

На правах рукописи



АЛАСХАНОВ АРБИ ХАМИДОВИЧ

**ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА
ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Специальность 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Грозный – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Муртазаев Сайд-Альви Юсупович

Официальные оппоненты: **Пухаренко Юрий Владимирович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
Валентина Ивановна Логанина - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и технологией строительного производства ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Лариса Алексеевна Урханова - доктор технических наук, профессор кафедры дорожно-строительных материалов ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Защита состоится «30» сентября 2023 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.295.01 при ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» по адресу: 367015, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, каб. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» <http://www.dstu.ru/>. Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ВАК Министерство науки и высшего образования РФ <http://vak3.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Х.Р. Зайнулабидова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Отличительной особенностью современной сырьевой базы строительной индустрии является огромное количество промышленных отходов (сотни миллиардов тонн ежегодно), которые накапливаются на планете Земля, в том числе фрагменты разрушенных зданий и сооружений в результате вооруженных конфликтов, землетрясений, реноваций, отходы горнодобывающей промышленности, металлургии и т.д. В то же время во многих государствах мира истощаются разведанные запасы месторождений сырья, это касается и сырьевых источников производства строительных материалов России. По своему генезису, составу и строению, залеганию (складированию) промышленные отходы существенно отличаются от сырьевой базы промышленности строительных материалов, поэтому стратегическими задачами в производстве настоящее время являются разработка методологии проектирования и полифункциональных строительных материалов и строительство на их основе зданий и сооружений.

Реализация этих задач позволит не только улучшить экологическую обстановку и среду обитания человека, но и снизить энергоёмкость производства строительных материалов за счет строительства объектов из композитов нового поколения, защищающих человека от негативного воздействия аномальных природных и техногенных процессов, улучшения архитектуры и дизайна городов и сельских поселений.

Работа выполнена в рамках реализации проектов:

«Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области строительных технологий» по теме: «Изучение бетонов и растворов для строительного-восстановительных работ в сейсмоопасных районах, получаемых с применением техногенного сырья»;

«Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук по теме: «Разработка методов безотходной утилизации техногенного сырья для получения строительных композитов»;

Гранта РФФИ № 18-48-200001 «Высококачественные бетоны с повышенными эксплуатационными свойствами на основе местного природного и техногенного сырья».

Степень разработанности темы. Изучением и применением отдельных видов промышленных отходов для производства строительных материалов, гидратацией и твердением занимаются научные школы Ю.М. Баженова, С.В. Федосова, А.М. Айзенштадта, Е.М. Чернышева, В.Т. Ерофеева, С.С. Каприелова, Е.В. Королева, В.С. Лесовика, Ю.В. Пухаренко и др. Проведенными исследованиями определено, что расширение фундаментальных подходов для решения проблем экологии, снижения энергоёмкости, улучшения среды обитания возможно за счёт исследования промышленных отходов как единого целого, применения трансдисциплинарных подходов, современных достижений строительного материаловедения, наук геологического цикла, физической химии и т.д.

Однако при этом недостаточно изучены вопросы изменчивости свойств промышленных отходов в отвалах и отстойниках, влияние этих изменений на процессы структурообразования и эксплуатационные свойства бетонов разных

классов, не в полном объеме рассмотрены особенности композитов для производства стеновых и отделочных материалов, малых архитектурных форм, сухих строительных смесей и т.д.

Научная гипотеза. Получение современных полифункциональных строительных композитов на основе комплексного использования техногенного сырья различного происхождения и рецептурно-технологических принципов их проектирования позволит существенно расширить сырьевую базу промышленности строительных материалов с возможностью регулирования в широком диапазоне физико-механических и эксплуатационных свойств строительных композитов.

Цель работы. Разработка научно-технологических основ (методов) получения и синтеза полифункциональных строительных композитов на основе техногенного сырья для устройства несущих и ограждающих строительных конструкций, и защиты среды обитания человека.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

- классификация и исследование состава и свойств промышленных отходов как сырьевой базы стройиндустрии;
- обоснование возможности и особенности использования техногенного сырья для производства полифункциональных строительных материалов;
- выявление закономерности процессов структурообразования при гидратации композиционного вяжущего с использованием добавок техногенного сырья в зависимости от его состава;
- установление закономерностей влияния характеристик техногенного сырья и композиционного вяжущего на его основе на физико-механические и эксплуатационные свойства полифункциональных композитов;
- выявление особенностей структурообразования композитов для малых архитектурных форм (МАФ), стеновых блоков и сухих строительных смесей (ССС), и изучить их влияния на свойства строительных композитов;
- влияние составов техногенного сырья на особенности технологических принципов производства полифункциональных композитов;
- разработка нормативных документов для реализации и внедрения результатов диссертационной работы.

Научная новизна работы. Сформулированы научно-технологические основы производства полифункциональных строительных композитов с применением техногенного сырья, заключающиеся в особенности управления процессами структурообразования на нано-, микро- и макроуровне, в зависимости от состава композиционных вяжущих и минеральных добавок. Это позволяет получать композиты с гетерогенной матрицей цементного камня и широким разнообразием морфологических характеристик новообразований, что обеспечивает полифункциональность и высокие эксплуатационные характеристики композитов.

Предложены принципы получения высокопрочных бетонов для эксплуатации в сейсмоопасных регионах, заключающиеся в использовании полиминеральных добавок для получения композиционных вяжущих и заполнителей, подобранных с учетом закона подобия. Наличие в

композиционном вяжущем непрогидратированных частиц цемента из материала рециклинга бетона, а также гидросиликатов кальция различной основности, позволяет рассматривать твердение смеси как сложной многокомпонентной системы, способствующей формированию высокопрочной матрицы. Это позволяет получать на промышленных отходах самозалечивающиеся композиты с пределом прочности при сжатии до 116 МПа и деформационными характеристиками в 1,5-4 раза ниже, чем у контрольных образцов.

Разработаны научно-обоснованные способы проектирования и производства композитов для малых архитектурных форм на отсевах дробления лома из бетона и плотных природных горных пород с учетом их свойств (гранулометрии, физических, физико-механических и др.), что обеспечивает возможность получения линейки новых бетонов для устройства малых архитектурных форм с применением композиционного гипсового вяжущего, отличающихся повышенной, в сравнении с традиционными, плотностью и прочностью, меньшим размером пор, высокими показателями долговечности, небольшими значениями относительных усадочных деформаций.

Сформулированы научные подходы получения энергоэффективных стеновых блоков на основе боя керамического кирпича, заключающиеся в создании крупнопористой структуры с высокой адгезией заполнителя к цементному камню. Крупный и мелкий заполнитель на основе лома керамического кирпича обладает признаками активных заполнителей (II-ой тип), которые характеризуются особенностью физического соединения поверхности заполнителя с гелеобразной цементной массой, проникающей в открытые поры и мелкие капилляры заполнителя, при дальнейшей гидратации которых происходит образование гидратных фаз в порах, дополнительно способствуя возникновению новых связей между заполнителем и тонкодисперсными частицами цемента.

Обоснована возможность улучшения качества кладочных растворов за счет использования при их проектировании закона сродства структур. Адгезия разработанных растворов к керамическому кирпичу и к стеновым блокам, полученным с использованием боя керамического материала, в 2 раза выше, чем у контрольных образцов за счет применения композиционного вяжущего и тонкодисперсного керамического наполнителя. Это объясняется сродством структур стенового материала и кладочного раствора, особенностью микроструктуры контактного слоя, представленного высокодисперсными новообразованиями.

Сформулирована методология получения эффективных ССС для производства мелкоштучных элементов перегородок и стен, а также комплексных строительных растворов с использованием гипсовых вяжущих, получаемых помолом гипсового вяжущего со специально подобранной смесью, портландцемента, кремнеземсодержащего компонента из техногенного сырья (шлака и золы-уноса) и органических добавок. Процесс твердения предложенной системы сопровождается образованием дополнительных объемов новообразований, которые увеличивают количество необходимых гидратных новообразований, оптимизируют структуру и обеспечивают требуемые эксплуатационные и функциональные показатели композита.

Личный вклад автора. Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, принадлежат автору и являются исключительно его самостоятельной разработкой. Изучение актуальности проблемы, формулировка цели и постановка задач исследования в целом принадлежат автору, как и планирование и проведение экспериментальных исследований, проведение анализа и разностороннее обобщение их результатов. Во всех опубликованных в соавторстве работах, автору в равной или большей степени принадлежат выдвинутые теоретические положения и результаты проведенных экспериментов. Автором предложены рецептуры и технологии получения полифункциональных строительных композитов на основе использования отходов разборки зданий и сооружений, положенные в основу научной новизны и прикладных разработок диссертации.

Теоретическая значимость работы. Предложены теоретические основы синтеза полифункциональных композитов с использованием фрагментов разрушенных зданий и сооружений, боя керамического кирпича, золошлаковых отходов, золы-уноса и шлаков, позволяющие с использованием закона сродства структур, закона подобия и теории техногенного метасоматоза получать строительные композиты различного назначения.

В развитие ранее предложенной теории и методологии синтеза полифункциональных строительных композитов с применением техногенного сырья доказано, что процессы структурообразования композиционного вяжущего носят многофакторный характер, требующий особых подходов при разработке их оптимальных рецептур для получения композитов широкого функционального назначения.

На теоретическом уровне предложена целевая структура полифункционального строительного композита, получаемого с использованием техногенного сырья с заранее заданными физико-механическими и эксплуатационными показателями, учитывающая особенности службы, характер и специфику разрушения цементного камня, что позволяет обосновывать создание, применение и возможность производства бетонных композитов нового поколения.

Практическая значимость работы. Установлены технологические параметры стабилизации цементно-водных суспензий с использованием тонкомолотых минеральных техногенных добавок. Подтверждена эффективность применения наполнителей из материала от рециклинга дисперсного компонента бетона и керамического кирпичного боя в высокоподвижных бетонных смесях в качестве стабилизатора микроструктуры, предотвращающих процесс водоотделения и расслоения смеси, что обеспечивает повышение однородности свойств при производстве сейсмостойких материалов.

Разработаны оптимальные составы теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных композитов на заполнителях, полученных рециклингом керамического кирпичного боя (ККБ).

Предложена технология приготовления бетонных смесей для малых архитектурных форм на вторичных заполнителях из ККБ с использованием двухстадийного способа перемешивания, что обеспечивает возможность его

использования, не применяя способы обогащения и фракционирования.

Разработана технологическая схема получения комплексной модифицированной добавки, путем механоактивации золошлаковой смеси с суперпластификатором. Разработаны составы строительных растворов на местных мелких песках, модифицированные органоминеральной добавкой, марок М100-М150 с морозостойкостью F50-F75 и повышенной стойкостью против высолообразования. С использованием строительных растворов выполнены штукатурные и кладочные работы при строительстве жилых и общественных зданий в г. Грозный.

Предложена наиболее рациональная область применения золошлаковых отходов ТЭЦ в качестве активных минеральных добавок для получения КГВ и ССС, подобраны и оптимизированы их составы, позволяющие обеспечивать решение вопросов охраны окружающей среды и расширения сырьевой базы производства стеновых бетонных композитов и отделочных материалов, включая материалы для МАФ.

Разработаны и предложены к внедрению рекомендации по получению составов ССС на КГВ с тонкодисперсными минеральными добавками из золы-уноса и шлака и химическими добавками с целью выпуска низкоэнергоёмких стеновых мелкоштучных и отделочных материалов, обладающих высокими показателями водостойкости и долговечности (кубиковая прочность - 10–40 МПа, средняя плотность - 1000-2100 кг/м³, коэффициент размягчения - 0,8...0,88, класс морозостойкости - F20-F50).

Методология и методы исследования. Методологической основой работы, как сложной системы, является междисциплинарный подход, заключающийся в использовании достижений не только в области строительного материаловедения, но и смежных наук, так как исследование и внедрение полифункциональных композитов в стройиндустрию зависят от решения многофакторных задач. Это позволило сформулировать требования к проектированию и составам новых материалов, необходимость использования нетрадиционных видов природного и техногенного сырья; реологических характеристик смеси и т.д. Наряду с применением стандартных методик были предложены новые подходы.

Исследование состава и структуры сырья и композитов осуществлялось с использованием: рентгеноспектрального анализа, оптической и растровой электронной микроскопии, РФА, реологии подвижных моделей и знаков бетона, лазерной гранулометрии, адсорбционных методов определения удельной поверхности и порометрии, изотермической калориметрии, математического аппарата структурной топологии и др.

Положения, выносимые на защиту:

– выявленный механизм самозалечивания проникающих трещин в бетонном композите с размерами ширины их раскрытия до 0,8 мм, который основан на эффекте увлажнения открытых поверхностей, появляющихся при эксплуатации здания в его конструктивных элементах от действия динамических нагрузок, в том числе и от сейсмических воздействий.

– предложенные принципы проектирования ССС на основе КГВ для

получения стеновых и отделочных цементных композитов с использованием техногенного сырья Чеченской Республики – золы-уноса и шлака – и результаты исследований промежуточных и конечных продуктов их гидратационного твердения и сопровождающие его процесс структурообразования.

– особенности структуры и свойства используемых золошлаковых отходов, а также получаемых на его основе КГВ и ССС для стеновых и отделочных материалов.

– рекомендации по технологии изготовления комплексных гипсовых вяжущих и сухих строительных смесей, полученных на их основе.

– результаты теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств ССС на КГВ и технологии производства мелкоштучных стеновых материалов и штукатурных растворов на их основе.

Степень достоверности научных результатов. Достоверность результатов исследований подтверждена обоснованными теоретическими и экспериментальными исследованиями; обширным объемом исследований с применением сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования; сравнением с результатами, полученными другими авторами; сходимостью теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы. Результаты исследований и основные положения диссертации вошли в научные труды и патенты, докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях, симпозиумах и конгрессах в Грозном (2013-2021), Архангельске (2013), Тамбове (2014), Москве (2014), Махачкале (2014), Краснодаре (2014), Белгороде (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021), Брянске (2017, 2020), Weimar Bundesrepublik Deutschland (2018), Астрахани (2019), Нальчике (2020), Владивостоке (2021) и др.

Внедрение результатов исследований. Проведено опытно-промышленное внедрение полифункциональных строительных композитов на основе техногенного сырья на предприятиях Чеченской Республики: ООО «Дика-стройпроект», ООО «Элитстрой», ООО «ПГС-85», ООО «Строй Групп», ООО «Мустанг», ООО «Водстрой», ИП Умарова Л.Ш., ООО «СК Чеченстрой», ООО «Град», ООО «Мегастройинвест». Техничко-экономическая эффективность предлагаемой технологии в зависимости от вида получаемого композиционного материала составила 217 – 1270 руб. на 1 м³ продукции.

Теоретические положения настоящей работы и полученные результаты исследований применяются при организации образовательного процесса в программах подготовки студентов бакалавриата и магистратуры по направлению «Строительство», специалистов по направлению «Строительство уникальных зданий и сооружений», кадров высшей квалификации (аспирантов) по профилю «Техника и технологии строительства».

По результатам выполненной работы разработана соответствующая нормативно-техническая документация: технологический регламент на производство мелкоштучных стеновых материалов из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и брака; стандарт организации «Композиционное гипсовое вяжущее с использованием

золошлаковых отходов»; рекомендации по изготовлению изделий из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем; технические условия на производство строительных штукатурных растворов марок М75 и М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье; технологический регламент на производство высококачественных бетонных смесей повышенной жизнеспособности с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья; технологический регламент на производство мелкозернистых бетонных композитов на наполненном вяжущем с наполнителем из отходов дробления бетонного лома.

Публикации. Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 110 научных публикациях, в том числе в 14 статьях, входящих в перечень рецензируемых изданий ВАК РФ, 28 в Scopus и Web of Science, отражены в 1 учебнике и 2 учебных пособиях, защищены 3 патентами.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 446 страницах машинописного текста, включающего 89 таблиц, 144 рисунка и фотографий, списка литературы из 505 наименований, 25 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. Проанализировано состояние вопроса о применении промышленных отходов, фрагментов разрушенных зданий и сооружений, образовавшихся в результате войн и землетрясений, программ реновации в стройиндустрии. Показано, что современные экологические вызовы и новые подходы к обеспечению устойчивого развития экономики нашей страны и мира требуют разработки и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов нового поколения, основанных на комплексном (безотходном) использовании при их получении техногенного сырья. В первую очередь, немалый интерес в обеспечении утилизации техногенных отходов строительства связан с производством композиционных вяжущих и бетонных композитов для устройства конструктивных элементов зданий и сооружений, прежде всего, для эксплуатируемых в условиях повышенной сейсмичности. Для решения указанных задач необходимо разработать композиционные вяжущие на основе техногенного сырья и многокомпонентные полифункциональные композиты с их применением для возведения зданий и сооружений. Однако в настоящий момент нормативно-техническая документация и общепринятые способы утилизации отходов от разборки зданий и сооружений с одновременным получением сырья для проектирования полифункциональных строительных композитов, с учетом особенностей каждого его компонента, в теории и практике современного строительного материаловедения не представлены.

В связи с этим, для объективного решения задач, поставленных в работе, проведен анализ современного состояния природной и техногенной сырьевой базы производства строительных материалов и изучен российский и зарубежный опыт утилизации вторичного сырья.

Теоретические основы и методология синтеза полифункциональных

композитов на техногенном сырье. Глава посвящена теоретическим основам изучения синтеза полифункциональных композиционных материалов специального назначения на основе техногенного сырья различного происхождения как объекта модифицирования с учетом принципов трансдисциплинарности, закона сродства структур и закона подобия, которые определяют особенности влияния составляющих ингредиентов на структурообразование в создаваемых строительных композитах.

Широкое использование многотоннажного техногенного сырья (фрагментов разрушенных зданий, боя керамического кирпича, золошлаковых отходов и т.д.), накопленного и постоянно увеличивающегося на территории РФ, в частности и в Чеченской Республике, может способствовать эффективности и рентабельности бетонов и различных строительных материалов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Характеристики техногенного сырья

Техногенное сырье существенно отличается от природного, т.к. на всех этапах технологической переработки исходное сырье подвергалось определенным механическим, химическим, температурным и прочим воздействиям, которые обеспечили техногенному сырью ряд свойств, в том числе и положительных: подготовленность к использованию за счет измельчения и помола, снижение энергозатрат на измельчение и помол, механоактивация за счет помола, обеспечение высокой адгезии за счет поверхностных дефектов, повышенную реакционную способность за счет увеличенной удельной поверхности, управление структурообразованием в композите.

Основные принципы создания полифункциональных композитов на основе техногенного сырья заключаются в оптимизации сродства структур на макро-, микро- и наноуровне за счет применения широкого спектра композиционных вяжущих целевого назначения, синтезированных помолом вяжущих, минеральных компонентов и химических добавок в рациональном помольном агрегате. При механической активации составляющие сырьевых смесей структурируются и самоорганизуются за счет оптимизации и гомогенности

составов и последующей гидратации, достигают требуемых физико-механических показателей по прочности (рисунок 2).



Рисунок 2 – Принципы и методы создания строительных композитов

Особую значимость и жизненную важность находят высокопрочные бетоны в системе сейсмостойкого строительства. Россия характеризуется наличием чрезвычайно опасных сейсмических районов, расположенных в южных, юго-восточных и восточных районах страны. В этой связи разработка высокопрочных бетонов, позволяющих возводить устойчивые и долговечные объекты, в составе которых используются техногенные компоненты, приобретает весьма актуальное значение. В целях реализации этой сложной задачи необходимы новые современные подходы для создания композитов с требуемыми свойствами, в том числе решения серьезной проблемы самозалечивания сквозных трещин, появляющихся в конструкциях в процессе эксплуатации вследствие сейсмических нагрузок, с учетом новых трансдисциплинарных подходов, теории техногенного метасоматоза, закона подобия и др., которые открывают широкие возможности для создания и управления процессами структурообразования композитов с целевыми физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами (рисунок 3).

В настоящее время существует актуальная проблема по повышенному водоотделению и расслоению высокоподвижных бетонных смесей, что снижает качество строительных работ. Для снижения и устранения этих явлений представляет интерес использование в составах бетонных смесей тонкомолотых минеральных порошков природного и техногенного происхождения, обладающих высокой водоудерживающей способностью.

Эффективным методом повышения физико-механических характеристик композитов является решение проблемы смешивания компонентов с учетом специфики техногенного сырья и приготовления запроектированной смеси, с обеспечением условий получения единой композиции и возможностью управления процессом структурообразования при его твердении. Это позволит получать долговечные строительные композиты с использованием новой сырьевой базы.



Рисунок 3 – Техногенное сырье для получения бетонов и различных строительных материалов

Обеспечение объектов строительства эффективными стеновыми материалами с требуемыми теплотехническими характеристиками является важной проблемой современного строительного материаловедения, учитывая климатическую многополярность страны. Именно для преодоления этой проблемы предложено использовать ККБ при производстве легких конструктивных бетонов и выпуске на его основе мелкоштучных стеновых изделий. Для эффективного управления технологией получения таких бетонов требуется дополнительное исследование динамики структурной организации, жизнеспособности и других характеристик бетонных смесей (рисунок 3).

Использование и механизм твердения золошлакового сырья для производства строительных композитов на основе КГВ не изучены, имеющиеся данные не систематизированы и противоречивы, отсутствует методика проектирования рецептур таких композиционных вяжущих, поэтому их производство затруднено. Не исследовано влияние золошлаковых отходов ТЭЦ на формирование структуры КГВ и способов ее регулирования. Получение КГВ с минеральной добавкой из золошлаковых смесей в комбинации с органической добавкой, определение структуры и методов ее изменения позволят производить строительные материалы высокого качества с требуемыми технологическими, физико-механическими и эксплуатационными показателями (рисунок 3).

В соответствии с законом сродства структур, установленным учеными БГТУ им. В.Г. Шухова, для кладки стен из блоков на основе ККБ целесообразно применять КВ с тонкодисперсным наполнителем из ККБ. Благодаря сродству структур стенового материала на ККБ и кладочным раствором формируется зона контакта с идентичной структурой, эффективно выполняющая функцию связующего элемента, обеспечивающего монолитность кладки. Применение КВ для изготовления кладочного раствора не только увеличивает адгезию раствора к стеновым блокам на ККБ, но и повышает степень гидратации вяжущего в условиях кладки, за счет влияния микронаполнителя на водоудерживающую способность раствора (рисунок 3).

Главной составляющей ССС, определяющей в основном их физико-

механические свойства, является вяжущее, в качестве которого чаще всего используют портландцемент и его разновидности. Эффективным является композиционное гипсовое вяжущее, в состав которого входит гипсовое вяжущее, портландцемент и минеральные компоненты: зола-унос и шлак. Достаточно быстрое регулируемое схватывание и твердение без тепловлажностной обработки данного вида КГВ приводит к ускорению оборачиваемости формирующего оборудования и сроков строительства.

Для выпуска различных видов стеновых и отделочных материалов в Чеченской Республике (ЧР) имеются большие запасы техногенного сырья – многотоннажные золошлаковые смеси (ЗШС), рациональное использование которых позволит производить конкурентоспособную строительную продукцию в ЧР, которая ощущает потребность в стеновых материалах, сухих строительных смесях (ССС) для их производства и др.

Таким образом, предложены теоретические основы синтеза полифункциональных композитов с использованием фрагментов разрушенных зданий и сооружений, боя керамического кирпича, золошлаковых отходов, золы-уноса и шлаков, позволяющие с использованием закона сродства структур, закона подобия и теории техногенного метасоматоза проектировать композиты: высокопрочные бетоны для эксплуатации в сейсмоопасных регионах, мелкозернистый бетон для изготовления малых архитектурных форм, стеновые блоки с использованием керамического кирпичного боя, строительные растворы с использованием техногенного сырья, сухие строительные смеси на композиционных гипсовых вяжущих.

Высокопрочные бетоны для эксплуатации в сейсмоопасных регионах. В главе рассмотрены вопросы разработки высокопрочных композитов для эксплуатации в сейсмоопасных районах. На территории нашей страны находятся чрезвычайно опасные в сейсмическом отношении районы. Для России, являющейся высокоурбанизированной страной, для многих регионов проблема сейсмической безопасности застройки и населения является важной и актуальной.

Решению этой проблемы в значительной степени способствует изучение строительных материалов на базе трансдисциплинарных подходов, включая теорию техногенного метасоматоза, закона подобия и др., что позволяет управлять процессом структурообразования и изменения характеристик композитов в широких пределах. В частности, для получения наиболее плотной структуры и максимальной прочности важно обеспечить эффективное соотношение компонентов состава цементного камня при минимальном В/Ц, при этом серьезное влияние оказывает мелкий заполнитель, в т.ч. его генезис.

При изучении указанных систем, установлена возможность стабилизации цементно-водных суспензий с использованием минерального наполнителя техногенного происхождения (МНТП): из материала от рециклинга бетона, из боя керамического кирпича (ККБ), из золошлаковых смесей (ЗШС), из мелких некондиционных кварцевых песков.

В работе применялись минеральные наполнители, обладающие удельной поверхностью 450-600 м²/кг, что существенно выше аналогичного показателя портландцемента. Данные минеральные добавки способствуют стабилизации

протекания седиментационных процессов, что обеспечивает однородность свойств образца по всему объему.

Подтверждение реакционной активности МНТП получено при исследовании смеси с цементом, полученной в пропорциях «минеральный наполнитель: цемент» – 70:30 и 30:70 с экстремально низким водоцементным отношением - 0,20 и 0,28 соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Свойства композитов в зависимости от составов

Применяемый техногенный компонент	Прочность $R_{сж}$, МПа, при соотношении							
	МНТП:Ц = 70:30				МНТП:Ц = 30:70			
	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут
Материал от рециклинга бетона	4,9	6,1	16,7	22,1	17,8	21,9	49,8	73,8
Материал от рециклинга кирпича	4,0	5,0	16,5	19,4	14,8	18,0	42,3	66,9
Материал от рециклинга золошлаковой смеси	4,0	5,3	15,2	18,8	14,1	19,0	43,4	67,7
Отсев кварцевых песков	4,2	5,5	16,0	19,5	15,0	20,2	44,0	68,8

Установлено, что техногенный материал от рециклинга бетона является наиболее эффективной добавкой. Рентгенофазовый анализ минеральных добавок из тонкомолотого материала рециклинга бетона продемонстрировал наличие кварца (51 %), кальцита (32 %), CSH (почти 6 %), непрогидратированного портландцемента (почти 4 %), что составляет 20–25 % от массы цемента (рисунок 4). Этим объясняется высокая реакционная способность тонкомолотого материала рециклинга бетона, которая в 3 раза выше, чем у кварцевых наполнителей кристаллической структуры. В совокупности с наличием определенного количества ранее непрогидратированного цемента и хороших реологических показателей использование разработанных минеральных наполнителей является перспективным для применения в строительных 3D-технологиях.

Добавка минерального наполнителя техногенного происхождения способствует росту прочности и плотности композита.

Наибольшая эффективность отмечается для тонкомолотого материала рециклинга бетона, а наименьшая – для боя керамического кирпича (рисунок 5). При этом максимальный рост прочности достигается при МНТП до 15 % по массе портландцемента (70 кг на 1 м³).

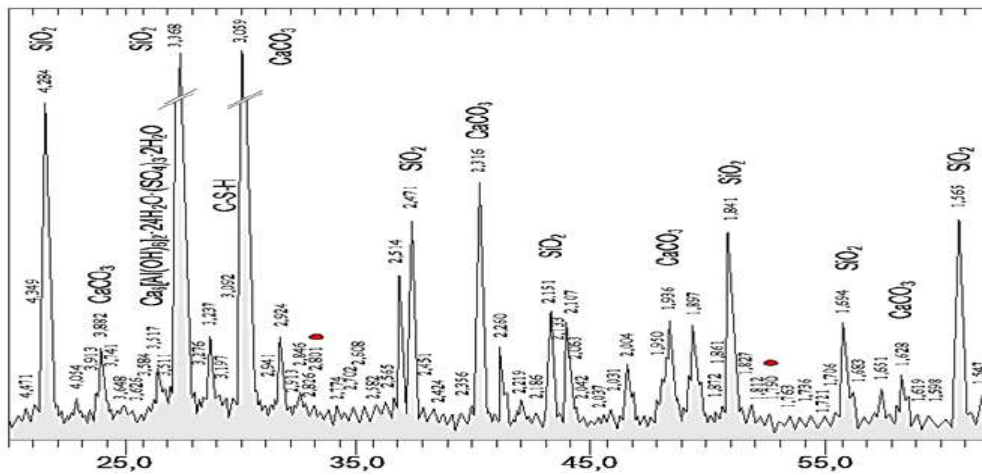


Рисунок 4 – Результаты РФА материала от рециклинга бетона

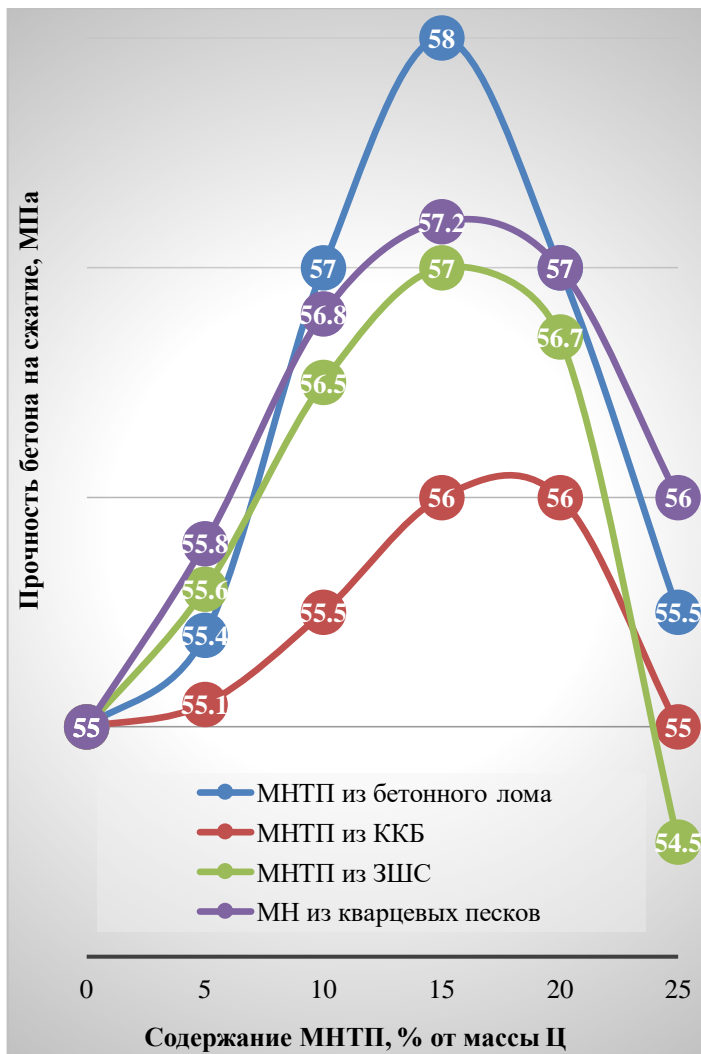


Рисунок 5 – Влияние минерального наполнителя техногенного происхождения на прочность бетона

Повышение прочностных свойств композита, наполненного материалом рециклинга бетона, связано с тем, что в минеральном наполнителе содержится до 20–25 % негидратированных цементных частиц, проявляющих вяжущие свойства при повторном измельчении минеральной добавки.

Это же подтверждается исследованием микроструктуры: композит на наполненном вяжущем характеризуется уплотнением структуры по сравнению с традиционным цементным камнем (рисунок 6).

В результате проведения экспериментов, с учетом методики трехфакторного математического планирования, были подобраны оптимальные составы высокопрочных смесей, соответствующие марке по осадке конуса П5 и сохраняемостью смеси более 8 ч. (таблица 2).

Таблица 2– Составы и свойства композитов с использованием техногенных минеральных добавок

№ состава	Заданный класс бетона	Прочность при сжатии, МПа	Состав смеси в килограммах на 1 м ³													Характеристики смеси				
			Щебень			Песок		Вяжущее				МНТП		Вода	Добавка		Водоцементное отношение	Плотность, кг/м ³	Осадка конуса, см	Сохраняемость, час
			Аргунский	Серноводский	Алагирский	Червленский	Алагирский	ЦЕМ I 42,5 Н «Чеченцемент»	ЦЕМ I 42,5 Н «Новоросцемент»	КВ М600 Д40	КВ М750 Д20	из бетонного лома	из ККБ		Динамик ПК (% от массы Ц)	Динамик РС (% от массы Ц)				
1.	В30	39,3	1000	–	–	760	–	400	–	–	–	45	15	170	2,7 (0,7)	–	0,45	2395	21	4,0
2.			–	1000	–	760	–	400	–	–	–	45	15	170	2,7 (0,7)	–	0,45	2398	23	4,0
3.	В40	52,4	1000	–	–	700	–	455	–	–	–	50	20	173	3,3 (0,8)	–	0,38	2402	22	4,0
4.			–	1000	–	700	–	455	–	–	–	50	20	171	3,3 (0,8)	–	0,38	2406	22	4,0
5.	В45	58,9	1000	–	–	660	–	506	–	–	–	55	20	174	5,1 (1,0)	–	0,34	2422	21	4,5
6.			–	1000	–	660	–	506	–	–	–	55	20	172	5,1 (1,0)	–	0,34	2425	23	4,5
7.	В55	72,0	–	1000	–	730	–	–	–	542	–	–	–	167	1,6 (0,3)	–	0,31	2445	22	5,0
8.			–	–	980	–	685	–	588	–	–	–	–	188	6,5 (1,1)	–	0,32	2448	24	4,5
9.	В60	78,6	–	1000*	–	685	–	–	–	–	600	–	–	170	2,4 (0,4)	–	0,31	2456	22	5,0
10.			–	–	980	–	690	–	540+60**	–	–	–	–	180	6,7 (1,1)	–	0,33	2460	24	5,0
11.	В80	116	–	1000*	–	685	–	–	–	–	600	–	–	170	2,4 (0,4)	–	0,31	2456	22	5,0
12.			–	–	980	–	690	–	540+60**	–	–	–	–	180	6,7 (1,1)	–	0,33	2460	24	5,0

Примечание: * – применялся обогащенный щебень фракции 5–20 мм повышенной прочности с маркой по дробимости М1200;

** – применялся модификатор бетона МБ 10-30 С.

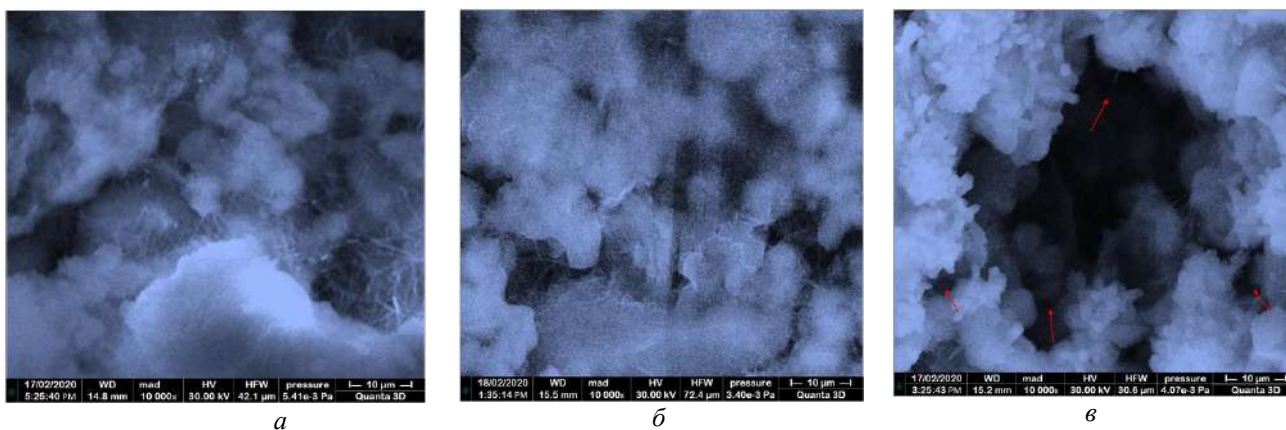


Рисунок 6 – Микроструктура цементного камня из КВ М750 Д20 (а), КВ М600 Д40 (б) и ПЦ (в): стрелками обозначена пористая структура

На рисунке 7 представлена динамика упрочнения разработанных композитов для сейсмостойкого строительства во времени.

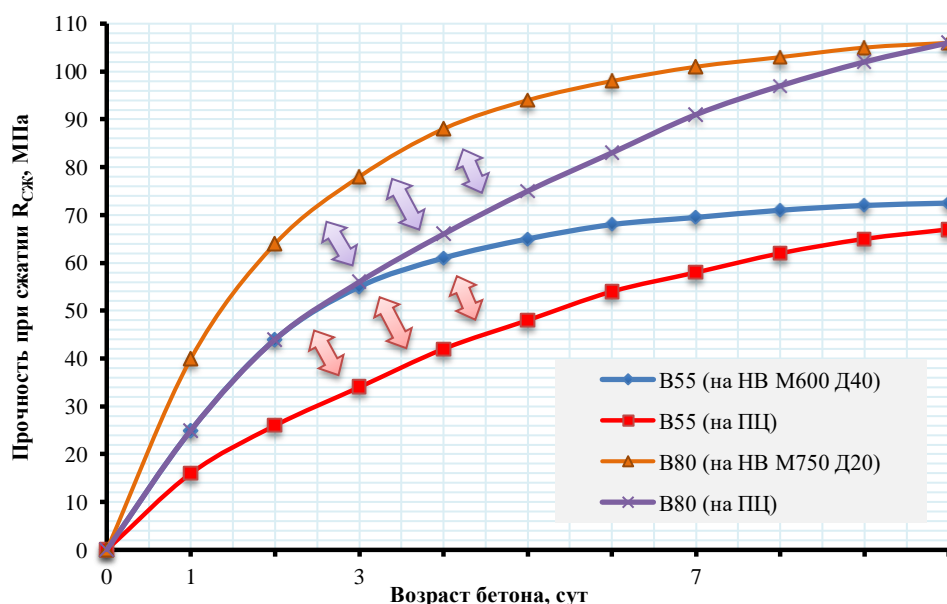


Рисунок 7 – Упрочнение разработанных композитов во времени

Согласно рисунку 7, КВ М750 Д20 и КВ М600 Д40 изменяет кинетику твердения, переводя бетоны из группы медленнотвердеющих по ГОСТ 25192 в группу быстротвердеющих, обеспечивающих в возрасте 2 сут. более 50% проектной прочности. Кинетика твердения описывается известным уравнением $\frac{R_\tau}{R_{28}} = \exp(k \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{\tau}}))$ при $k = 0,345 \dots 0,365$ для ПЦ и 0,227 для КВ М750 Д20 и КВ М600 Д40.

Доказано, что динамика упрочнения композитов в возрасте 24–72 ч растет в 1,5–2 раза. Выявлено, что коэффициент призмочной прочности у разработанных композитов варьируется в диапазоне 0,82–0,86 и превышают такой же показатель стандартных бетонов – равный 0,78. Установлено, что максимальное значение

температуры t_{max} уменьшается на треть по сравнению с традиционными портландцементными бетонами (с 70–75 °С до 50–55 °С). Это связано с комплексным эффектом поверхностно-активных веществ и замедлителя твердения «Динамикс РС», присутствующих в состав КВ, способствующих поэтапному доступу поверхности частиц портландцемента для воды затворения.

Доказано, что динамика упрочнения композитов в возрасте 24–72 ч растет в 1,5–2 раза. Выявлено, что коэффициент призмочной прочности у разработанных композитов варьируется в диапазоне 0,82–0,86 и превышает такой же показатель стандартных бетонов – равный 0,78. Установлено, что максимальное значение тепловыделения t_{max} уменьшается на треть по сравнению с традиционными портландцементными бетонами (с 70–75 °С до 50–55 °С). Это связано с комплексным эффектом поверхностно-активных веществ и замедлителя твердения «Динамикс РС», присутствующих в составе КВ и способствующих поэтапному доступу поверхности частиц портландцемента для воды затворения.

Опытным путем выявлено, что предельные продольные ($\varepsilon_1=1,93–2,32$ мм/м) и поперечные ($\varepsilon_2=0,41–0,66$ мм/м) деформации разработанного композита в 1,5–4 раза ниже, чем у контрольного традиционного бетона (3,2–3,6 мм/м и 1,9–2,0 мм/м, соответственно). С ростом значений прочностных свойств бетона коэффициент Пуассона снижается ($\mu = 0,21–0,285$), что доказывает более вязкую структуру этих композитов с одновременным ростом их класса по прочности.

Установлено снижение до 3 раз водопоглощения по массе (не более 2,7% по сравнению с 9 % у традиционного тяжелого портландцементного бетона). Это напрямую связано с поровой структурой: в разработанном высокопрочном и малопроницаемом композите микроструктура в основном представлена мелкими порами, в том числе непроницаемыми для воды гелевыми порами ($\lambda=0,6–0,8$) с достаточно однородной размерностью ($\alpha=0,4–0,5$).

На основе проведенных исследований доказано, что высококачественные бетоны на основе композиционного вяжущего с тонкомолотыми минеральными наполнителями техногенного происхождения обладают повышенной долговечностью.

Предложен метод самовосстановления дефектов структуры, образующихся в композитах в ходе эксплуатации при динамических нагрузках, в т.ч. сейсмической активности.

Таким образом, разработана широкая номенклатура композитов для сейсмостойкого строительства, основанная на различных материалах от рециклинга строительных изделий.

Данные материалы обладают высокими значениями физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик, обеспечиваемых в том числе за счет предложенного метода самовосстановления дефектов структуры цементного материала.

Строительный мелкозернистый бетон для изготовления малых архитектурных форм. В главе рассмотрены вопросы создания мелкозернистых бетонов для изготовления малых архитектурных форм (МАФ).

В результате всестороннего анализа опыта применения природных и техногенных отходов (камнедробления и фрагментов разрушенных зданий) для

производства цементных композитов выявлено, что применение этих отсевов в промышленности строительных материалов с использованием энергетически эффективных технологий и особых приемов остается не до конца изученной областью в современной строительной индустрии.

Результатами, полученными в рамках диссертации, доказана возможность производства эффективных цементных материалов с применением некондиционных фракций, получаемых дроблением горных пород, исключая при этом затратные процессы.

Недостатком пылеватой фракции техногенных отсевов является ее высокая водопотребность. Для нивелирования этого недостатка экспериментально установлена следующая зависимость для расчета потребности в воде затворения мелкозернистых бетонных смесей с применением техногенных отсевов:

$$V = V_{МДФ} \cdot МД^Ф + V_{П} \cdot П + V_{Щ} \cdot Щ + НГ \cdot Ц; \quad (1)$$

в которой: $V_{МДФ}$, $V_{П}$ и $V_{Щ}$ – водоудерживающая способность пылевидной, песчаной и щебёночной фракций отсевов; $МД^Ф$, $П$, $Щ$ и $Ц$ – массы тех же отсевов, а также портландцемента в смеси; $НГ$ – нормальная плотность цементного теста.

В дальнейших исследованиях по разработке мелкозернистых бетонов для малых архитектурных форм важно было минимизировать применение пылевидной фракции техногенных отсевов. Это является экономически выгодным, потому что снижает применение энергоемких процессов и дополнительных операций по измельчению и обогащению техногенных отсевов.

Предел прочности при сжатии композитов для МАФ резко возрастает при снижении относительного содержания отходов дробления. Данный факт объясняется снижением в их составе количества пылеватых частиц, что влечет за собой уменьшение водоцементного отношения и повышение процентного содержания вяжущего (рисунок 8).

При одинаковом содержании пылевидных фракций прочность цементного камня в 28-суточном возрасте наиболее высокая с добавкой рециклинга бетона (рисунок 9). Для компенсации высокого водопотребления пылевидного техногенного отсева применялся ряд суперпластификаторов, что позволило снизить водопотребность при сохранении подвижности смеси.

Исследован эффект комплексных пластифицирующих химических модификаторов АрмМикс СУПЕРПЛАСТ + БИО-НМ в различных дозировках на физико-механические свойства цементных композиционных материалов. В частности, самой эффективной стала смесь АрмМикс СУПЕРПЛАСТ + БИО-НМ = 0,1+1,0 % (рисунок 10).

Доказано, что использование комплексного химического модификатора в композиционной смеси из пылеватых фракций бетонного лома влечет за собой уменьшение исходного водосодержания с 231 до 163 л/м³, т.е. на треть и рост прочности при сжатии композиционных материалов до 17 МПа в возрасте 7 суток и 23 МПа в возрасте 28 суток, т.е. также на треть.

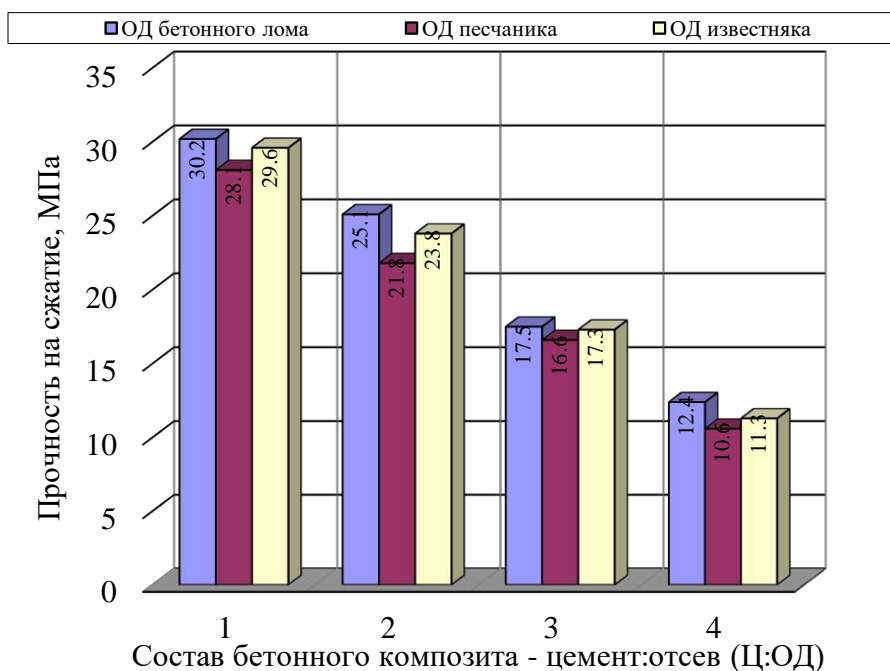


Рисунок 8 – Влияние содержания отсева дробления на прочность при сжатии композита для МАФ

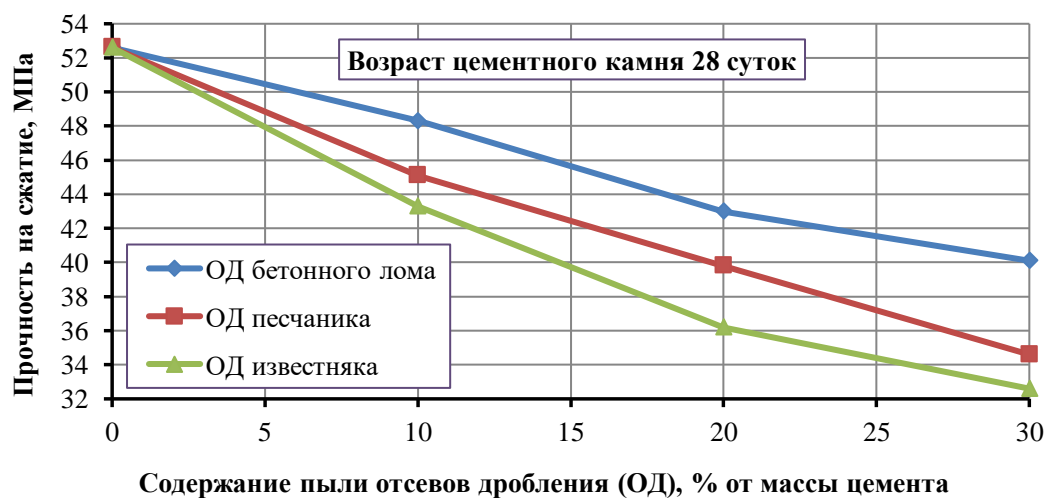


Рисунок 9 – Влияние содержания пылевидной фракции отсева на прочность при сжатии цементного камня

Для повышения эффективности активации техногенных отсева предложен механизм активации в водной среде. В результате реализации вышеприведенного механизма, пылеватая фракция включается в цементный камень, не допуская механически не связанных контактных областей между цементной матрицей и зернами отсева, приводящих к падению прочностных свойств материала.

Выявлено, что раздельное смешивание компонентов (механическая активация поверхности зерен отсева) при Ц:ОД = 1:3 повышает потенциал роста прочностных свойств цементного композиционного материала для малых архитектурных форм до 19-21 МПа, а при Ц:ОД = 1:4 - 12-15 МПа. Объяснение механизма действия предлагаемого способа механической активации заключается в том, что при смешивании смеси отсева и воды тонкодисперсные частицы переходят в водную фазу, образуя соответствующие взвеси.

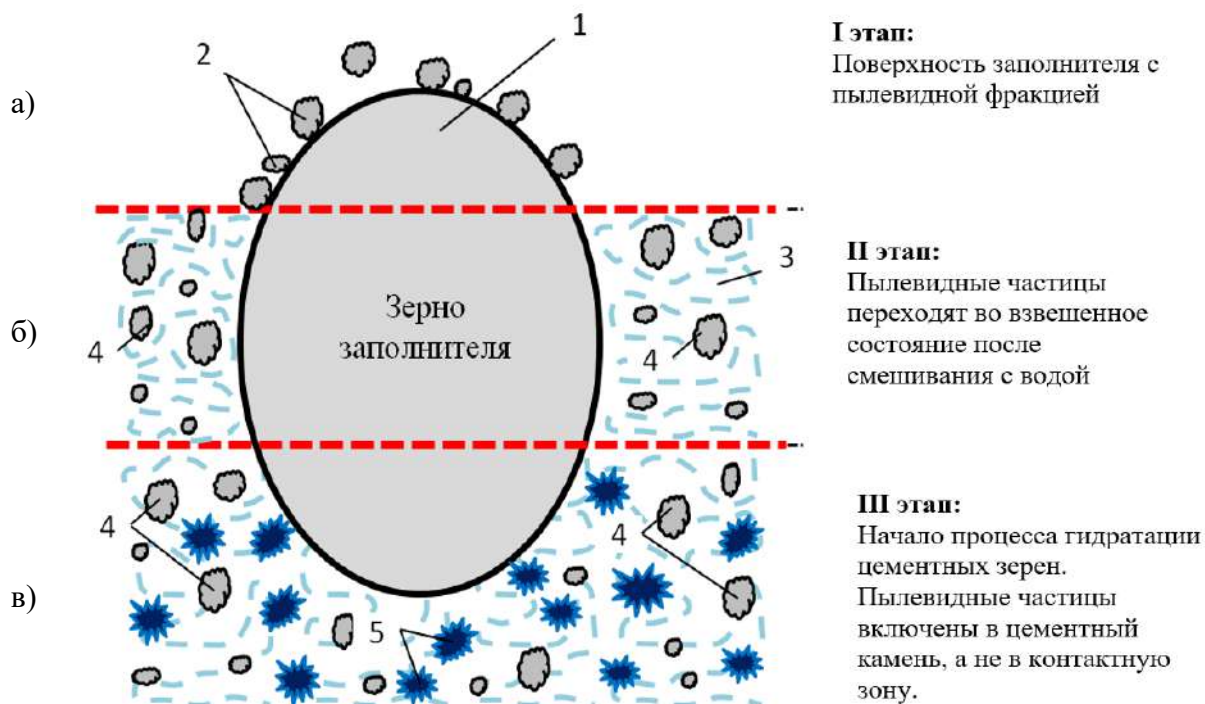


Рисунок 10 – Этапы механоактивации бетонной смеси (раздельное перемешивание компонентов): а – состояние поверхности заполнителя до контакта с водой; б – то же, после контакта с водой; в – то же, при вторичном смешивании с цементом; 1 – зерно заполнителя; 2 – пылевидные частицы отсева; 3 – гидрофаза; 4 – пылевидные частицы из отсева в цементном растворе; 5 – цементные зерна

Решение поставленной задачи проводилось в виде разработки поличастотной вибрационной установки на базе лабораторной вибрационной площадки с дооборудованием дополнительного вибровозбудителя. Предлагаемая конструкция имеет отличия от современных аналогов за счет того, что в данном случае не предусмотрено создание дополнительного давления на уплотняемую смесь. Преимущества усовершенствованной установки заключаются в том, что помимо вибрации лабораторной площадки (частота 48 Гц, амплитуда $A=0,5$ мм), бетонная смесь дополнительно подвергается механическому воздействию от сверху установленного вибратора, обеспечивающего повышение частоты колебаний - 133 Гц и уменьшение амплитуды - 0,35 мм. Время такого совместного уплотнения - 40–50 с.

В результате разработана широкая номенклатура композиционных

вяжущих (таблица 3) и строительных композитов на их основе для МАФ (таблица 4). Полученные результаты показали, что разработанные композиты, благодаря высокоплотной структуре, обладают достаточно высокими значениями кубиковой прочности (41-87 МПа), призмочной прочности (увеличилась с 32 до 70 МПа), при этом отношение призмочной прочности к кубиковой находится в пределах - 0,78 - 0,81.

Таблица 3 – Составы композиционных вяжущих

Композиционное вяжущее (КВ)	Состав КВ, % по массе			
	ЦЕМ I 42,5Н «Чеченцемент»	МНТП		Добавка Д-5
		из бетонного лома	из ККБ	
КВ М750 Д20	80	13	5	2
КВ М600 Д40	60	27	11	2

Таблица 4 – Составы бетонов на композиционных вяжущих для малых архитектурных форм

№	Вяжущее*	Ц:ОД	Количество материалов, кг/м ³			
			КВ	ОД	Вода	В/В
1	КВ М750 Д20	1:4	416	1656	146	0,35
2	КВ М750 Д20	1:3	504	1512	171	0,34
3	КВ М750 Д20	1:2	679	1358	204	0,30
4	КВ М600 Д40	1:4	413	1643	149	0,36
5	КВ М600 Д40	1:3	507	1533	172	0,34
6	КВ М600 Д40	1:2	685	1370	206	0,30
7	ПЦ	1:3	511	1533	245	0,48

* - Маркировка вяжущих обозначает: КВ – композиционное вяжущее, М600-М750 – соответствует классам В45-В55; Д20-Д40 – количество материалов от рециклинга бетона (в % от массы вяжущего); ПЦ - портландцемент

Полученное соотношение более высокое в сравнении с обычными составами и отличается меньшим разбросом, что доказывает повышение гомогенности свойств и понижении хрупкости полученного композита (таблица 5).

Выявлено, что адгезионная прочность между заполнителем из некондиционного отсева и цементной матрицы является выше аналогичной характеристики самого заполнителя, показывая значительное влияние применяемого отсева на создание гомогенного, монолитного и плотного композита для МАФ.

Изучение механизмов появления дефектов микроструктуры композитов, разработанных для малых архитектурных форм, выявило, что нижняя граница (начало) трещинообразования происходит позже в сравнении с обычными мелкозернистыми бетонными композитами, при этом значение соотношения

R_T/R_K колеблется в пределах 0,35 - 0,52 и повышается с увеличением прочности бетона, а также с повышением в его объеме клинкерного компонента.

Таблица 5 – Физико-механические и деформативные свойства разработанных мелкозернистых материалов для малых архитектурных форм

№ сост. по таблице 4	Прочность при сжатии, МПа		Деформация, мм·10 ⁻⁴		R _T ^o , МПа	R _T ^v , МПа	E, МПа	Усадка, мм·10 ⁻⁴
	R _K	R _{ГР}	продольная ε ₁	поперечная ε ₂				
1	63,5	50,8	13,3	4,0	30,4	48,5	38,6	81
2	78,6	63,7	13,6	4,1	39,3	52,4	44,1	83
3	86,9	70,5	16,5	5,1	45,2	58,7	46,6	84
4	50,1	39,6	15,5	4,1	18,3	34,6	33,7	74
5	61,5	48,8	16,2	4,5	28,9	41,4	37,6	78
6	71,3	57,0	17,5	4,7	35,6	47,8	41,3	79
7	17,5	12,2	10,3	3,2	6,11	11,5	11,6	88

Таким образом, разработаны составы композиционных вяжущих и на их базе рецептуры мелкозернистых бетонных композитов для изделий малых архитектурных форм; данные композиты отличаются плотной и прочной структурой со сниженным диаметром пор, повышенными характеристиками долговечности, с малыми усадочными деформациями (0,69–0,84 мм/м).

Стеновые блоки с использованием керамического кирпичного боя. Данная глава диссертации посвящена решению проблемы рециклинга ККБ для производства легких бетонов и изготовлению стеновых элементов на их основе.

Проведенные исследования показали, что заполнитель из ККБ имеет высокую пористость -17,7 % и водопоглощения - 13-14 % по массе, невысокие значения прочности при сдавливании в цилиндре - 11,9 - 14,5 МПа и морозостойкости - F 25. Повышенная пористость указывает на его принадлежность ко второй группе заполнителей по активности, в которых активность вызвана повышением прочности контакта цементного раствора с открытой поверхностью зерен заполнителя вследствие проникновения в поры и капилляры заполнителя тончайших частиц вяжущего, обеспечивая образование ранее не существующих связей заполнителя с цементной матрицей. Это повышает сцепление, так как при испытаниях бетона на прочность разрушение преимущественно происходит по заполнителю или цементному камню, при этом контактная зона между ними остается неповрежденной.

На основе использования заполнителей из керамического кирпичного боя разработаны легкие бетоны плотной и крупнопористой структур (таблица 6). В состав крупнопористого бетона входит только крупный заполнитель в виде однородного щебня и вяжущее. После твердения все зерна крупного пористого заполнителя связаны прослойкой цементной матрицы, а межзерновые пустоты заполнены частично.

Это обуславливает пониженную плотность (1316-1428 кг/м³) и теплопроводность 0,35-0,39 Вт/(м·°С) крупнопористого бетона, что позволяет отнести его к теплоэффективным материалам и использовать в многослойных

ограждающих конструкциях в качестве теплоизоляционного материала.

Таблица 6 – Физико-механические свойства бетонов разной структуры

№ состава	Расход, кг/м ³				Добавка, %		В/Ц	$\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	$R^{28}_{\text{СЖ}}$, МПа,	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Марка по морозостойкости, F
	Ц	Щ	П	В	СП-1	Хидетал					
Бетоны плотной структуры											
1	253	798	548	282	-	-	1,11	1644	11,6	0,47	50
2	338	745	526	296	-	-	0,88	1685	21,3	0,52	50
3	312	796	555	234	1,5	-	0,75	1724	25,6	0,55	50
4	310	793	543	237	-	1,5	0,71	1738	24,7	0,50	50
5	408	754	502	233	1,5	-	0,57	1752	36,2	0,52	75
Бетоны крупнопористой структуры											
6	253	981	-	271	-	-	1,07	1316	7,5	0,35	25
7	404	911	-	284	-	-	0,70	1387	13,2	0,37	25
8	402	951	-	256	1,5	-	0,64	1428	15,2	0,39	35

Легкие бетоны плотной структуры соответствуют требуемым эксплуатационным характеристикам для ограждающих конструкций (таблица 7).

Поровая структура легких бетонов представлена мелкими ($\lambda = 1,56 - 1,95$ мкм) однородными по размеру ($\alpha = 0,50-0,60$) порами, водопоглощение не более 7-9 %.

Таблица 7 – Физико-механические свойства легких бетонов

№ п/п	состав (табл.2)	ρ , кг/м ³	$R_{\text{КВБ}}$, МПа	$R_{\text{ЛР}}$, МПа	$\frac{R_{\text{ЛР}}}{R_{\text{КВБ}}}$	$E_{\text{Б}} \cdot 10^3$, МПа	μ	Усадка, мм/м	$K_{\text{Р}}$	W, % массе
1	1	1645	11,6	9,21	0,79	11,83	0,25	0,63	0,80	10,3
2	3	1724	25,6	21,3	0,83	22,75	0,22	0,52	0,88	8,8
3	8	1428	15,1	11,2	0,74	8,83	0,23	0,58	0,84	12,8

Легкие бетоны плотной структуры целесообразно использовать в качестве теплоизоляционно-конструкционного материала классов В12,5 – В20, плотностью до 1750 кг/м³.

В контактной зоне заполнителя из керамического кирпичного боя с цементной матрицей содержание положительно заряженных кристаллов портландита ($d = 4.923; 3.107; 2.642; 1.935; 1.802; 1.697; 1.495; 1.453\text{Å}$) уменьшается, а отрицательно заряженных гидросиликатов увеличивается C_2SH_2 ($9.8, 3.07, 2.8, 2.0, 1.83\text{Å}$), в отличие от контактной зоны гранитного заполнителя кислого состава с преимущественно электроотрицательным знаком заряда

поверхности, где преобладает портландит (рисунок 11).

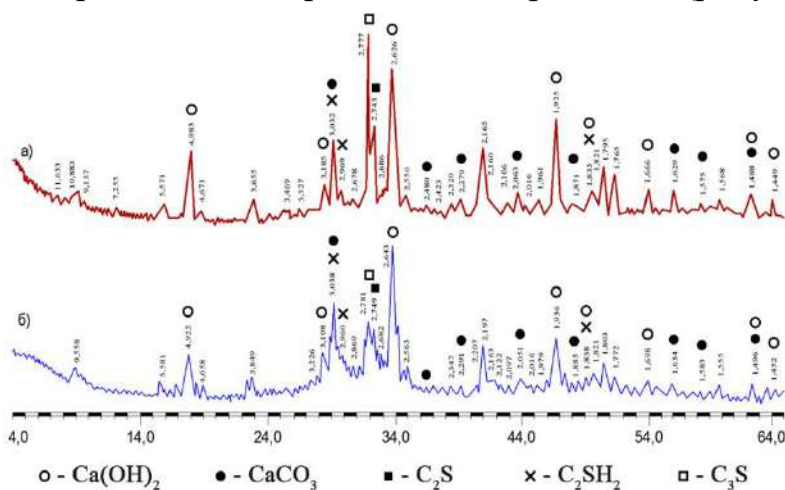


Рисунок 11 – Рентгенограмма контактной зоны заполнителя с цементным камнем: а – гранитный щебень; б – кирпичный бой

Это обусловлено тем, что поверхность капилляров керамического кирпича с преобладающим электроотрицательным знаком заряда, также содержит и положительно заряженные центры, где присутствуют ионы алюминия Al^{3+} , поэтому в зоне контакта осаждаются частицы гидратных фаз разноименного знака заряда, что способствует усилению зоны контакта между элементами цементного

бетона. Исследования микроструктуры контактной зоны подтвердили наличие плотного срастания цементной матрицы с вторичным заполнителем.

Для снижения водопотребности бетонной смеси, обусловленной высокой открытой пористостью (12-14 %) заполнителя из материала рециклинга бетона, использовали суперпластификаторы СП-1 и Хидетал. Это позволило достичь снижения водопотребности на 21-30 % и повышения прочности бетонов на 26-40%. Достижение необходимого водоредуцирующего эффекта требует повышения дозировок суперпластификаторов до 1,5 %, чтобы после абсорбционного насыщения пор заполнителя молекулами ПАВ, избыток добавки обеспечивал необходимый водопонижающий эффект.

Повысить эффективность действия суперпластификаторов предложено путем использования двухэтапного способа приготовления бетонной смеси с вводом суперпластификаторов на втором этапе перемешивания. Такой технологический прием позволяет получать равноподвижные смеси при дозировках суперпластификаторов ниже на 20 %.

Для снижения отрицательного влияния пылевидной фракции на сцепление между цементной матрицей и заполнителем из-за налипания пылевидных частиц на зерна вторичного заполнителя использован метод двухстадийного перемешивания бетонной смеси, с первоначальным перемешиванием заполнителя с водой затворения. Применение двухстадийного перемешивания способствует повышению прочности бетона при сжатии на 11-27 %, что позволяет использовать отход ККБ без обогащения и фракционирования (таблица 8).

На производственно-технологической линии «Рифей-04» предприятием ООО «МУСТАНГ» изготовлена опытная партия стеновых блоков на основе ККБ (388x190x188 мм) с несквозными пустотами (рисунок 12), из которых в 2019 г. построено административное здание (г. Хасавюрт).

Таблица 8 – Влияние двухстадийного перемешивания на прочность бетона

№ п/п	Ц:П	Доля каменной муки, % от массы П (кг)	В/Ц	Прочность $R_{сж}^{28}$, МПа, при перемешивании		Прирост ΔR , %
				Совмест.	Раздельн.	
1	1:2	12 (136)	0,69	27,8	30,9	11,1
2	1:3	12 (152)	0,74	21,2	25,3	19,3
3	1:4	12 (162)	0,77	16,1	20,4	26,7



Рисунок 12 – Стеновые блоки на основе керамического кирпичного боя

Строительные растворы с использованием техногенного сырья. Глава посвящена рассмотрению вопросов получения эффективных строительных растворов на основе техногенного сырья.

Для кладочных растворов разработаны композиционные вяжущие с различными видами минеральных наполнителей. Результаты исследований показали, что наибольшую фактическую прочность (около 70 % R_{28}) показали растворы на основе вяжущего с тонкодисперсным минеральным

наполнителем из боя керамического кирпича (40 %), твердевшие в кладке из блоков на ККБ. Полученные результаты подтвердили целесообразность рационального выбора компонентов для сопряженных элементов конструкции на основе закона сродства структур (таблица 9).

Кладочные растворы с наполнителем из керамического тонкодисперсного материала характеризуются максимальной адгезией (0,62 МПа) к керамическому кирпичу и блокам на основе ККБ (0,59 МПа), что превосходит на 10-30 % прочность сцепления растворов на основе композиционных вяжущих иного состава.

Таблица 9 – Свойства растворных смесей и растворов

Состав (наполнитель)	$S_{уд}$, м ² /кг	СП-1, %	В/Т	ОК, см	Водо-удер. сп., %	Ср. плот-ть, кг/м ³	Прочность раствора, МПа			
							Марочная	Фактическая (на тв. подложке)		
								Кирп. кер.	Кирп. сил.	Блок (ККБ)
№1(Сил.к)	620	0,5	0,12	10	98,7	2020	12,3	8,7	6,1	7,2
№2(Кер.к)	610	0,5	0,15	11	98,8	1960	17,2	10,5	5,8	9,8
№3(Кер.б)	650	0,5	0,12	9	98,6	2060	17,5	10,8	4,9	9,5
№4 (Кв.п)	690	0,5	0,14	11	98,7	1990	10,4	9,2	5	6,4

У контрольного состава на кварцевом минеральном наполнителе адгезия к

керамическому кирпичу и блокам на ККБ практически в два раза ниже (таблица 10), что согласуется с основными положениями закона «средства структур».

Таблица 10 – Влияние состава кладочного раствора на адгезию к материалам

Вяжущее (наполнитель)	Адгезия к материалам, МПа		
	Кирпич керам.	Кирпич Силик.	Блок на ККБ
№1 (Сил.кирп.)	0,49	0,48	0,43
№2 (Кер.кирп.)	0,62	0,33	0,59
№3 (Кер.бет.)	0,57	0,34	0,55
№4 (Кв.п)	0,34	0,28	0,30

Установлено, что деформации усадки и теплового расширения и набухания при увлажнении стеновых штучных материалов и растворов на композиционных вяжущих соразмерны, что обеспечивает их результативную совместную работу в кладке.

Благодаря сродству структур между стеновым материалом на ККБ и кладочным раствором формируется зона контакта с идентичной структурой, эффективно выполняющая функцию связующего элемента, обеспечивающего монолитность кладки (рисунок 13).



Рисунок 13 – Контакт блока на основе ККБ с раствором на основе КВ (а) и портландцемента (б)

Для улучшения строительно - технологических свойств строительных растворов на мелких песках и решения вопроса утилизации техногенного сырья, предложено модифицировать составы комплексной модифицирующей добавкой (КМД, $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$), полученной путем механоактивации золошлаковой смеси (таблица 11).

Спроектированы строительные растворы, модифицированные КМД, марок М100-М150 с морозостойкостью F50-F75, повышенная стойкость против высолообразования обеспечивается связыванием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ аморфным кремнеземом модифицированной добавки.

Разработана технологическая схема получения комплексной модифицированной добавки на основе золошлакового сырья, как начального этапа производства строительных растворов смесей на местном сырье.

С использованием строительных растворов на местных мелких песках марок М100 и М150 с добавкой КМД выполнены штукатурные и кладочные работы при

строительстве жилых и общественных зданий предприятием ООО «Успех» г. Грозный (рисунок 14).

Таблица 11 – Свойства строительных растворов с применением комплексной модифицирующей добавки

№ п/п	Наименование заполнителя для состава 1:3	КМД, %	Рсж, МПа	Диаметр расплыва на ЛВС, см	Водоудерживающая способность, %	Адгезия, МПа	Расслаиваемость, %	Жизнеспособ., час	F
1	Червленый	10	14,3	12,1	97,3	0,51	5,8	3,5-5,0	F75
2	Веденский	10	12,5	13,2	97,5	0,42	8,7	3,0-4,5	
3	Толстой-Юртовский	10	14,3	12,2	98,2	0,50	6,4	3,5-5,0	
4	Бено-Юртовский	10	11,2	12,0	97,9	0,42	7,6	3,0-4,0	



Рисунок 14 – Применение штукатурных и кладочных растворов на мелких песках, модифицированных КМД, на строительных объектах

Утилизация механоактивированной золошлаковой смеси в производстве строительных растворов на природных мелких песках не только улучшает технические свойства растворной смеси и затвердевшего раствора, но также снижает их себестоимость, потребление природных ресурсов и способствует стабилизации экологической обстановки.

Сухие строительные смеси на композиционных гипсовых вяжущих. В данной главе изложены результаты по получению ССС на основе КГВ с использованием техногенных золошлаковых отходов ТЭЦ в качестве активных минеральных добавок для мелкоштучных стеновых материалов и штукатурных растворов. Рациональные области их использования представлены на рисунке 15.

В работе для производства ССС на основе КГВ различного функционального назначения в качестве минеральных добавок применяли золу-унос и шлак ТЭЦ г. Грозный. Выбор данного вида крупномасштабных промышленных отходов для получения обозначенных композиционных материалов обоснован его наличием в

регионе, стране и в мире, а также совместимостью с другими компонентами получаемых строительных материалов, его высокой размолоспособностью и др.



Рисунок 15 – Рациональные области использования ССС на основе КГВ

При детальном изучении химического состава (таблица 12) тонкоизмельченных проб шлака и золы-уноса было установлено, что они содержат SiO_2 и Al_2O_3 (зола-унос в 2,7 раза меньше, чем шлак).

Таблица 12 – Химический состав золы-уноса и шлака

Вид добавки	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	SO_3
Шлак	67,46	15,05	2,65	0,36	0,54	5,45	5,16	2,59	0,24
Зола-уноса	52,44	5,57	11,37	0,28	2,35	19,80	2,02	0,86	1,28

Результатами РФА в шлаке выявлен SiO_2 , параметрами кристаллической решетки отличающийся от природного. В интервале углов θ 31-32° выявлено значительное фоновое увеличение под межплоскостными расстояниями алюмосиликатов $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ – ($d=3,283-3,23\text{\AA}$), что свидетельствует об их частичной аморфизации (рисунок 16). Методом расчета по максимальной интенсивности основных минералов шлака – SiO_2 и $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ определено их количество: для кристаллического SiO_2 – 56,9%; для аморфного SiO_2 – 3,7%; для аморфного $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ – 39,4%, которые могут проявлять гидравлическую активность с образованием гидросиликатов кальция второй генерации (при взаимодействии с Ca(OH)_2), способствуя

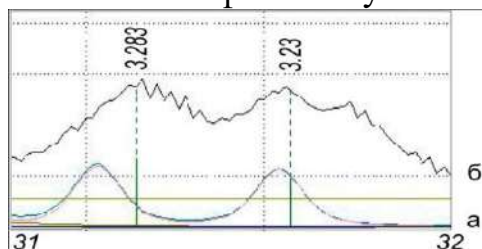


Рисунок 16 – Фоновое увеличение под межплоскостными расстояниями $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ в природе (а) и в шлаке (б)

повышению водостойкости и прочности гипсоцементного камня. Этот факт

свидетельствует о возможности их применения в составе КГВ в качестве активной минеральной добавки для сухих строительных смесей.

Установлены различия удельных поверхностей, гранулометрического состава, микроструктуры и морфологии поверхности частиц, используемых минеральных добавок (таблица 13, рисунок 17).

Таблица 13 – Значения показателей удельной поверхности и объема пор тонкомолотых минеральных добавок

Минеральная добавка	Значения показателей	
	Удельная поверхность по ПСХ-2, м ² /кг	Объем пор с R<19,4 нм, м ³ /кг
Зола-уноса	675	16,5
Шлак	470	4,0

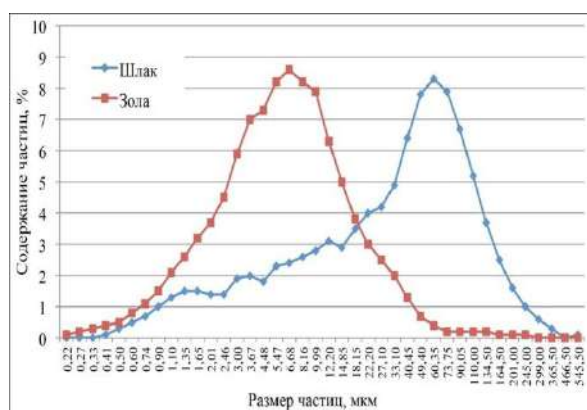
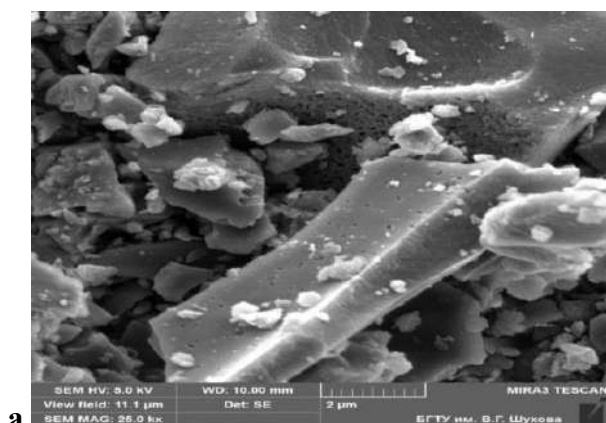
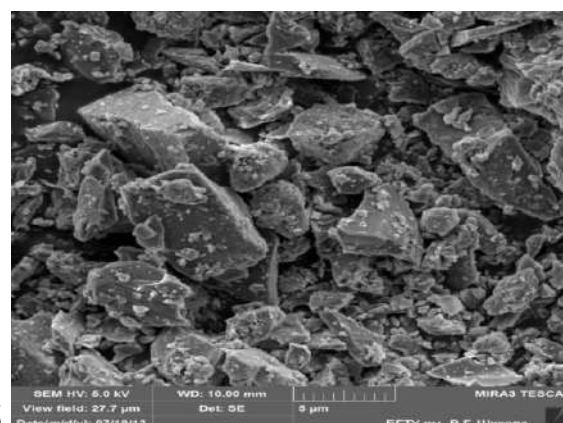


Рисунок 17 – Распределение частиц золы-уноса и шлака по размерам

Для микроструктуры и морфологии поверхности золы-уноса характерно строение разной формы (пластинчатой, неправильной и угловатой), а также крупности и плотности с наличием частиц крупного размера разнородной вогнутой формы (рисунок 18, а). Для шлака характерна более плотная, чем у золы-уноса, микроструктура, с наличием частиц в основном кубической формы разной крупности (рисунок 18, б)



а



б

Рисунок 18 – Микроструктура и морфология поверхности частиц: а – тонкомолотой золы-уноса; б- тонкомолотого шлака

Установлена химическая активность тонкодисперсных золы-уноса и шлака, способных снижать концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе КГВ при соотношении ПЦ/зола-уноса – 1:1...1,5 и соотношении ПЦ/шлак – 1:0,5 до уровня, при котором высокоосновные гидроалюминаты кальция становятся нестабильными и переходят в более устойчивые низкоосновные (по ТУ 21-31-62-89). На основе полученных результатов разработаны рецептуры составов КГВ (% по массе):

КГВ-1

- гипсовое вяжущее Г5Б II – 70 %
- портландцемент М500 Д0 – 20 %
- тонкомолотый шлак – 10 %

КГВ-2

- гипсовое вяжущее Г5Б II – 70 %
- портландцемент М500 Д0 – 12 %
- тонкомолотая зола-уноса – 18 %

Установлен

гранулометрический состав частиц разработанных КГВ и входящих в их состав компонентов (рисунок 19).

У КГВ-2 (с золой-уносом) частицы в основном имеют размер от 1,1 до 60,35 мкм. Частиц тонкой фракции (размером от 0,33 до 1,1 мкм) практически в 2 раза выше, чем у КГВ-1 с шлаком.

С помощью термокинетических исследований подтверждена реакционная активность золы-уноса и шлака после начала их взаимодействия с водой, способствующая повышению интенсивности ранней стадии гидратации КГВ (увеличение значения экзоэффекта) (рисунок 20).

Подтверждением стабильности структур твердевших композиционных гипсовых вяжущих в нормальных условиях в течение 1 года являются результаты РФА и микроструктурного анализа (рисунок 21).

Установлена эффективность совместного использования СП Полипласт СП-1 (0,3%) и лимонной кислоты (0,05%), что позволило замедлить начало схватывания гипсоцементной смеси до 30 мин 20 с и увеличить подвижность смеси до 265 мм.

Разработаны составы ССС на основе КГВ из жестких и подвижных смесей для мелкоштучных стеновых материалов с мелким заполнителем из местных сырьевых ресурсов Чеченской Республики – кварцевого песка и шлака (при соотношении КГВ:заполнитель – 1:1

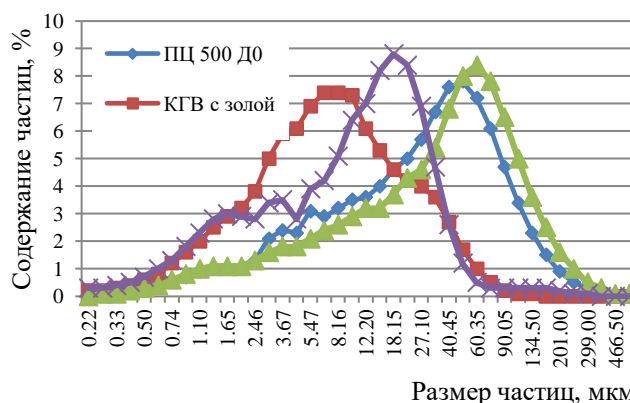


Рисунок 19 – Кривые распределения частиц КГВ и его компонентов

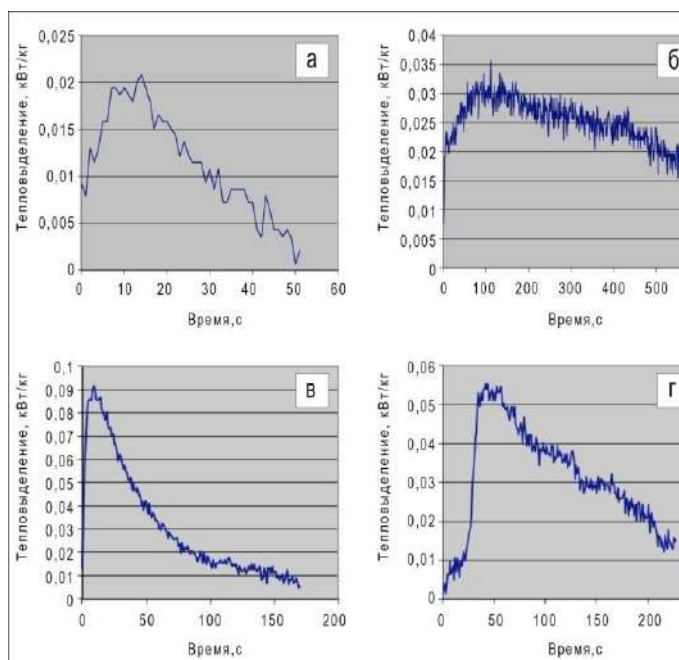


Рисунок 20 – Кинетика начального тепловыделения с момента смешения с водой: а) с шлаком); б) с золой-уноса); в) КГВ-1 (с шлаком); г) КГВ-2 (с золой-уноса)

и 1:2) с высокими эксплуатационными свойствами – классом по прочности В7,5...В35 (в зависимости от состава и способа уплотнения) с коэффициентом размягчения 0,66...0,73.

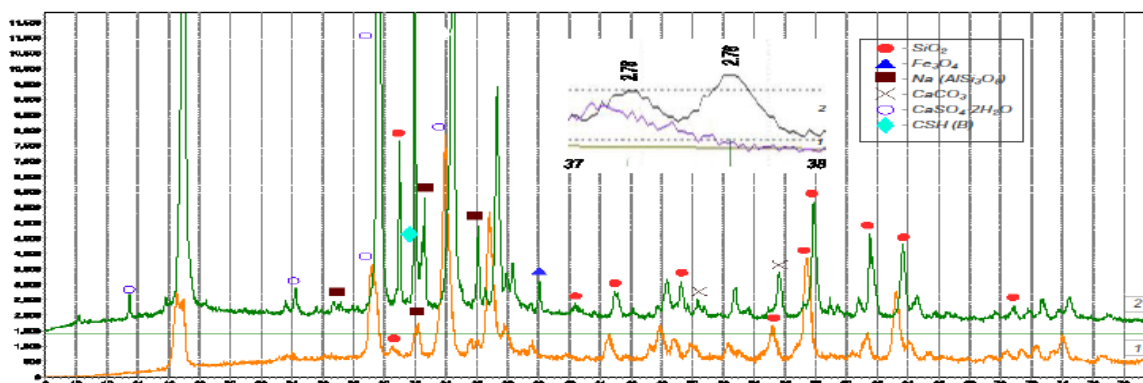


Рисунок 21 – РФА КГВ-1 со шлаком (1) и КГВ-2 с золой-уносом (2) и профили межплоскостных расстояний алита и белита в КГВ-1 со шлаком (2) и в КГВ-2 с золой-уносом (1)

Инвестиционно привлекательна технология производства стеновых материалов из подвижных бетонных смесей, как более простая и легко внедряемая, особенно для малого бизнеса (таблица 14).

Таблица 14 – Свойства ССС из жестких бетонных смесей на КГВ (с минеральной добавкой шлака/золы-уноса)

Показатели	Соотношение КГВ: мелкий заполнитель	
	1:1	1:2
со шлаком		
Средняя плотность, кг/м ³ 7 суток	2,24/2,26	2,23/2,33
28 суток	2,21/2,18	2,22/2,24
Рсж, МПа: 7 суток	32,63/8,0	23,16/7,5
28 суток	43,83/11,43	24,58/10,71
с кварцевым песком		
Средняя плотность, кг/м ³ 7 суток	2,21/2,25	2,09/2,23
28 суток	2,07/2,21	1,97/2,19
Рсж, МПа: 7 суток	23,14/19,38	16,83/12,25
28 суток	32,00/27,69	19,05/17,64

Разработаны составы сухих строительных смесей на основе композиционного гипсового вяжущего для штукатурных растворов с использованием в качестве заполнителя кварцевого песка Червленского месторождения, а также дробленого шлака из отвалов Грозненской ТЭЦ (при соотношении КГВ: мелкий заполнитель – 1:3), а также комплекса органических добавок – стабилизатора MAPF Forbo-Crete S 010 (0,07%, по воде), загустителя MAPF № Т10 (0,1%, от массы КГВ), вододерживающей добавки КМЦ (0,5% по

массе), замедлителя сроков схватывания – лимонной кислоты (0,1...0,2%, по массе).

По основным физико-техническим свойствам ССС (таблица 15) превосходят нормативные требования по ГОСТ Р 58279-2018, по водостойкости ($0,6 < K_p \leq 0,8$) и технико-экономическим характеристикам промышленно производимые аналоги на основе гипсовых вяжущих и могут применяться для оштукатуривания поверхностей при проведении внутренних работ в помещениях с сухим, нормальным режимом эксплуатации, а также при проведении наружных работ с условием защиты от длительного воздействия влаги.

Таблица 15 – Основные показатели качества сухих штукатурных смесей и затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ

Наименование показателей	Наименование штукатурной смеси		
	Штукатурная смесь с песком на основе КГВ (шлак/зола)	Штукатурная смесь с шлаком на основе КГВ (шлак/зола)	Нормативные показатели по ГОСТ Р 58279-2018
Подвижность, (диаметр расплыва образца), см	165 ±5	150±10 160 ±10	150±10 (для работ вручную)
			160±10 (для механизир. работ)
Время начала схватывания, мин	35	35	не менее 30 (для работ вручную)
	65	65	не менее 60 (для механизир. работ)
Жизнеспособность, мин	75	75	не нормируется
Водоудерживающая способность, %	96	97	не менее 95%.
R _{из} в возрасте 7 сут., МПа	1.4	1,6	не менее 1,0 .
R _{сж} в возрасте 7 сут., МПа	3,0...7,0	9,0...19,0	не менее 2,0
R _{сц} с основанием, 7 сут., МПа	0.35	0,36	не менее 0,3
Стойкость к образованию трещин в возрасте 1 сут.	отсутствие трещин	отсутствие трещин	отсутствие трещин

Промышленное внедрение разработанных на основе КГВ ССС осуществлено предприятием ООО «ЭЛИТСТРОЙ» г. Грозный при изготовлении стеновых блоков, используемых при индивидуальном жилищном строительстве 3-х домов коттеджного типа в поселке Мичурина Октябрьского района Чеченской Республики (рисунок 22, а), а внедрение разработанных на основе КГВ ССС для штукатурных растворов осуществлено при отделке общественного здания в г. Грозный, пр. Х. Исаева, д.7, возводимого ООО «Успех» (рисунок 22, б).

Внедрение и технико-экономическое обоснование. В главе представлены разработанные в рамках диссертационного исследования нормативные документы, результаты внедрения полученных результатов в производство и их технико-экономическое обоснование.



а)



б)

Рисунок 22 – Промышленное внедрение разработанных составов на основе КГВ: а- изготовленные в г. Грозный стеновые блоки на ООО «Элитстрой»; б- оштукатуренные с использованием ССС стены общественного здания, возводимого предприятием ООО «Успех» по пр. Х. Исаева, д.7, г. Грозный

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования. Наиболее перспективным вариантом переработки и утилизации техногенного сырья является его механическая или механохимическая обработка, позволяющая получить композиционные вяжущие с широким спектром технологических и физико-механических свойств (быстро-, нормально- или медленнотвердеющих, безусадочных, высокоактивных и прочих вяжущих) и изготавливать полифункциональные композиты с требуемыми физико-механическими, технологическими, эксплуатационными показателями, обеспечивающими необходимые условия для жизнедеятельности человека и комфортной среды его обитания.

Для сейсмостойкого строительства предложены технологические основы получения высокопрочных бетонов для эксплуатации в сейсмоопасных регионах, заключающиеся в использовании полиминеральных добавок для получения композиционных вяжущих, и заполнителей, подобранных с учетом закона подобия. Наличие в композиционном вяжущем непрогидратированных частиц цемента из материала рециклинга бетона, а также гидросиликатов кальция различной основности, позволит рассматривать твердение бетонной смеси как сложной многокомпонентной бетонной системы, способствующей формированию высокопрочной матрицы. Это позволяет получить на промышленных отходах самозалечивающиеся бетоны с пределом прочности при сжатии до 116 МПа, маркой по морозостойкости до F 300, с водопроницаемостью W 14 и выше, деформационными характеристиками в 1.5-4 раза ниже, чем у контрольных образцов.

Выявлено влияние рецептурно-технологических факторов на реологические характеристики смесей для высокоэффективных композитов с

химическим модифицированием. Установлено, что реологическая и водоредуцирующая эффективность действия пластифицирующих добавок в цементных суспензиях зависит от способа их введения в бетонную смесь. Эксперименты подтвердили эффективность двухэтапного перемешивания бетонной смеси с введением суперпластификатора на втором этапе смешивания.

Установлены технологические параметры стабилизации седиментационных показателей цементно-водных суспензий с использованием тонкомолотых минеральных техногенных добавок. Подтверждена эффективность применения этих наполнителей из материала от рециклинга цемента и керамического кирпичного боя в высокоподвижных бетонных смесях в качестве стабилизатора микроструктуры, предотвращающих процесс водоотделения и расслоения смеси, что является важным для повышения однородности свойств сейсмостойких материалов.

Выявлен характер образования структуры цементного камня в высококачественных бетонах, полученных с применением суперпластификатора. Установлено, что в результате замедления твердения бетонной смеси более чем в два раза жизнеспособность бетонных смесей увеличивается до 10 часов, что достигается использованием химической добавки «Динамикс РС» в сочетании с суперпластификатором того же класса «Динамикс ПК». Такое поведение бетонной смеси востребовано при непрерывном бетонировании монолитных конструкций на ответственных строительных объектах.

Доказана способность к самозалечиванию сквозных открытых трещин в бетонном композите с шириной до 0,8 мм, основанная на эффекте гидратации непрореагировавших ранее зерен цемента при смачивании открывшихся поверхностей в конструкциях в процессе их эксплуатации или вследствие динамических нагрузок, включая такие воздействия, как сейсмические. Этот эффект проявляется в результате фильтрации воды сквозь материал, что приводит к гидратации ранее непрогидратировавших зерен портландцемента и росту новообразований в микроструктуре композитной матрицы.

Разработаны оптимальные рецептуры и исследованы технические свойства лёгких бетонов на вторичных заполнителях из ККБ. Показано, что бетоны крупнопористой структуры с теплопроводностью 0,35 Вт/(м·°С) целесообразно применять в многослойных ограждающих конструкциях в качестве теплоизоляционного материала. Легкие бетоны плотной структуры классов В12,5–В20, соответствующие требуемым эксплуатационным характеристикам для ограждающих конструкций, рекомендуется использовать в качестве теплоизоляционно-конструкционного бетона.

Показано, что керамический кирпичный бой характеризуется повышенным сцеплением с цементной матрицей бетона, благодаря повышенной пористости поверхностных слоев. Тонкодисперсные частицы вяжущего глубоко проникают в поры и капилляры зерен заполнителей, где при гидратации ранее не прореагировавшего вяжущего в порах заполнителя образуются новообразования, обеспечивая формирование прочных связей между заполнителем и цементной матрицей и усиливая силу сцепления. По данным РФА установлено, что в зоне контакта осаждаются частицы гидратных фаз как положительно, так и

отрицательно заряженные, при этом электроповерхностные взаимодействия вносят дополнительный вклад в формирование плотного контакта между элементами цементного бетона. Установлено, что при изготовлении бетонных смесей на основе ККБ целесообразно использование двухстадийного способа перемешивания бетонных смесей, что нивелирует отрицательное влияние пылевидной фракции на сцепление между цементной матрицей и наполнителем, способствует повышению прочности бетона при сжатии на 11-27 %, позволяет использовать отход ККБ без обогащения и фракционирования.

Установлена взаимосвязь между прочностью сцепления и средством структур кладочных растворов со стеновыми материалами. Кладочные растворы с наполнителем из керамического тонкодисперсного материала характеризуются максимальной адгезией (0,62 МПа) к керамическому кирпичу и блокам на основе ККБ (0,59 МПа), что превосходит на 10-30% прочность сцепления растворов на основе композиционных вяжущих с наполнителями другого вида. Благодаря средству составов, образуется тождественная структура в зоне контакта, эффективно выполняющая роль связующего элемента, обеспечивающего монолитность кладки.

Для улучшения физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств кладочных и штукатурных растворов на мелких местных песках целесообразно модифицировать составы комплексной модифицирующей добавкой, полученной путем совместного измельчения золошлаковой смеси с суперпластификатором С-3. Применение КМД в дозировке 10 % ($S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$) продлевает сохраняемость растворной смеси (3,5-5 ч), способствует повышению водоудерживающей способности (97-98 %) и адгезии (0,49-0,51 МПа), снижает расслаиваемость (5,8-6,4 %).

Обоснована возможность создания эффективных ССС для мелкоштучных стеновых материалов и штукатурных растворов на основе КГВ, получаемых смешиванием гипсового вяжущего со специально подобранной механоактивированной смесью портландцемента, кремнеземсодержащего компонента из техногенного сырья (шлака и золы-уноса) и органических добавок. При твердении бетонного композита на их основе в большом объеме должны образовываться водонерастворимые, стабильные, цементирующие гидратные новообразования (гидросиликаты, гидроалюминаты, алюмосиликаты, гидроалюмоферриты кальция, и др.), которые способствуют оптимизации структуры и гарантируют повышенные показатели строительно-технических свойств ($R_{сж}$ на 15-20 %, повышение $R_{пр}$, модуля упругости и коэффициента Пуассона и призмочной прочности).

Разработаны строительные растворы на местных мелких песках, модифицированные КМД, марок М100-М150 с морозостойкостью F50-F75 и повышенной стойкостью против высолообразования. Разработана технологическая схема получения комплексной модифицированной добавки, используемой в рецептуре строительных растворов. Выпущена опытная партия строительных растворов с добавкой КМД, на их основе выполнены штукатурные и кладочные работы при строительстве жилых и общественных зданий. Утилизация механоактивированной золошлаковой смеси в производстве строительных

растворов на основе природных мелких песков улучшает технические свойства растворной смеси и затвердевшего раствора; снижает их себестоимость; способствует стабилизации экологической обстановки.

Изготовлены легкобетонные стеновые блоки на основе ККБ (388x190x188 мм) с несквозными пустотами, изготовленные методом полусухого вибропрессования на технологической линии «Рифей-04» предприятия ООО «МУСТАНГ» (г. Хасавюрт). С использованием стеновых блоков построено административное здание: технических дефектов наружных стен в течение периода эксплуатации здания не обнаружено.

Перспективы дальнейших исследований: изучить перспективы применения эффективных «зеленых» композитов для оптимизации среды обитания человека, в частности при возведении объектов специального назначения (акустических, гидротехнических, ирригационных сооружений, уникальных зданий); строительства в сейсмоопасных регионах; использования в его составе сырья различного генезиса; прогнозирования изменений физико-механических и фазово-структурных характеристик композитов в процессе их эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. *Алфимова, Н.И.* Модифицированное вяжущее / *А.Х. Аласханов, Я.Ю. Вишневская, М.С. Шейченко* // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 2. – С.30–33.

2. *Аласханов, А.Х.* Особенности структурообразования и формирования прочности прессованного мелкозернистого бетона / *А.Х. Аласханов, М.Ш. Саламанова, С–А.Ю. Муртазаев*// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – № 22. – С.120–126. (ИФ – 0,228)

3. *Аласханов, А.Х.* Использование золошлаковых смесей ТЭЦ для производства композиционных гипсовых вяжущих / *А.Х. Аласханов, Н.В. Чернышева, С–А.Ю. Муртазаев* // Экология и промышленность России. – 2013. – № 2. – С.26–29.

4. *Аласханов, А.Х.* Рецептура водостойких композиционных гипсовых вяжущих с компонентами техногенного происхождения / *А.Х. Аласханов, С–А.Ю. Муртазаев, С.А. Алиев, А.С. Успанова* // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. – № 4. – С. 63–77. (ИФ – 0,228)

5. *Аласханов, А.Х.* Высокопрочные цементные композиты с использованием комплексных добавок на основе наноструктурированных минеральных компонентов / *А.Х. Аласханов, С–А.Ю. Муртазаев, Д.К–С. Батаев, А.М. Абдуллаев, М. С. Сайдумов* // Научное обозрение. – 2017. – № 12. – С. 6–11.

6. *Аласханов, А.Х.* Техногенные отходы как сырьевая база для получения современных строительных композитов / *А.Х. Аласханов, С–А.Ю. Муртазаев, М. С. Сайдумов, И.С. Дагин, М.Р. Нахаев* // Экология и промышленность России. – 2019. – № 7. – С.31–35.

7. *Аласханов, А.Х.* Высокопрочные бетоны на основе многокомпонентных вяжущих и фракционированных заполнителей из отходов переработки горных пород / *А.Х. Аласханов, С–А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов* // Экология и промышленность России. – 2018. – № 6. – С.49–53.

8. *Аласханов, А.Х.* Бетонные композиты с использованием гравийно–песчаных смесей месторождений Чеченской Республики / *А.Х. Аласханов, С–А.Ю. Муртазаев, М. С. Сайдумов,*

М.С–М. Хубаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. – № 2(46). – С.136–147.

9. **Аласханов, А.Х.** Разработка составов наполненных вяжущих на основе вторичного сырья для монолитных высокопрочных бетонов / А.Х. Аласханов, Т. С–А. Муртазаев, М. С. Сайдумов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. – № 3(46). – С.129–138. (ИФ – 0,228)

10. **Муртазаев, С–А.Ю.** Теоретические основы совместимости многокомпонентных наполненных вяжущих систем / С–А.Ю. Муртазаев, **А.Х. Аласханов**, М.Ш. Саламанова, Д.К–С. Батаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – № 1(Т.47). – С.165–173. (ИФ – 0,228)

11. **Аласханов, А.Х.** Расчет и подбор зернового состава заполнителя из бетонного лома высокоплотной упаковки / А.Х. Аласханов, У.С. Аль–Бу–Али, Р.В. Лесовик, А.Н. Хархардин, А.Д. Толстой, А.А. Ахмед Анис, Ж.Т. Айменов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 6. – С.18–28.

12. **Саламанова, М.Ш.** Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов / М.Ш. Саламанова, С–А.Ю. Муртазаев, **А.Х. Аласханов**, Т. С–А. Муртазаева // Строительные материалы. – 2021. – № 5. – С.54–63. (ИФ – 0,636)

13. **Аласханов, А.Х.** Современные подходы к разработке многокомпонентных вяжущих с использованием техногенного сырья / А.Х. Аласханов, Х.Э. Таймасханов, М.С. Сайдумов, Т.С–А. Муртазаева // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2022. – № 1(27). – Т.ХVIII. – С.63–70.

14. **Сарсенбаев, Н.Б.** Влияние добавок отходов карбонатно-бариевых хвостов на свойства композиционных вяжущих и бетонов / Н.Б. Сарсенбаев, **А.Х. Аласханов**, **А.Ж.** Айменов, Б.К. Сарсенбаев, Ж.Т. Айменов, Ж. Алдияров, Г.Р. Сауганова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 4. – С. 24–31. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37307785>

В изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus

15. **Alaskhanov, A.Kh.** Fine–Grained Structure Concretes on the Basis of Composite Gypsum–Containing Binding Agents with a Man Made Filler / A.Kh. Alaskhanov, S–A.Yu. Murtazayev, N.V. Chernysheva, M.S. Saidumov // International journal of environmental & science education. 2016, Vol. 11. – № 18. – PP.12367–12381. <http://www.ijese.net/makale/1692> (Scopus (2016))

16. **Alaskhanov, A.Kh.** Composite binders with the use of fine raw materials of volcanic origin / M.Sh. Salamanova, S–A.Yu. Murtazayev, Sh.Sh. Zaurbekov // International journal of environmental & Science education. – 2016. – vol. 11. – No.18. – P.12711–12716. DOI: <http://www.ijese.net/makale/1741> (Scopus (2016)).

17. **Alaskhanov, A.Kh.** Multicomponent Binders with Organic Mineral Additive Based on Volcanic Ash / A. Kh. Alashkanov, M. Sh. Salamanova, S–A. Yu. Murtazaev, R.G. Bisultanov // Applied and Fundamental Research.” – 2018. – vol.177. – pp. 359–362. DOI: <https://www.atlantis–press.com/proceedings/isees–18/articles>

18. **Alaskhanov, A.Kh.** Influence of Plasticizer Introduction Method on the Efficiency of Cement Suspensions / A. Kh. Alashkanov, M.S. Saydumov, T.S–A. Murtazaeva, M.S–M. Khubaev, R.S–A. Murtazaeva // Applied and Fundamental Research.” – 2018. – vol.177. – pp. 267–270. DOI: <https://www.atlantis–press.com/article/55909663>

19. **Alaskhanov, A.Kh.** Impact of Technogenic Raw Materials on the Properties of High–Quality Concrete Composites / A. Kh. Alashkanov, S–A. Yu. Murtazaev, Sh.Sh. Zaurbekov, M.S. Saydumov, M.R. Khadzhiev, T.S–A. Murtazaeva // Applied and Fundamental Research.” – 2018. – vol.177. – pp. 275–279. DOI: <https://www.atlantis–press.com/article/55909665>

20. **Alaskhanov, A.Kh.** Development of Multicomponent Binders Using Fine Powders / A.Kh. Alaskhanov, M.Sh. Salamanova, S–A. Yu. Murtazaev, Z.Kh. Ismailova // Atlantis Highlights in

Material Sciences and Technology. – 2019. – Vol.1. – pp. 300–304. DOI: <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914191>

21. **Alaskhanov, A.Kh.** Building Demolition Products as a Secondary Raw Material for High-Strength Concrete / A.Kh. Alaskhanov, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, T.S–A. Murtazaeva, M.R. Khadzhiev // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. – 2019. – Vol.1. – pp.476–480. DOI: <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914226>

22. **Alaskhanov, A.Kh.** High-Quality Concrete for the Device of the Bearing Monolithic Structures of Buildings and Structures / A.Kh. Alaskhanov, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, M.R. Nakhaev // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. – 2019. – Vol.1. – pp.481–485. DOI: <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914227>

23. **Alaskhanov, A.Kh.** Building Demolition Products as a Secondary Raw Material for High-Strength Concrete / A.Kh. Alaskhanov, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, T.S–A. Murtazaeva // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. – 2019. – Vol.1. – pp.486–490. DOI: <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914228>

24. **Alaskhanov, A.Kh.** Designing High-Strength Concrete Using Products of Dismantling of Buildings and Structures / A.Kh. Alaskhanov, T. S–A. Murtazaeva, M.S. Saidumov, V. Kh. Hadisov // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod. – 2019. pp. 369–371. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_89

25. **Alaskhanov, A.Kh.** Multicomponent Binders with Off-Grade Fillers / A.Kh. Alaskhanov, M.Sh. Salamanova, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saydumov, M.M–S. Khubaev // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod. – 2019. – pp.360–364. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_87

26. **Alaskhanov, A.Kh.** Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing / A.Kh. Alaskhanov, M.Sh. Salamanova, S–A. Yu. Murtazaev, Z.Kh. Ismailova // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod. – 2019. – pp.385–388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93

27. **Alaskhanov, A.Kh.** High-Quality Concretes for Foundations of the Multifunctional High-Rise Complex (MHC) «Akhmat Tower» / A.Kh. Alaskhanov, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saydumov, M.R. Nakhaev // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod. – 2019. – pp. 365–368. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_88

28. **Alaskhanov, A.Kh.** Technogenic byproduct filler-based earthquake-resistant super concrete / A.Kh. Alaskhanov, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saydumov, T. S–A. Murtazaeva // Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals: PROCEEDINGS OF THE XII RUSSIAN–GERMAN RAW MATERIALS CONFERENCE (SAINT–PETERSBURG, RUSSIA, 27–29 NOVEMBER 2019). – 2020. – pp.186–195. DOI <https://doi.org/10.1201/9781003164395>

29. **Alaskhanov, A.Kh.** Comparative tests of cements in concrete mixtures of high mobility / A.Kh. Alaskhanov, S–A. Yu. Murtazaev, M.S. Saydumov, M.R. Nakhaev, M.R. Khadzhiev // 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 905 (2020) 012006. – 7 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012056>

30. **Lesovik, V.** Improving the behaviors of foam concrete through the use of composite binder / V. Lesovik, **A. Alaskhanov**, V. Voronov, E. Glagolev, R. Fediuk, A. Baranov, Y.H.M. Amran, G. Murali // Journal of Building Engineering. 2020. – T.31. – C.101414. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101414>

31. **Lesovik, V.** Durability behaviors of foam concrete made of binder composites / V. Lesovik, **A. Alaskhanov**, V. Voronov, E. Glagolev, R. Fediuk, A. Baranov, L. Zagorodnyuk, A. Svintsov // Magazine of Civil Engineering, 2020. –№100(8). Article №10003. – 12 p. DOI: 10.18720/MCE.100.3

32. Bazhenov, Yu. M. High-strength concretes based on anthropogenic raw materials for earthquake resistant high-rise construction / Yu. M. Bazhenov, **A.Kh. Alaskhanov**, S-A.Yu. Murtazaev, D.K-S. Bataev, T.S.-A. Murtazaeva, M.S. Saydumov // Engineering Solid Mechanics. (2291-8752-Canada-Iran), 00, 882182. 2021. – 12 p. DOI: 10.5267/j.esm.2021.1.004

33. **Alaskhanov, A.Kh.** Prospects for the use of waste cement industry in the production of clinker-free concrete / A.Kh. Alaskhanov, M.Sh. Salamanova, T. S-A. Murtazaeva, M.S. Saydumov // Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021). IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series 1926 (2021) 012012 – 7 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1926/1/012012

34. **Alaskhanov, A.Kh.** Regulation of Ca(OH)₂ Concentration in the Hardening System “Gypsum Binder-Portland Cement” By Introducing Ash and Slag Additives when Producing Composite Gypsum Binders (CGB) / A.Kh. Alaskhanov, N. V. Chernysheva, T. S-A. Murtazaeva, M.S. Saydumov, Yu.Y. Khrunyk // International Journal of Composite and Constituent Materials. – 2021. – Vol.7. – № 1. pp.1-8. <http://materials.journalspub.info/index.php?journal=JCCM>

35. *Lesovik, V.* Performance investigation of demolition wastes-based concrete composites / V. Lesovik, **A. Alaskhanov**, Ahmed Anees Alani, R. Fediuk, B. Kozlenko, A. Mugahed, Asaad Mohammad Ali, G. Murali, V. Uvarov // Magazine of Civil Engineering, 2021. –№106(6). Article №10608. – 10 p. DOI: 10.34910/MCE.106.8

36. *Lesovik, V.S.* Composite gypsum binders with silica-containing additives / V.S. Lesovik, **A.Kh. Alaskhanov**, N.V. Chernysheva, M.Yu. Drebezgova, S.V. Shatalova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – C. 032015. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032015

37. **Alaskhanov, A.Kh.** Structural formation of a clinkless cement binding alkali battery with thermoactivated margel / A.Kh. Alaskhanov, M.Sh. Salamanova, S-A.Yu. Murtazayev, Z.Sh. Gacayev / Materials Science Forum. – 2020. – B. 1011. – C. 8-13. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45213373>

38. **Alaskhanov, A.Kh.** Mineral powders dispersion degree effect on the properties of the cementing alkaline system / A.Kh. Alaskhanov, M.Sh. Salamanova, S-A.Yu. Murtazayev, M.Sh. MintsaeV, Z.T. Aymenov // Materials Science Forum. – 2021. – B. 1017. – pp. 31-40. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46755832>

39. *Lesovik, V.* 3D-Printed mortars with combined steel and polypropylene fibers / V. Lesovik, **A. Alaskhanov**, A. Volodchenko, M. Elistratkin, R. Fediuk, M. Amran, G. Murali, V. Uvarov // Fibers. – 2021. – T. 9. – № 12. – 14 p. DOI: 10.3390/fib9120079(Q1)

40. **Alaskhanov, A.Kh.** Increasing the efficiency of sand-gravel mixtures for the production of concrete aggregates / A.Kh. Alaskhanov // AIP Conference Proceedings, The II International Scientific Conference “Industrial and Civil Construction 2022”. – Volume 2758. – 020007. <https://doi.org/10.1063/5.0146622>

41. **Alaskhanov, A.Kh.** High-quality concretes based on the use of a finely dispersed volcanic additive and a superplasticizer / A.Kh. Alaskhanov, M.R. Nakhaev, T.S-A. Murtazaeva, R. Bisultanov, A. Salov // AIP Conference Proceedings, The II International Scientific Conference “Industrial and Civil Construction 2022”. – Volume 2758. – 020018. <https://doi.org/10.1063/5.0146623>

42. **Alaskhanov, A.Kh.** “Green” composites based on technogenic raw materials / A. Alaskhanov, V. Lesovik, A. Tolstoy // AIP Conference Proceedings, The II International Scientific Conference “Industrial and Civil Construction 2022”. – Volume 2758. – 020022. <https://doi.org/10.1063/5.0145717>

Объекты интеллектуальной собственности

43. Патент РФ №205716, МПК (51) В29С 64/20 (2017.01) В33У 30/00 (2015.01) (52) СПК В29С 64/20 (2021.02) В33У 30/00 (2021.02). Формующее устройство для аддитивного изготовления многослойных стеновых конструкций / В.С. Лесовик, М.Ю. Елистраткин, А.А. Шеремет, **А.Х. Аласханов**, А.Н. Бабаевский, Е.С. Глаголев. Заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова – № 2020142448 от 22.12.2020 г., опубли. 29.07.2021 г. – Бюл. № 22. – 5с.

44. Патент РФ № 2738882, МПК (51) С04В 28/04 (2006.01) (52) СПКС04В 28/04 (2020.08) С04В 28/06 (2020.08) С04В 24/26 (2020.08) С04В 14/04 (2020.08) С04В 18/04 (2020.08)

C04B2111/20 (2020.08). Высокопрочный мелкозернистый бетон на основе композиционного вяжущего с использованием техногенного материала / В.С. Лесовик, А.Д. Толстой, Р.В. Лесовик, Ахмед Ахмед Анис Ахмед., Д.С. Подгорный, **А.Х. Аласханов**, Аль-Бу-Али Уатик Саед Джасаам. Заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова – № 2020125219 от 29.07.2020 г., опубл. 17.12.2020 г. – Бюл. № 35. – 6 с.

45. Патент 2779824 Рос. Федерация: МПК C04B 28/02 (2006.01), C04B 14/06 (2006.01), C04B 18/04 (2006.01), C04B 22/08 (2006.01), C04B 40/00 (2006.01), C04B 111/20 (2006.01). Бетонная смесь (патент на изобретение) / М.Ш. Минцаев, М.Ш. Саламанова, С-А.Ю. Муртазаев, Д.К-С. Батаев, **А.Х. Аласханов**, М.Р. Нахаев, С.А. Алиев, М.С. Сайдумов, Т.С-А. Муртазаева Заявка № 2021119870 от 06.07.2021, опубликовано: 13.09.2022, – Бюл. № 26. – 8 с.

Монографии

46. **Аласханов, А.Х.** Анализ проблем комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья в технологии строительных материалов / А.Х. Аласханов // Грозный: Изд-во РПК «Спектр». – 2021. – 180 с. (ISBN 978-5-6044279-7-2).

47. **Аласханов, А.Х.** Бетонные композиты на основе техногенного сырья для условий сухого жаркого климата / А.Х. Аласханов, С.А. Алиев, Т.С-А. Муртазаева, Г.А. Имз, С.А. Удодов // Грозный: Изд-во РПК «Спектр». – 2021. – 158 с. (ISBN 978-5-6044279-8-9).

48. **Аласханов, А.Х.** Учебное пособие «Материалы и технология бетона» по дисциплине: «Технология бетона, строительных изделий и конструкций» / А.Х. Аласханов, М.С. Сайдумов, С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Грозный: Изд-во РПК «Спектр». – 2019. – 234 с. ISBN 978-5-6041021-7-6

49. **Аласханов, А.Х.** Учебное пособие по дисциплине: «Методы исследования и контроля качества строительных материалов» / А.Х. Аласханов, М.С. Сайдумов, Т. С-А. Муртазаева, Л.А. Яковлева // Грозный, Уфа: ГГНТУ, УГНТУ. – РПК «Спектр». – 2021. – 196 с. ISBN 978-5-6047711-6-7

50. **Баженов Ю.М.** Технология бетона, строительных изделий и конструкций (учебник)/ Ю.М. Баженов, **А.Х. Аласханов**, М.С. Сайдумов, С-А.Ю. Муртазаев // Москва; Вологда : Инфра-Инженерия. – 2022. – 480 с. ISBN 978-5-9729-0993-3