 1 – Methodology for determining the retention time of working capacity

Предел растрескивания по толщине (ПТР) в условиях высыхания определяется как наименьшая толщина отделочного покрытия, при которой в процессе высыхания вследствие проявления усадочных деформаций возникают трещины. По истечении 1 суток процесса твердения при помощи линейки определяется высота слоя исследуемого образца в том сечении, в котором фиксируется наличие не менее двух трещин; указанное значение принимается в качестве показателя предельной толщины растрескивания (ПТР).

Способность к адгезии (СП) определяется как характеристика свежеприготовленного состава, заключающаяся в его умении прикрепляться к пористой подложке и сохранять закреплённое. В процессе производства сухих минеральных смесей, в качестве одного из компонентов модифицированного полимер-карбонатного вяжущего (МПКВ), использовался крахмал, который был изготовлен из картофельного сырья. В качестве карбонатного компонента применялся природный мел, обладающий значительными запасами на территории рассматриваемого региона и характеризующийся низкой стоимостью. В исследовании использовался мел тонкого помола марки ММ-1, который эксплуатируется в производственной деятельности АО «Стройматериалы».

В качестве заполнителя используются промышленные отходы, к которым относятся измельчённый кирпич, материалы типа «шифер», а также стекло. В качестве основного сырья для производства мраморной муки использовалась мраморная крошка.

Создание добавок возможно только с использованием воды, в которой отсутствовали вредные примеси и число солей минимально. Водопроводной воде соответствует рН, равный 7,12, дистиллированной воде соответствует рН равный 6,5. Карбонатная жесткость воды соответственно 5,5-5,6 Мгэкв/л. В качестве добавок использовались «Фаст-фикс», «Плимс-100», «Витонит», «Виннапс».

Алебастр (тонкодисперсный снежно-белый гипс) представляет собой осадочную горную породу, преимущественно формирующуюся в результате процессов выветривания, хотя возможен и гидротермальный генезис в отдельных случаях. Строительный гипс, также обозначаемый как алебастр, классифицируется как быстротвердеющее воздушное вяжущее вещество, производимое посредством термического обжига при температурном режиме 140–180°C, с последующим или предваряющим измельчением сырья.

Обсуждение результатов. В результате введения гипса в состав сухих смесей были зафиксированы следующие показатели при водоцементном отношении (В/Т) 0,5: предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) составил 4,15 МПа, а при изгибе ($R_{изг.}$) – 0,40 МПа. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что применение гипса способствовало увеличению продолжительности схватывания материала и повышению его прочностных характеристик.

Использование полимерных добавок позволило существенно повысить основные показатели прочности материала: прочность на изгиб увеличивается в 10-15 раз, а прочность на сжатие возрастает в 5-7 раз (табл. 1). Высушенные и измельчённые поливинилацетат (ПВА) функционируют в качестве минерального тонкодисперсного наполнителя, оказывающего влияние на снижение деформационных усадочных процессов, а также способствующего повышению водоудерживающих свойств материала и иных аналогичных характеристик [13-15].

Таблица.1 Показатели отделочных материалов с полимерными добавками
Table.1 Indicators of finishing materials with polymer additives

№	Содержание компонентов по массе, % Component content by weight, %	$\rho_{\text{ср.}}$, г/см ³	$R_{\text{изг.}}$, МПа	$R_{\text{сж.}}$, МПа	В/Т
1	Мел Chalk – 90,65; ААПП ААРР – 1,85; Древесное волокно Wood fiber – 7,5	1,39	1,11	3,09	0,49
2	Мел Chalk – 90,65; ААПП ААРР – 1,85; Сухой ПВА Dry PVA – 7,5	1,41	1,59	2,99	0,50
3	Мел Chalk – 90,65; ААПП ААРР – 1,85; Сухой латекс Dry latex – 7,5	1,39	1,41	2,82	0,53

Вывод. С внедрением высокоэффективных модифицирующих добавок была обеспечена возможность существенного увеличения долговечности материалов за счет целенаправленного изменения их внутренней структуры. Основные механизмы деградации влажных материалов включают воздействие гидравлического давления воды, осмотические процессы, действие расширяющего давления, возникающего в результате присутствия тонких водных пленок, а также ряд адсорбционных эффектов.

Монтажные составы, произведённые с применением модифицированного полимер-карбонатного вяжущего (МПКВ), характеризуются высокой пластичностью, а также повышенной удобоукладываемостью. Полимерные добавки, входящие в состав тонкослойных отделочных покрытий, обеспечивают ускоренные процессы высыхания и твердения сформированного слоя.

Адгезионные характеристики материала могут быть улучшены посредством внедрения полимерных компонентов, таких как карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). Представляется рациональным использование пластифицирующих добавок как органического, так и минерального происхождения.

Благодарности. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет-2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Acknowledgments. This work was carried out as part of the Priority 2030 federal university support program using equipment at the V.G. Shukhov BSTU High Technology Center.

Библиографический список:

1. Фролова, М.А. Критерий оценки энергетических свойств поверхности/М.А. Фролова, А.С. Тутыгин, А.М. Айзенштадт и др. // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2011. – № 2(4). – С. 120-125.
2. Иванченко, А. Г. Состояние мирового рынка продукции высокотехнологичных отраслей промышленности / А. Г. Иванченко, Д. С. Ушаков // Молодой ученый. — 2018. — № 17 (203). — С. 174-178.
3. Лорд, Э. Новая геометрия для новых материалов. / Э. Лорд, А.Л. Маккей, С. Ранганатан, Пер. с англ. Л.П. Мезенцевой под ред. В.Я. Шевченко, В.Е. Дмитриенко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 264 с
4. Горчаков Г.И. Строительные материалы. – М.: Высшая школа. 1981. – 412с.
5. Лебедев М.М. Справочник молодого штукатур – М.: Высшая школа, 1984. – 159с.
6. Марваси М., Матромей Г., Перито Б. Стратегия бактериальной минерализации карбонатом кальция in situ для сохранения произведений искусства из камня: от клеточных компонентов к микробному сообществу // Фронт. Микробиология. – 2020 – № 11 – с.1386. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01386.
7. Чжу Т., Дитрих М. Осаждение карбонатов в результате деятельности микроорганизмов в естественной среде и их потенциал в биотехнологии // Обзор: Биоэнжерина и Биотехнология. – 2016. – № 4, doi: 10.3389/fbioe.2016.00004.
8. Толстой А.Д., Крымова А.И. Применение синергетических принципов самоорганизации в теории твердения строительных композитов //Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2018, № 9, с.24-29.
9. С.А. Дергунов, С.А. Орехов/ Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) 2012.
10. Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Композиты каркасной структуры на смешанных вяжущих // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-2 (38). – С. 421-426.

11. Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Сироткина Л.В. Влияние пористости технических материалов на их прочностные свойства // Вестник КГТУ, 2023, № 2 (156), с. 28-35. doi:10.26730/1999-4125-2023-2-28-35
12. Дж. Лини, Х. Бреммер. Новая стратегия проектирования – долговечность изделия // Основы проектирования электронных систем / Springer International Publishing, 2017, стр. 201-203. doi:10.1007/978-3-319-55840-0. ISBN 978-3-319-55839-4.
13. Кузина А.А. Композиционные материалы: учебное пособие. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 64 с.
14. Неудачина Л.К., Петрова Ю.С., Лакиза Н.В., Лебедева Е.Л. Электрохимические методы анализа // Руководство к лаб. практикуму / Учеб.-метод. пособие, УФУ, Екатеринбург, 2014. – 136 с. ISBN 978-5-7996-1276-4
15. Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В. Композиты каркасной структуры на смешанных вяжущих // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-2 (38). – С. 421-426.

References:

1. Frolova, M.A. Criterion for evaluating the energy properties of a surface / M.A. Frolova, A.S. Tutugin, A.M. Aisenstadt et al. *Nanosystems: physics, chemistry, mathematics*. 2011;2(4):120-125. (In Russ)
2. Ivanchenko, A.G. The state of the global market for high-tech industries / A.G. Ivanchenko, D.S. Ushakov. *Young Scientist*. 2018;17 (203):174-178. (In Russ)
3. Lord, E. New geometry for new materials. / E. Lord, A.L. McKay, S. Ranganathan, Translated from English by L.P. Mezentsева, edited by V.Ya. Shevchenko, V.E. Dmitrienko. M.: FIZMATLIT, 2010: 264.
4. Gorchakov G.I. Building materials, Moscow: Higher School. 1981:412. (In Russ)
5. Lebedev M.M. Handbook of a young plasterer, Moscow: *Vysshaya shkola Publ.*, 1984, 159. (In Russ)
6. Marvasi M., Mastromei G., Perito B. Strategy of bacterial mineralization with calcium carbonate in situ for the preservation of stone artworks: from cellular components to the microbial community. *Front. Microbiology*. 2020;11:1386. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01386.
7. Zhu T., Dietrich M. Precipitation of carbonates as a result of the activity of microorganisms in the natural environment and their potential in biotechnology. *Review: Bioengineering and Biotechnology*. 2016;4, DOI: 10.3389/fbioe.2016.00004.
8. Tolstoy A.D., Krymova A.I. Application of synergetic principles of self-organization in the theory of hardening of building composites. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018;9:24-29. (In Russ)
9. S.A. Dergunov, S.A. Orekhov dry building mixes (composition, technology, properties) 2012. (In Russ)
10. Erofeev V.T., Bogatova S.N., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V. Composites of a frame structure on mixed binders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011;5-2 (38): 421-426. (In Russ)
11. Fedyaev V.L., Galimov E.R., Belyaev A.V., Sirotkina L.V. Influence of porosity of technical materials on their strength properties. *Bulletin of KSTU*, 2023;2(156);:28-35. doi:10.26730/1999-4125-2023-2-28-35 (In Russ)
12. J. Lini, H. Bremmer. New design strategy – product durability. *Fundamentals of Electronic System Design*. Springer International Publishing, 2017;201-203. doi:10.1007/978-3-319-55840-0. ISBN 978-3-319-55839-4.
13. Kuzina A.A. Composite materials: a textbook. Samara: Samara University Press, 2023; 64. (In Russ)
14. Neuchodina L.K., Petrova Yu.S., Lakiza N.V., Lebedeva E.L. Electrochemical methods of analysis. Practicum / Educational method. manual, UFA, Yekaterinburg, 2014;136 p. ISBN 978-5-7996-1276-4 (In Russ)
15. Erofeev V.T., Bogatova S.N., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V. Composites of a frame structure on mixed binders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011;5-2 (38): 421-426. (In Russ)

Сведения об авторах:

Сергей Викторович Соловьев, аспирант, кафедра строительного материаловедения, s0lovyovs@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4471-7519

Максим Витальевич Яремчук, аспирант, кафедра строительного материаловедения, maks3.1998@mail.ru,

Information about authors:

Sergey V. Solovyov, Graduate Student, Department of Building Materials Science, s0lovyovs@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4471-7519

Maxim V. Yaremchuk, Graduate Student, Department of Building Materials Science, maks3.1998@mail.ru.,

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 22.02.2026.

Одобрена после рецензирования/Revised 30.03.2026.

Принята в печать/Accepted for publication 08.05.2026.