

Научная статья
 УДК 691.3
 DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-512-521>
 EDN: BAUBAA



КЛАДОЧНЫЕ РАСТВОРЫ ИЗ БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА СРОДСТВА СТРУКТУР

В.С. Лесовик¹, В.А. Дудченко¹ ✉, А.А. Клементьева²

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
 г. Белгород, Россия

²ООО «Полипласт»,
 г. Москва, Россия

✉ ответственный автор
dudchenko.v.a@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Важной задачей является эффективное использование промышленных отходов, в частности керамического кирпичного боя (ККБ), в производстве строительных материалов, что позволяет одновременно решать экологические проблемы и повышать экономическую эффективность технологических процессов. ККБ, ежегодно образующийся в объемах 15–20 млн т в России, обладает перспективными физико-механическими свойствами, позволяющими применять его в качестве вторичного сырья для создания высококачественных кладочных растворов. Особенно это актуально при разработке технологий восстановления разрушенных зданий и сооружений в ЛНД, ДНР и новых регионах России. Особую актуальность приобретает разработка таких растворов в рамках закона сродства структур, предложенного в Белгородском технологическом университете, поскольку использование материалов с близким составом и структурой обеспечивает повышенную адгезию, долговечность и эксплуатационные характеристики каменных конструкций на основе ККБ.

Цель написания статьи. Целью исследования является разработка и обоснование применения кладочных растворов с использованием тонкодисперсного наполнителя из керамического кирпичного боя, обеспечивающих повышенные эксплуатационные свойства при возведении стеновых конструкций. Для этого были решены задачи по изучению влияния наполнителей на физико-механические и адгезионные свойства растворов, анализу кинетики их твердения, оценке деформационных характеристик и исследованию микроструктуры контактной зоны с различными стеновыми материалами.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораториях кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций, а анализ научной литературы – в научно-технической библиотеке Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Работы проводились с применением стандартных методов испытаний, а также в соответствии с инструкциями по эксплуатации используемых приборов и оборудования.

Обсуждение и заключение. Исследование подтвердило, что использование тонкомолотого керамического кирпича в качестве наполнителя в кладочных растворах значительно повышает их адгезию за счёт структурной совместимости с керамическими стеновыми материалами, что соответствует закону сродства структур.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бой керамического кирпича, закон сродства структур, кладочные растворы, адгезия, вторичные материалы

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. В.С. Лесовик – член редакционной коллегии журнала «Вестник СиБАДИ». Журнал «Вестник СиБАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

БЛАГОДАРНОСТИ: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 25-19-00866) с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

© Лесовик В.С., Дудченко В.А., Клементьева А.А., 2026



Контент доступен под лицензией
 Creative Commons Attribution 4.0 License.

Статья поступила в редакцию 14.08.2025; одобрена после рецензирования 06.11.2025; принята к публикации 15.06.2026.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Лесовик В.С., Дудченко В.А., Клементьева А.А. Кладочные растворы из боя керамического кирпича: повышение эффективности на основе закона сродства структур // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 3. С. 512-521. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-512-521>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-512-521>

EDN: BAUBAA

MASONRY MORTARS MADE FROM CRUSHED CERAMIC BRICK WASTE: ENHANCING EFFICIENCY BASED ON THE LAW OF STRUCTURAL AFFINITY

Valery S. Lesovik¹, Valeria A. Dudchenko¹ ✉, Anna A. Klementyeva^{1, 2}

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia,

²Polyplast LLC

г. Москва, Россия

✉ corresponding author
dudchenko.v.a@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. An important task is the effective utilization of industrial waste, particularly crushed ceramic brick (CCB), in the production of construction materials, which allows to solve environmental problems and to improve the economic efficiency of technological processes simultaneously. Crushed ceramic brick is a waste left annually in volumes of 15–20 million tons in Russia, it possesses promising physical and mechanical properties that enables its use as secondary raw material for producing high-quality masonry mortars. This is particularly relevant in developing technologies for the restoration of damaged buildings and structures in Luhansk, Donetsk and other regions of Russia. The development of such mortars is especially relevant within the framework of the “law of structural affinity” proposed by Belgorod Technological University, since using materials with similar composition and structure ensures enhanced adhesion, long service life, and improved operational performance characteristics of masonry structures based on crushed ceramic brick.

Purpose of the study. The aim of the research is to develop and substantiate the application of masonry mortars with the use of fine-dispersed filler derived from crushed ceramic brick, ensuring improved operational properties in the construction of wall structures. To achieve this goal, the tasks of studying the filler influence on the physical-mechanical and adhesive properties of mortars, analyzing their hardening kinetics, evaluating deformation characteristics, and investigating the microstructure of the contact zone with various wall materials, have been performed.

Materials and methods. Experimental studies have been conducted in the laboratories of the Department of Construction Material Science of Products and Structures, and the analysis of the research literature has been carried out at the scientific and technical library of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. The work has been executed with the use of standard testing methods, as well as in accordance with operating instructions for the employed instruments and equipment.

Conclusion. The study confirmed that the application of finely ground ceramic brick as a filler in masonry mortars significantly enhances their adhesion due to structural compatibility with ceramic wall materials, in accordance with the law of structural affinity.

KEYWORDS: crushed ceramic brick waste, law of structural affinity, masonry mortars, adhesion, secondary materials

© Lesovik Valeriy S., Dudchenko Valeriya A., Klementyeva Anna A., 2026



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

CONFLICT OF INTEREST: *the authors declare no conflict of interest. V.S. Lesovik is a member of the editorial board of The Russian Automobile and Highway Industry Journal. The Russian Automobile and Highway Industry Journal requires reviewing all the manuscripts, regardless of their authors status.*

ACKNOWLEDGEMENT: *the study was supported by the grant from The Russian Science Foundation (project No 25-19-00866). The authors express their gratitude to the Center of High Technologies of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov for providing research facilities.*

The article was submitted: August 14, 2025; approved after reviewing: November 06, 2025; accepted for publication: June 15, 2026

All the authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: *the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.*

For citation. Lesovik V.S., Dudchenko V.A., Klementyeva A.A. Masonry mortars made from crushed ceramic brick waste: enhancing efficiency based on the law of structural affinity. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2026; 23 (3): 512-521. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-512-521>

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития строительной отрасли особое внимание уделяется рациональному использованию ресурсов и утилизации промышленных отходов. Одним из перспективных направлений является применение вторичных материалов в производстве строительных смесей, что позволяет не только решить экологические проблемы, но и повысить экономические показатели производственных процессов. В данном контексте особый интерес представляет использование керамического кирпичного боя (ККБ) – отхода, образующегося при производстве и транспортировке керамического кирпича, а также при демонтаже зданий.

Ежегодно в Российской Федерации образуется около 15–20 млн т отходов строительного кирпича, в том числе за счёт разрушенных зданий и сооружений ЛНР, ДНР и новых территорий, которые в большинстве случаев направляются на полигоны твердых бытовых отходов, создавая значительную нагрузку на окружающую среду. В то же время керамический кирпичный бой обладает уникальными свойствами, которые могут быть использованы для создания новых строительных материалов с улучшенными характеристиками [1, 2, 3].

Кладочные растворы, применяемые для возведения стен, представляют собой важнейший компонент каменных конструкций, определяющий их прочность, долговечность и эксплуатационные характеристики. Традиционные цементно-песчаные растворы, несмотря на широкое применение, имеют ряд недостатков, включая низкую адгезию к пористым основаниям, значительные усадочные деформации и недостаточную водоудерживающую способность. Эти проблемы особенно акту-

альны при работе с пористыми стеновыми материалами, такими как блоки на основе керамического кирпичного боя и керамзитобетона.

В последние годы специалистами Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова был сформулирован закон сродства структур, согласно которому материалы с близкими структурными характеристиками демонстрируют улучшенные показатели совместной работы. Этот закон открывает новые возможности для создания эффективных композиционных материалов, в том числе кладочных растворов для возведения стен из блоков на основе керамического кирпичного боя [4, 5].

Целью настоящего исследования является разработка и научное обоснование кладочных растворов с использованием тонкодисперсного наполнителя из керамического кирпичного боя, направленных на повышение эксплуатационных характеристик стеновых конструкций. Для достижения этой цели были проведены комплексные исследования, включающие оценку физико-механических и адгезионных свойств растворов, анализ кинетики их твердения, изучение деформационных характеристик и микроструктуры контактной зоны с различными стеновыми материалами.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности использования вторичных материалов в строительстве, снижения негативного воздействия на окружающую среду и улучшения качества возводимых конструкций. Актуальность работы заключается в применении закона сродства структур для создания композиционных вяжущих с тонкодисперсным наполнителем из керамического кирпичного боя, обеспечивающих оптимальные характеристики кладочных растворов для возведения стен из аналогичных материалов.

Кладочные растворы традиционно представляют собой смесь вяжущего вещества, заполнителя и воды, предназначенную для соединения штучных стеновых материалов в единую конструкцию. Согласно ГОСТ 28013–98, кладочные растворы должны обладать определенными свойствами: достаточной подвижностью, водоудерживающей способностью, прочностью и адгезией к стеновым материалам. Основными компонентами традиционных кладочных растворов являются портландцемент, известковое тесто и песок. Такие составы, несмотря на их широкое применение, имеют ряд существенных недостатков, выявленных в результате многочисленных исследований [6, 7, 8, 9].

В последние годы в материаловедении активно внедряется закон сродства структур. Согласно этому закону, материалы с близкими структурными характеристиками демонстрируют улучшенные показатели совместной работы за счет формирования переходной зоны с идентичной структурой [8, 9, 10].

Структурное сродство материалов определяется совокупностью факторов: минеральным составом, дисперсностью, пористостью, поверхностной энергией и другими характеристиками.

На основе анализа литературных данных и существующих исследований была сформулирована гипотеза о том, что использование композиционного вяжущего с тонкодисперсным наполнителем из керамического кирпичного боя в кладочных растворах для возведения стен позволит повысить их активность за счёт реализации закона сродства структур [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Данная гипотеза обоснована близостью минерального состава компонентов, способностью наполнителя удерживать влагу и обеспечивать благоприятные условия для гидратации, формированием монолитной переходной зоны с высокой адгезией, а также снижением деформационных несоответствий между раствором и стеновым материалом, что в совокупности должно предотвращать образование трещин и повышать долговечность конструкций. Для подтверждения выдвинутой гипотезы были проведены комплексные экспериментальные исследования, представленные в последующих разделах работы.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Методологической основой исследования послужили закон сродства структур, согласно которому максимальная прочность соедине-

ния достигается при структурной совместимости контактирующих материалов.

В качестве исходных компонентов для разработки композиционных вяжущих использованы портландцемент ЦЕМ I 42,5, кварцевый песок и вторичные минеральные добавки – отходы строительных материалов: бой керамического и силикатного кирпича, газосиликата, керамзитобетона и тяжёлого бетона, суперпластификатор Полипласт ПК. На их основе разработаны композиционные вяжущие, содержащие 35% цемента и 65% минеральной добавки. Помол минеральной добавки осуществляли в лабораторной роторно-шаровой мельнице до удельной поверхности 1000 м²/кг. Такой подход обеспечивает эффективное взаимодействие компонентов, повышение реакционной способности добавок и формирование высококачественной цементной матрицы. Использование вторичных материалов не только снижает расход цемента, но и способствует улучшению экологических и экономических показателей строительных растворов при одновременном сохранении или повышении их эксплуатационных свойств.

Исследования включали определение физико-механических свойств вяжущих (нормальная густота, сроки схватывания, удельная поверхность, активность), а также свойств растворов: подвижность (по глубине погружения конуса), водоудерживающая способность, средняя плотность, марочная прочность, фактическая прочность при твердении на подложке, адгезия к различным стеновым материалам.

Разработанная нестандартная методика определения адгезионной прочности кладочного раствора к стеновым материалам позволяет более адекватно оценить поведение соединения в условиях, приближённых к реальным эксплуатационным. Использование фрагментов натуральных стеновых материалов с сохранением их естественной поверхности и соблюдение нормативной толщины растворного шва (8–12 мм) обеспечивают достоверное моделирование структурного взаимодействия в кладке. Схема соединения «крест-накрест» и последующее испытание на отрыв позволяют точно определить максимальное усилие, необходимое для разрушения адгезионного контакта, что даёт объективную оценку прочности сцепления. Предложенная методика является эффективным инструментом для исследования и оптимизации составов кладочных растворов с учётом их совместимости с конкретными видами стеновых материалов.

Таблица 1
Основные характеристики композиционных вяжущих
Источник: составлено авторами.

Table 1
Basic characteristics of composite binders
Source: compiled by the authors.

Состав		Прочность раствора, МПа			
Вяжущее (35%)	Вид минеральной добавки (65 %)	Марочная прочность	Фактическая при твердении на подложке		
			кер. кирпич.	сил. кирпич.	цем. бетон
ЦЕМ I 42,5	Бой газосиликата (Ц-ГС)	15,2	11,6	5,6	9,1
	Силикатный кирпич (Ц-СК)	13,4	11,9	6,6	8,4
	Керамический кирпич (Ц-КК)	19,1	12,9	6,5	7,9
	Керамзитобетон (Ц-КБ)	19,7	15,3	5,5	8,8
	Тяжелый бетон (Ц-ТБ)	13,8	9,5	5,7	7,4
	Кварцевый песок (Ц-КП)	11,8	12,2	5,6	7,2

Для приложения и измерения отрывающего усилия применялся прибор ОНИКС-ОС, предназначенный для определения прочности бетона методом вырывания анкера. В связи с нестандартными геометрическими параметрами испытываемых образцов для данного прибора была разработана и изготовлена специальная металлическая испытательная рама, а также приспособление для фиксации образцов, допускающее регулировку длины подвеса. Конструкция захватного устройства включает шарнирные соединения, обеспечивающие центрирование нагрузки и минимизирующее влияние возможной непараллельности опорных граней образцов на равномерность распределения напряжений в зоне контакта.

Адгезионная прочность рассчитывалась как отношение максимального усилия отрыва к фактической площади контакта между кладочным раствором и поверхностью стенового материала, определяемой по отпечатку раствора на поверхности образца. За окончательное значение адгезии принималось среднее арифметическое результатов испытаний трёх парных образцов, обеспечивая статистическую достоверность полученных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований показали, что оптимальное соотношение компонентов в составе композиционного вяжущего составляет 35% портландцементного клинкера и 65% минеральной добавки, подвергнутой предварительному измельчению до удельной поверхности 1000 м²/кг. Высокая эффективность раздельного помола, проведённого в лабора-

торной роторно-шаровой мельнице, обеспечила оптимальную гомогенизацию компонентов и достижение активности вяжущего до 35,6 МПа даже при существенной доле вторичных материалов в составе.

Особое внимание уделено оценке прочности растворов в условиях, приближённых к реальным эксплуатационным, что более точно отражает их поведение в кладке. Наиболее высокие показатели прочности как абсолютные, так и относительные (по отношению к активности вяжущего) продемонстрировали составы с минеральными добавками на основе строительных отходов – бой керамзитобетона, керамического кирпича и газосиликата. Это подтверждает перспективность использования вторичных ресурсов для создания эффективных, экологически безопасных и экономически целесообразных кладочных растворов, соответствующих современным требованиям устойчивого строительства.

Наибольшую марочную прочность показали составы Ц-КК и Ц-КБ, приготовленные на основе композиционных вяжущих с использованием дроблёного керамического боя (таблица 1). Особо высокие результаты продемонстрировал раствор Ц-КБ, в состав вяжущего которого входит измельчённый керамзитобетон. В этом случае реализуются все ключевые факторы повышения прочности: растворная часть керамзитобетона изначально содержит остатки непрореагировавшего клинкерного цементного камня, которые становятся доступными для гидратации при тонком помоле, что способствует дополнительному упрочнению структуры.

Ключевым фактором, определяющим прочность кладочных растворов в реальных условиях эксплуатации, является степень структурного и физико-химического соответствия между раствором и материалом подложки. Экспериментальные данные подтверждают действие закона структурного сродства: наилучшее сцепление и максимальная прочность достигаются при использовании минеральных добавок в растворе, идентичных по происхождению и составу материалу основания. Так, на керамической подложке лучшие результаты показали растворы с добавками керамзитобетона и керамического кирпича (составы Ц-КК и Ц-КБ), а на силикатной подложке – состав с добавкой, соответствующей силикатному кирпичу (Ц-СК). Таким образом, принцип структурного соответствия является универсальным и должен учитываться при проектировании составов кладочных растворов для обеспечения их высокой адгезии и долговечности.

Особую значимость представляет тот факт, что предел прочности при сжатии и адгезии растворов на разработанных композиционных вяжущих, твердеющих в условиях структурного сродства, превышает аналогичные показатели традиционных цементно-известково-песчаных растворов в 1,5–4,5 раза. Это свидетельствует не только о высокой эффективности использования вторичных минеральных добавок, но и о принципиальной важности учёта физико-химической совместимости между раствором и стеновым материалом при проектировании долговечных и надёжных кладочных систем.

Установлено, что наиболее высокие значения прочности наблюдаются при совпадении минерального состава минеральной добавки вяжущего и материала подложки, что подтверждает проявление закона структурного сродства.

Так, раствор на основе композиционного вяжущего с добавкой боя керамического кирпича (состав Ц-КК) продемонстрировал максимальную прочность при твердении на керамической подложке – 12,9 МПа, что на 9,5% выше, чем у состава Ц-ГС, и на 7,0% выше, чем у Ц-СК. Ещё более высокий результат показал состав Ц-КБ (с добавкой боя керамзитобетона), достигнув прочности 15,3 МПа на керамическом кирпиче. Это может быть обусловлено благоприятной поровой структурой и адгезионными свойствами керамзитобетон-

ной добавки, способствующей эффективному сцеплению с пористым керамическим основанием.

На подложке из силикатного кирпича наибольшую прочность обеспечил состав Ц-СК – 6,6 МПа, что на 1,0–2,4 МПа превышает аналогичные показатели других составов на той же подложке. Данное явление также объясняется совместимостью: гидратационные продукты цементного камня лучше взаимодействуют с силикатным основанием при наличии аналогичной кремнезёмистой составляющей в добавке.

Состав Ц-ТБ (с добавкой боя тяжёлого бетона) показал умеренные значения прочности на всех подложках, достигнув 7,4 МПа на бетоне, 9,5 МПа на керамике и 5,7 МПа на силикате, что свидетельствует о нейтральной, но не оптимальной совместимости с различными типами оснований.

Состав Ц-КП (с кварцевым песком в качестве добавки) характеризуется наименьшими значениями прочности на всех подложках: 12,2 МПа (керамика), 5,6 МПа (силикат), 7,2 МПа (бетон), что указывает на недостаточную реакционную способность инертного наполнителя и отсутствие эффекта структурного сродства.

Особо высокие показатели прочности состава Ц-КК на керамическом кирпиче (12,9 МПа) при соотношении В/Т = 0,48 и высокой вододерживающей способности (1,8 кг/м³) подчёркивают перспективность использования вторичных керамических материалов в качестве активных минеральных добавок в кладочных растворах.

Адгезия кладочного раствора к основанию является одной из ключевых характеристик, определяющих качество и долговечность кладки. Для оценки этого параметра проведено исследование влияния различных составов кладочного раствора на адгезию к трем типам кладочных материалов: керамическому кирпичу, силикатному кирпичу и цементному бетону. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таким образом, кладочные растворы на основе композиционных вяжущих, разработанных с учётом сродства компонентов, характеризуются минимальными значениями усадочных деформаций в ранние сроки твердения (до 7 сут) и обеспечивают максимальный прирост прочности (см. таблицу 2).

Таблица 2

Влияние состава кладочного раствора на величину адгезии к различным кладочным материалам
Источник: составлено авторами.

Table 2

The effect of the composition of the masonry mortar on the adhesion force to various masonry materials
Source: compiled by the authors.

Состав (вяжущее)	Нормальная адгезия. Состав к основанию, МПа		
	Керамический кирпич	Силикатный кирпич	Цементный бетон
Состав 1 (Ц-ГС)	0,57	0,59	0,40
Состав 2 (Ц-СК)	0,51	0,49	0,44
Состав 3 (Ц-КК)	0,63	0,37	0,49
Состав 4 (Ц-КБ)	0,79	0,35	0,52
Состав 5 (Ц-ТБ)	0,53	0,32	0,61
Состав 6 (Ц-КП)	0,34	0,31	0,80

Таблица 3

Прочность образцов кладки при различных направлениях приложения нагрузки
Источник: составлено авторами.

Table 3

The strength of the masonry samples under different directions of the load application
Source: compiled by the authors.

Стеновой материал	Состав кладочного раствора	Прочность, МПа, при приложении нагрузки по отношению к горизонтальным швам	
		поперёк	вдоль
Керамический кирпич	Керамический (Ц-КК)	13,9	11,0
Силикатный кирпич	Газосиликат (Ц-ГС)	12,9	9,9

При рассмотрении адгезии к керамическому кирпичу наибольшее значение зафиксировано для состава 4 (Ц-КБ) и составило 0,79 МПа, что является максимальным показателем среди всех испытанных вариантов. Наименьшая адгезия наблюдалась у состава 6 (Ц-КП) – всего 0,34 МПа. Таким образом, диапазон значений адгезии к керамическому кирпичу составляет от 0,34 до 0,79 МПа, что указывает на значительное влияние состава раствора на сцепление с данным материалом.

Что касается силикатного кирпича, то здесь также наиболее высокие показатели демонстрирует состав 4 (Ц-КБ), однако его адгезия заметно ниже – 0,35 МПа. Минимальная адгезия зафиксирована у состава 6 (Ц-КП) и составила 0,31 МПа. Средние значения по группе варьируются в пределах от 0,31 до 0,59 МПа, при этом наибольшее значение достигнуто у состава 1 (Ц-ГС). Относительно низкие показатели для большинства составов свидетельствуют о менее благоприятном сцеплении с силикатным кирпичом по сравнению с другими материалами.

Наиболее высокие значения адгезии наблюдаются при взаимодействии с цементным бетоном. Максимальное сцепление обеспе-

чивает состав 6 (Ц-КП) – 0,80 МПа, что является одним из самых высоких значений во всем исследовании. Минимальный показатель зафиксирован у состава 1 (Ц-ГС) и составляет 0,40 МПа. Диапазон адгезии к цементному бетону – от 0,40 до 0,80 МПа, что говорит о высокой эффективности некоторых составов при работе с бетонными поверхностями. Таким образом, можно сделать вывод, что разные составы кладочных растворов проявляют неодинаковую эффективность в зависимости от типа основания. Состав 4 (Ц-КБ) показал наилучшие результаты при работе с керамическим и силикатным кирпичом, тогда как состав 6 (Ц-КП) продемонстрировал высокую адгезию к цементному бетону, хотя и оказался наименее эффективным для кирпичных материалов. Это подчеркивает важность подбора раствора с учётом конкретного вида кладочного материала для обеспечения надёжного и долговечного соединения.

Использование композиционных вяжущих, схожих по составу со стеновыми материалами, снижает анизотропию кирпичной кладки на 30–45% и повышает прочность при сдвиге в 2,4–2,7 раза, особенно эффективно для силикатного кирпича (таблица 3). Это связано

с улучшением адгезии раствора к материалу, что повышает надёжность кладки при сейсмических нагрузках.

Хорошее сцепление кладочного раствора со стеновым материалом обеспечивается не только прочностью, но и балансом вязкости, химической совместимости, состава вяжущего, наличия добавок и технологии приготовления. При этом высокая марочная прочность раствора не всегда коррелирует с его адгезией, что подчёркивает важность комплексного подхода к подбору состава.

Химический состав вяжущего материала оказывает существенное влияние на качество кладочного раствора и его адгезию к стеновым материалам.

Технологические условия приготовления раствора также играют важную роль в достижении требуемых свойств кладки.

Разработанные композиционные вяжущие материалы значительно улучшают характеристики кладочного раствора, особенно в отношении сцепления с проблемными стеновыми материалами (например, силикатным кирпичом).

Улучшение адгезии и прочности при сдвиге делает кладку более надёжной и устойчивой к сейсмическим воздействиям.

Применение композиционных вяжущих, схожих по составу со стеновыми материалами, существенно повышает качество кладки, снижая коэффициент анизотропии и увеличивая прочность при сдвиге. Особенно эффективны такие решения при работе с проблемными материалами, такими как силикатный кирпич. При этом ключевую роль играют не только механические свойства раствора, но и химическая совместимость, адгезия и технологические условия приготовления. Эти факторы обеспечивают более надёжную и долговечную кладку, особенно в условиях сейсмической активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплекс выполненных исследований с использованием закона сродства структур позволяет разрабатывать кладочные растворы на композиционном вяжущем с минеральной добавкой боя керамического и силикатного кирпича, керамзитобетона и газобетона.

Установлено, что применение минеральных добавок, при получении композиционных вяжущих, оптимизирует процессы структурообразования при твердении кладочных растворов, что приводит к существенному улучшению адгезии к соответствующим стеновым

материалам и в 1,5–3 раза больше, чем на традиционно применяемых растворах.

Внедрение результатов исследований позволит улучшить экологическую обстановку за счёт применения техногенного сырья и снижения расхода цемента. Особенно это актуально при восстановлении зданий и сооружений в ЛНР, ДНР и новых регионах Российской Федерации, а также в других государствах, в которых разрушены города в результате войн и землетрясений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лесовик В.С., Беленцов Ю.А., Куприна А.А. Использование положений Геоники при проектировании конструкций для работы в условиях динамических и сейсмических нагрузок // *Известия вузов. Строительство*. 2013. № 2–3 (650–651). С. 121–126. ISSN 1997-0935.
2. Ma Zhiming Tang, Qin Wu, Huixia Xu, Jiangguang Liang, Chao. Mechanical properties and water absorption of cement composites with various fineness and contents of waste brick powder from C&D waste. *Cement and Concrete Composites*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103758>
3. Hu J., Ahmed W., Jiao D. A Critical Review of the Technical Characteristics of Recycled Brick Powder and Its Influence on Concrete Properties. *Buildings* 2024; 14, 3691. <https://doi.org/10.3390/buildings14113691>
4. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // *Construction materials*. 2015. № 9.
5. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. 2-е изд., доп. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. 287 с. ISBN 978-5-361-00354-9. EDN WOAVYD.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 9, No. 11. P. 816–819. ISSN 1816-949X. <https://doi.org/10.3923/rjasci.2014.816.819>
7. Баруздин А.А., Закревская Л.В., Николаева К.А. Композиционный материал на основе техногенных отходов // *Эксперт: теория и практика*. 2023. № 2 (21). С. 78–84. ISSN 2687-071X.
8. Gołaszewska Małgorzata, Gołaszewski, Jacek Bochen, Jerzy Cygan, Grzegorz. Comparative Study of Effects of Air-Entraining Plasticizing Admixture and Lime on Physical and Mechanical Properties of Masonry Mortars and Plasters. *Materials*. 2022; 15. 2583. <https://doi.org/10.3390/ma15072583>
9. Ohemeng Eric Ababio Ekololu, Stephen Quainoo, Harry Naghizadeh, Abdolhossein. Economical and eco-friendly masonry mortar containing waste concrete powder as a supplementary cementitious material. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01527>

10. Lesovik V.S., Ahmed A.A., Fediuk R.S., Kozlenko B., Mugahed Amran Y.H., Alaskhanov A.Kh., Asaad M.A., Murali G., Uvarov V.A. Performance investigation of demolition wastes-based concrete composites. *Magazine of Civil Engineering*. 2021; 106(6). Article No. 10608. <https://doi.org/10.34910/MCE.106.8>

11. Загороднюк Л.Х., Рыжих В.Д., Махортов Д.С., Синебок Д.А. Особенности формирования микроструктуры гранулированных заполнителей на разных вяжущих композициях (часть 3) // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2021. № 9.

12. Сулейманова Л.А., Есипов С.М., Се Д. Сопротивление кладки из ячеистобетонных блоков на полиуретановом клее центральному сжатию // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 7. С. 35–42. ISSN 2312-818X. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-7-35-42>

13. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Воронов В.В., Чулкова И.Л., Куприна А.А., Павленко О.А. Особенности твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 33–39.

14. Копаница Н.О., Демьяненко О.В., Куликова А.А., Ткач Е.В., Шестаков Н.И., Степина И.В. Вторичные ресурсы в производстве композиционных строительных материалов на основе цемента // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 10. С. 112–121. ISSN 2413-1830. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/2675>

15. Баруздин А.А., Закревская Л.В. Композиционные материалы на основе строительных и полимерных отходов // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, № 2. С. 205–214. ISSN 2304-6600.

16. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Бабаев З.К., Джуманиязов З.Б. Керамический кирпич дорожного назначения для мощения тротуаров в регионах Приаралья // Стекло и керамика. 2023. № 2 (1142). С. 53–60. ISSN 0369-7139. <https://doi.org/10.47612/0369-7139-2023-2-53-60>

17. Махортов Д.С., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Аль Мамури Саад Халил Шадид. Получение вяжущих композиций оптимальных составов на основе портландцемента и отходов боя керамического кирпича // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 45–52.

18. Токарев В.А., Кабалин М.Д., Грищенко М.С., Высоцкая М.А. Рециклинг вторичного сырья для изготовления мелкоштучных бетонных изделий в дорожном строительстве. Обзор // Вестник МГСУ. 2025. № 6.

19. Кузьмин Е.О., Нелюбова В.В., Володченко А.Н. Прогнозируемая прочность цементного камня с добавкой нанодисперсного кремнезема // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 10. С. 17–24. ISSN 2312-818X. URL: <https://vestnik.bstu.ru/> (дата обращения: 05.04.2025).

20. Бабаев З.К., Машарипова Ш.М. Отходы керамического кирпича как сырьё для производства реставрационных материалов архитектурных памятников // Eastern-European Scientific Journal. 2020. № 4–2 (56). С. 88–95.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Belentsov Yu.A., Kuprina A.A. The use of Geonics in the design of structures for operation under dynamic and seismic loads. *Izvestiya vuzov. Construction*. 2013; No. 2-3 (650-651). pp. 121-126. ISSN 1997-0935. (in Russ.)

2. Ma Ziming Tang, Qin Wu, Huixia Xu, Jianguang Liang, Chao. Mechanical properties and water absorption of cement composites with various fineness and contents of waste brick powder from C&D waste. *Cement and Concrete Composites*. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103758>

3. Hu J., Ahmed W., Jiao D. A Critical Review of the Technical Characteristics of Recycled Brick Powder and Its Influence on Concrete Properties. *Buildings* 2024; 14, 3691. <https://doi.org/10.3390/buildings14113691>

4. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L., Tolstoy A.D., Volodchenko A.A. Affinity of structures as a theoretical basis for designing composites of the future. *Construction materials*. 2015; No. 9. (in Russ.)

5. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics). Examples of implementation in building materials science. 2nd edition, expanded. *Belgorod : Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*, 2016. 287 p. ISBN 978-5-361-00354-9. EDN WOAVYD. (in Russ.)

6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 9, No. 11. P. 816–819. ISSN 1816-949X. <https://doi.org/10.3923/rjasci.2014.816.819>

7. Baruzdin A.A., Zakrevskaya L.V., Nikolaeva K.A. Composite material based on man-made waste. *Expert: theory and practice*. 2023. No. 2 (21). pp. 78-84. ISSN 2687-071X. (in Russ.)

8. Gołaszewska Małgorzata, Gołaszewski Jacek, Bochen, Jerzy, Cygan, Grzegorz. Comparative Study of Effects of Air-Entraining Plasticizing Admixture and Lime on Physical and Mechanical Properties of Masonry Mortars and Plasters. *Materials*. 2022; 15. 2583. <https://doi.org/10.3390/ma15072583>

9. Ohemeng Eric Ababio, Ekolu Stephen, Quainoo Harry, Naghizadeh Abdolhossein. Economical and eco-friendly masonry mortar containing waste concrete powder as a supplementary cementitious material. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01527>

10. Lesovik V.S., Ahmed A.A., Fediuk R.S., Kozlenko B., Mugahed Amran Y.H., Alaskhanov A.Kh., Asaad M.A., Murali G., Uvarov V.A. Performance investigation of demolition wastes-based concrete composites. *Magazine of Civil Engineering*. 2021; 106(6). Article No. 10608. <https://doi.org/10.34910/MCE.106.8>

11. Zagorodnyuk L.Kh., Ryzhikh V.D., Makhortov D.S., Sinebok D.A. Features of the formation of the microstructure of granular aggregates on various binder compositions (PART 3). *Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhov*. 2021. №9. (in Russ.)

12. Suleymanova L.A., Esipov S.M., Se D. Resistance of masonry from cellular concrete blocks on poly-

urethane glue to central compression. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 7. pp. 35-42. ISSN 2312-818X. (in Russ.) <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-7-35-42>

13. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Voronov V.V., Chulkova I.L., Kuprina A.A., Pavlenko O.A. Features of hardening of building mortars based on dry mixtures. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016; No.10:33-39. (in Russ.)

14. Kopanitsa N.O., Demyanenko O.V., Kulikova A.A., Tkach E.V., Shestakov N.I., Stepina I.V. Secondary resources in the production of composite building materials based on cement. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2023; Vol. 334(10):112-121. ISSN 2413-1830. (in Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/2675>

15. Baruzdin A.A., Zakrevskaya L.V. Composite materials based on construction and polymer waste. *Bulletin of MGSU*. 2024; Vol. 19(2):205-214. ISSN 2304-6600. (in Russ.)

16. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Babaev Z.K., Jumaniyazov Z.B. Ceramic road bricks for paving sidewalks in the Aral Sea region. *Glass and ceramics*. 2023; No. 2 (1142):53-60. ISSN 0369-7139. (in Russ.) <https://doi.org/10.47612/0369-7139-2023-2-53-60>

17. Makhorov D.S., Zagorodnyuk L.H., Sums-koy D.A., Al Mamuri Saad Khalil Shadid. Obtaining binding compositions of optimal compositions based on Portland cement and waste from the battle of ceramic bricks. *Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022; No. 7:45-52. (in Russ.)

18. Tokarev V.A., Kabalin M.D., Grishchenko M.S., Vysotskaya M.A. Retsikling vtorichnogo syr'ya dlya izgotovleniya melkoshhtuchnykh betonnykh izdeliy v dorozhnom stroitel'stve. Obzor [Recycling secondary raw materials for the production of small concrete products in road construction. Review]. *Vestnik MGSU*. 2025; no. 6. (in Russ.)

19. Kuzmin E.O., Nelyubova V.V., Volodchenko A.N. The predicted strength of cement stone with the addition of nanodispersed silica. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2024; No. 10:17-24. ISSN 2312-818X. URL: <https://vestnik.bstu.ru/> (date of access: 04/05/2025). (in Russ.)

20. Babaev Z.K., Masharipova Sh.M. Ceramic brick waste as a raw material for the production of restoration materials of architectural monuments. *Eastern-European Scientific Journal*. 2020; No. 4-2 (56): 88-95. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONTRIBUTIONS CO-AUTHORS

All authors contributed equally to this article writing. The authors declare no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лесовик Валерий Станиславович – д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, чл. корр. РААСН, заведующий кафедрой «Строительное материаловедение изделий и конструкций» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2378-3947>,

Scopus Author ID: 55887733300,

Researcher ID: A-4757-2016,

SPIN-код: 2873-6860,

e-mail: naukavs@mail.ru

Дудченко Валерия Александровна – аспирант, ассистент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д.46).

Author ID: 1170036,

SPIN-код: 8957-1566,

e-mail: dudchenko.v.a@yandex.ru

Клементьева Анна Александровна – канд. техн. наук, технический менеджер ООО «Полипласт» (115114, г. Москва, ул. Дербеневская, д. 14, корп. 2).

Author ID: 855492,

SPIN-код: 7563-1860,

e-mail: Anna-121989@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lesovik Valery S. – Dr. of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Head of the Department of Construction Materials Science of Products and Structures, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova street, Belgorod, 308012).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2378-3947>,

Scopus Author ID: 55887733300,

Researcher ID: A-4757-2016,

SPIN-code: 2873-6860,

e-mail: naukavs@mail.ru

Dudchenko Valeria A. – Postgraduate student, Assistant, Department of Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova street, Belgorod, 308012).

SPIN-code: 8957-1566,

Author ID: 1170036,

e-mail: dudchenko.v.a@yandex.ru

Klementyeva Anna A. – Cand. of Technical Sciences, Technical Manager, Poliplast Limited Liability Company (Derbenevskaya St., 14/2, Moscow, 115114).

Author ID: 855492,

SPIN-code: 7563-1860,

e-mail: Anna-121989@mail.ru