

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М.Д. Миллионщикова»**

На правах рукописи



АЛАСХАНОВ АРБИ ХАМИДОВИЧ

**ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Специальность 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

диссертация на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

С-А.Ю. Муртазаев



Грозный - 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	8
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	19
1.1 Современное состояние и перспективы расширения сырьевой базы для производства строительных материалов	23
1.2 Классификация твердых отходов и опыт использования техногенного сырья	29
1.3 Практика исследования и применения строительного лома	42
1.4 Проблемы сбора и подготовки техногенного сырья к переработке	56
1.5 Композиционные вяжущее с использованием техногенного сырья	71
Выводы по 1 главе	78
2. ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА КОМПОЗИТОВ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ	82
2.1 Особенности сырьевой базы строительного лома	92
2.2 Процессы структурообразования композиционного вяжущего	108
2.3 Управление синтезом новообразований в системе «цемент – минеральный наполнитель – ПАВ»	114
2.4 Состав и структура новообразований	120
2.5 Принципы повышения эффективности строительных композитов	126
Выводы по 2 главе	130
3. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СЕЙСМОПАСНЫХ РЕГИОНАХ	133
3.1 Современные представления о получении высокопрочных бетонов для эксплуатации в сейсмоопасных зонах	133
3.2 Зависимость седиментационных показателей цементно-водных систем от вида техногенного минерального наполнителя	136
3.3 Реакционная способность минеральных наполнителей техногенного происхождения	140
3.4 Роль минерального наполнителя из техногенного сырья в технологии получения смесей для высокопрочных бетонов	144

3.5 Подбор и обоснование химических модификаторов для получения высокопрочных бетонных смесей повышенной сохраняемости	148
3.6 Разработка композиционных вяжущих с применением техногенного сырья	152
3.7 Физико-механические свойства высокоэффективных цементных композитов	164
3.8 Эксплуатационные характеристики высокопрочных бетонов на основе местного природного и техногенного сырья	174
Выводы по 3 главе	187
4. МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ	190
4.1 Влияние малых архитектурных форм на улучшение среды обитания человека	190
4.2 Принципы получения мелкозернистых бетонов на основе техногенного сырья	192
4.3 Взаимосвязь компонентов состава мелкозернистых бетонов с их свойствами	198
4.4 Повышение эффективности мелкозернистых цементных композитов для малых архитектурных форм	228
4.5 Разработка композитов для МАФ на основе обогащения и фракционирования отсевов дробления бетонного лома	235
Выводы по 4 главе	244
5. СТЕНОВЫЕ БЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧНОГО БОЯ	246
5.1 Состав и свойства керамического кирпичного боя	246
5.2 Особенности проектирования и свойства композитов	249
5.3 Повышение эффективности бетонных смесей на основе ККБ	258
5.4 Микроструктура бетонного композита из ККБ в зависимости от состава	264
5.5 Технология стеновых материалов на ККБ	270

Выводы по 5 главе	273
6. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ	277
6.1 Повышение эффективности кладочного раствора для возведения стен из блоков на основе керамического кирпичного боя	277
6.1.1 Влияние композиционных вяжущих на свойства кладочных растворов	281
6.1.2 Микроструктура растворов, твердеющих на разнотипных основаниях	288
6.2 Строительные растворы с использованием золошлаковых отходов	290
6.2.1 Комплексная модифицирующая добавка на основе золошлаковых отходов	290
6.2.2 Структурообразование цементного камня с комплексной модифицирующей добавкой	295
6.2.3 Технология производства строительных растворов на основе КМД	297
Выводы по 6 главе	302
7. СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ	306
7.1 Особенности проектирования композиционных гипсовых материалов	308
7.2 Разработка состава КГВ для ССС	311
7.3 Рецептура и свойства ССС на основе КГВ	327
7.3.1 ССС на основе КГВ для стеновых материалов	328
7.3.2 Проектирование сухих штукатурных смесей на основе КГВ	338
Выводы по 7 главе	345
8. ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	347
8.1 Разработка нормативных документов	347
8.2 Внедрение результатов работы	348

8.2.1 Общие сведения о результатах выпуска опытных партий и их внедрения	348
8.2.2 Внедрение легких бетонных композитов на основе ККБ	349
8.2.3 Мелкозернистые бетоны на основе КГВ для мелкоштучных стеновых материалов	353
8.2.4 Внедрение высококачественных бетонов (ВКБ) на основе отходов разборки зданий и сооружений при монолитном строительстве	354
8.2.5 Строительные растворы на основе некондиционного и техногенного сырья для отделочных и кладочных работ	358
8.2.6 Мелкозернистые бетоны на основе отсевов дробления бетонного лома для изготовления мелкоштучных элементов мощения	360
8.3 Техничко-экономическое обоснование результатов работы	363
8.3.2 Расчет материальных затрат на получение высококачественных бетонов на основе отходов разборки зданий и сооружений	369
8.3.3 Расчет материальных затрат на получение строительных растворов на основе КМД	374
8.3.4 Расчет материальных затрат на изготовление мелкозернистых бетонов на основе отсевов дробления для специальных конструкций и элементов мощения	376
Выводы по 8 главе	379
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	381
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	385
Приложение 1. Технологический регламент на производство мелкоштучных стеновых материалов из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и брака	447
Приложение 2. Стандарт организации «Пористые вторичные заполнители из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для бетонов и строительных растворов и теплоизоляции»	448
Приложение 3. Стандарт организации «Композиционные гипсовые вяжущие с использованием золо-шлаковых отходов»	449

Приложение 4. Рекомендации по изготовлению изделий из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем	450
Приложение 5. Технологический регламент на производство композиционного гипсового вяжущего для производства мелкоштучных стеновых материалов	451
Приложение 6. Технические условия «Строительные штукатурные растворы марок М75...М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье»	452
Приложение 7. Рекомендации на приготовление и применение строительных штукатурных растворов марок М75 ... М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье	454
Приложение 8. Технологический регламент на производство высококачественных бетонных смесей повышенной жизнеспособности с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья	455
Приложение 9. Технологический регламент на производство бетонных композитов на наполненном вяжущем с наполнителем из отходов дробления бетонного лома	456
Приложение 10. Акт о выпуске опытной партии мелкоштучных стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя в промышленных условиях	457
Приложение 11. Акт о производственном внедрении стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях	458
Приложение 12. Акт о выпуске опытной партии стеновых блоков на основе КГВ	459
Приложение 13. Акт о производственном внедрении стеновых блоков на основе КГВ	460
Приложение 14. Акт опытно-промышленного производства монолитной бетонной смеси марки БСТ В40 П5 F100 W8 на РБЗ ООО «СК Чеченстрой»	461

Приложение 15. Акт опытно-промышленного производства высококачественной бетонной смеси марки БСТ В30 П5 F200 W12	463
Приложение 16. Справка о внедрении высококачественных монолитных бетонов	464
Приложение 17. Документ о качестве бетонной смеси	465
Приложение 18. Акт апробации опытной партии высококачественного бетона в промышленных условиях	466
Приложение 19. Справка о внедрении строительных растворов на основе техногенного сырья	467
Приложение 20. Акт выпуска и внедрения опытно-промышленной партии мелкоштучных элементов мощения из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья	468
Приложение 21. Протокол о намерениях внедрения результатов между ГГНТУ и ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ»	469
Приложение 22. Протокол о намерениях внедрения результатов между ГГНТУ и ООО «СтройГрупп»	471
Приложение 23. Протокол внедрения результатов работы в учебный процесс	473
Приложение 24. Акт о выпуске опытной партии малых архитектурных форм (МАФ)	475
Приложение 25. Справка о внедрении полифункциональных строительных композитов гидратационного твердения на основе техногенного сырья	477

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы исследования. 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 в результате вооруженных конфликтов, землетрясений и реноваций зданий и сооружений, а также 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 настоящее время являются разработка методологии проектирования и производства полифункциональных строительных материалов и строительство на их основе зданий и сооружений.

Реализация этих задач позволит не только улучшить экологическую обстановку, но и снизить энергоёмкость производства строительных материалов, улучшить среду обитания человека 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 промышленных отходов в отвалах и отстойниках, влияния на процессы структурообразования и эксплуатационных свойств бетонов разных классов, 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;
- разработка гипотезы о возможности создания эффективных модифицированных дисперсно-армированных бетонов на полиминеральных композиционных вяжущих для эксплуатации в сейсмоопасных районах;
- выявление особенностей структурообразования композитов для малых архитектурных форм (МАФ), стеновых блоков и сухих строительных смесей и изучение 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 на основе 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 с использованием отсева дробления материала рециклинга бетона и горных пород в зависимости от их свойств (состава, водоудерживающей способности, прочности, пустотности, удельной поверхности и т.д.), что позволило получить широкую номенклатуру новых бетонов на основе композиционного вяжущего для производства МАФ, которые отличаются повышенной прочностью и плотностью, меньшим диаметром пор, повышенной износостойкостью и водонепроницаемостью, а также имеют умеренные относительные деформации усадки.

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-го типа, активность которых обусловлена физическим срастанием поверхности с цементной матрицей за счет проникновения в поры и капилляры зерен заполнителей тонкодисперсных частиц вяжущего. При их дальнейшей

гидратации происходит образование гидратных фаз в порах, что способствует формированию дополнительных связей между цементной матрицей и заполнителем.

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 создания эффективных сухих строительных смесей (ССС) для мелкоштучных стеновых материалов и штукатурных растворов на основе композиционных гипсовых вяжущих, получаемых помолом гипсового вяжущего со специально подобранной смесью портландцемента, кремнеземсодержащего компонента из техногенного сырья (шлака и золы-уноса) и органических добавок. При твердении системы образуется дополнительное количество стабильных, водонерастворимых, цементирующих гидратных новообразований (гидросиликатов, алюмосиликатов, гидроалюминатов, гидроалюмоферритов кальция и др.), оптимизирующих структуру и обеспечивающих высокие показатели функциональных и эксплуатационных свойств.

Личный вклад автора. Полученные в диссертационном исследовании результаты являются самостоятельной разработкой автора. При формулировке проблемы, цели и задач исследования автору принадлежит определяющая роль, также как и в планировании и проведении экспериментов, анализе и обобщении полученных результатов. Автору во всех печатных работах, опубликованных в соавторстве, в равной степени принадлежат сформулированные теоретические положения и результаты экспериментов.

Автором сформулированы, развиты, обоснованы и реализованы принципы технологического подхода к определению рецептур и технологии получения полифункциональных строительных композитов на основе использования техногенного сырья, раскрывающие научную новизну работы, а также прикладных разработок, имеющих практическое значение.

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 учётом 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 из керамического кирпичного боя.

Предложена технология приготовления бетонных смесей для малых архитектурных форм на основе вторичного заполнителя из керамического кирпичного боя с использованием двухстадийного способа перемешивания, что позволяет использовать его без 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 рациональная область использования золошлаковых отходов ТЭЦ в качестве активных минеральных добавок при производстве композиционного гипсового вяжущего (КГВ) и сухих строительных смесей на их основе, оптимизированы их составы, что позволяет одновременно решать вопросы экологии и расширения базы сырьевых ресурсов для производства стеновых и отделочных материалов, в том числе для малых архитектурных форм.

Разработаны и методически обоснованы рекомендации по оптимизации широкой номенклатуры составов сухих строительных смесей на композиционном гипсовом вяжущем с микродисперсными минеральными добавками из техногенного сырья (золой-уносом и шлаком) и химическими добавками для производства мелкоштучных стеновых и отделочных

материалов (штукатурных растворов) повышенной водостойкости и долговечности, с меньшими энергетическими затратами классов по прочности на сжатие - В 7,5–В 30, коэффициентом размягчения - $K_p = 0,8-0,88$, средней плотностью - $D1000-2100 \text{ кг/м}^3$, морозостойкостью - 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, реологических моделей и знаков, метода расчета прогнозируемой прочности вяжущих на основе теории переноса, лазерной гранулометрии, адсорбционных методов определения удельной поверхности и порометрии, изотермической калориметрии, математического аппарата структурной топологии и др.

Положения, выносимые на защиту:

– выявленный механизм самозалечивания сквозных трещин в композите с шириной раскрытия до 0,8 мм, основанный на эффекте смачивания поверхностей, которые могут появиться в процессе эксплуатации вследствие динамических нагрузок, включая сейсмические воздействия.

– предложенные принципы проектирования сухих строительных смесей на основе композиционного гипсового вяжущего для стеновых и отделочных материалов на основе техногенного сырья ЧР (золы-уноса и шлака), а также результаты комплексных исследований продуктов их гидратации и процессов

структурообразования.

– структурные особенности и свойства техногенного сырья, а также получаемых на его основе композиционных гипсовых вяжущих и сухих строительных смесей для стеновых и отделочных материалов.

– разработанные рекомендации по технологии изготовления КГВ и ССС на их основе.

– полученные результаты экспериментально-теоретических исследований физико-механических свойств сухих строительных смесей на композиционных гипсовых вяжущих 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 строительных композитов на бесклинкерных вяжущих щелочной активации на предприятиях ООО «Элитстрой», ООО «ПГС-85», ООО «Строй Групп», ООО «Мустанг», ООО «Водстрой», ИП Умарова Л.Ш., ООО «СК Чеченстрой», ООО «Град», ООО «Мегастройинвест». Технико-экономическая эффективность предлагаемой

технологии составила 217 – 1270 руб. на 1 м³ продукции в зависимости от вида получаемого композиционного материала.

Теоретические положения работы и результаты экспериментальных исследований используются в образовательном процессе при подготовке студентов направлений: бакалавриата 08.03.01 – «Строительство», магистратура 08.04.01 – «Строительство», специалитета 08.05.01 – «Строительство уникальных зданий и сооружений», подготовке кадров высшей квалификации 08.06.01 – «Техника и технологии строительства», а также при выполнении студенческих научно-исследовательских работ.

Разработана нормативно-техническая документация: технологический регламент на производство мелкоштучных стеновых материалов из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и брака; стандарт организации «Пористые вторичные заполнители из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для бетонов и строительных растворов и теплоизоляции»; стандарт организации «Композиционное гипсовое вяжущее с использованием золошлаковых отходов»; рекомендации по изготовлению изделий из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем; технологический регламент на производство композиционного гипсового вяжущего для производства мелкоштучных стеновых материалов; технические условия на производство строительных штукатурных растворов марок М75 и М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье; рекомендации на приготовление и применение строительных штукатурных растворов марок от М75 до 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 478 страницах машинописного текста, включающего 89 таблиц, 144 рисунка и фотографий, списка литературы из 505 наименований, 25 приложений.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В настоящее время в связи с развитием технического прогресса, постоянно меняющимися условиями окружающей среды для создания комфортных условий для жизнедеятельности человека нужны новые эффективные материалы с требуемыми свойствами. Особенности 20 века и наступивший 21 век характеризуется воздействием на человека множества отрицательных факторов: загазованностью и запыленностью воздуха, неблагоприятными температурными режимами, повышенным шумом, увеличением вибрационных воздействий, различными неблагоприятными излучениями.

За счет комплекса проблем окружающей среды, природных и техногенных катаклизмов, происходит истощение запасов углеводов и деградация экологической обстановки на планете. Это не может проходить бесследно для человечества и поэтому в последние десятилетия возросло в пять раз число катастрофических последствий разрушительных природных аномалий, а количество пострадавших от чрезвычайных и аварийных ситуаций увеличилось в десятки раз (с 2 до 160 млн. ежегодно).

Немаловажным фактором загрязнения окружающей среды является шумовая агрессия, стоящая наряду с проблемами загрязнения атмосферы, почвенного покрова и водных ресурсов. Влияние слышимого диапазонов звука, а также инфразвука и ультразвука на человеческий организм и на биосферу в целом, характеризуется сложными и, в ряде случаев, необратимыми последствиями. Очевидно, что в результате значительно повысившихся природных и техногенных воздействий на окружающую среду и соответствующих трансформаций и деформаций биосферы и ноосферы, возникает необходимость в создании, изучении и адекватном применении комплекса мероприятий по разработке и всестороннем исследовании строительных материалов в различных, в том числе экстремальных, условиях эксплуатации. Поэтому перед научным сообществом встают совершенно новые задачи комплексной оптимизации среды обитания человека за счет

применения окружающих его строительных материалов, ведь большую часть своей жизни люди проводят именно внутри строительных объектов.

В ходе создания строительных материалов проектировщики должны учитывать в рассматриваемой системе взаимодействие со всей экосистемой, закладывая возможность реагировать на внешние воздействия, позитивно влияя на триаду «человек – материал – среда обитания», что составляет собой основу проектирования композитов будущего.

Важным элементом создания строительных материалов является класс акустических композитов, потому что воздействие звукового загрязнения на качество жизни человека сравнимо с глобальным изменением климата, радиационного фона, гравитации и т.д. Особую актуальность это приобретает в связи с нестабильной политической обстановкой в мире, влекущей за собой «гонку вооружений», в том числе и разработку новых образцов нелетального акустического оружия. Исходя из вышеизложенных причин, создание благоприятного акустического режима является актуальным направлением строительного материаловедения.

Развитие теории и практики бетонов и цементных композиционных материалов на современном этапе связано с переходом к разработке наноструктурированных, многокомпонентных, многослойных, многоуровневых композиционных полифункциональных материалов с заданным набором физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик, их структурной и функциональной организацией, а совершенствование фундаментальных основ проектирования, синтеза, эксплуатации, разрушения и рециклинга полифункциональных цементных композитов нового поколения является важнейшей современной трансдисциплинарной проблемой.

В этой связи, налицо необходимость создания высокоэффективных цементных композиционных материалов, использующих новые виды доступного сырья (в том числе некондиционного), и обладающих набором требуемых эксплуатационных характеристик. Это может быть достигнуто

путем применения и дальнейшего совершенствования долговечных, водостойких и морозостойких материалов, использование которых даст возможность уменьшить дефицит стеновых изделий различного назначения, а также позволит заместить дорогие, энергоемкие и экологически небезопасные цементные бетоны и, в определенной степени, снизить сроки строительства объектов.

Существенно можно повысить эффективность новых полифункциональных композитов за счет внедрения современных технологий производства строительных материалов с использованием нового сырья, расширения спектра технологий получения нанопорошков из гидротермальных вод, использования выбросов пепла при вулканических извержениях. Отдельная тема – использование ресурсов морей и океанов, таких как плавучие острова и подводные месторождения сырьевых ресурсов, имеющих большой потенциал для применения в строительной промышленности.

В современных условиях необходимо усилить исследования, направленные на создание благоприятных условий для стабилизации системы «человек – материал – среда обитания». Необходимо строить жилье и места трудовой деятельности с учетом комфортности пребывания, а для этого необходимо строить по-новому, используя новые объемно-планировочные решения и технологии возведения зданий и сооружений.

Номенклатура строительных материалов к настоящему времени, к сожалению, изменяется не так быстро, а для создания новых объектов нужны материалы, обладающие комплексом технологических и эксплуатационных свойств, заключающихся в их безопасности, защите от окружающей среды, связанные с защитой от различных видов излучений.

Экологические вызовы и новые подходы устойчивого экономического развития в мире в современных реалиях диктуют разработки и внедрения в строительное производство энерго- и ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов нового поколения (в том числе, так

называемые, зеленые композиты), основанных на комплексном (безотходном) использовании при их получении техногенного сырья.

Особенно большой интерес в плане утилизации техногенного сырья представляют цементная промышленность и производство строительных конструкций из сборного и монолитного бетона и железобетона, для которых отечественными и зарубежными учеными разработаны и предложены многочисленные способы и приемы по оптимизации их составов и повышению эффективности использования техногенного сырья определенной природы – отходы деревообрабатывающей, металлургической, химической промышленности [1, 2].

Основное место среди них занимают такие технологические приемы, используемые в незначительных количествах в строительном комплексе нашей страны, как разработка композиционных вяжущих с наполнителем из техногенного сырья и получение на их основе многокомпонентных бетонов и строительных растворов различного назначения [3, 4], позволяющие получать строительные композиты с необходимыми свойствами. Однако, нормативно-техническая база и полномасштабная постановка и решение сложнейшей задачи по утилизации многотоннажных отходов разборки зданий и сооружений с получением вторичных сырьевых материалов для производства полифункциональных композитов, с учетом особенностей каждого вида техногенного сырья, в практике строительного производства практически отсутствуют.

Общеизвестно, что в настоящее время существуют сотни разновидностей бетонных композитов (от особо легких, низкомарочных до особо плотных и высокопрочных бетонов) – ячеистые, самоуплотняющиеся, безусадочные, расширяющиеся и др. При этом к сырьевым материалам для каждого вида композита предъявляются индивидуальные определённые требования, учитывающие особенности их получения и последующей эксплуатации.

В связи с вышеизложенным, для решения поставленных в данной работе

задач необходимо провести анализ существующей природной и техногенной сырьевой базы производства строительных материалов и изучить отечественный и зарубежный опыт утилизации вторичного сырья.

1.1 Современное состояние и перспективы расширения сырьевой базы для производства строительных материалов

Для создания эффективных полифункциональных композитов многофункционального назначения необходимо наличие новых видов сырьевых ресурсов, а учитывая, что отрасль строительного материаловедения является весьма материалоемкой, то и сырьевая база должна быть ей соответствующей.

В настоящее время состояние с природными ресурсами обстоит следующим образом. Природные каменные горные породы — основная сырьевая база для промышленности строительных материалов (вяжущие вещества, заполнители для бетонов, стеновые изделия и т.д.).

Промышленность строительных материалов России включает 25 видов производств, куда входят около 9,5 тыс. заводов, а также 2,2 тыс. более мелких и средних предприятий. На малые предприятия приходится промышленной продукции до 7% [5]. Согласно опубликованным данным в 20 веке только в России было изготовлено более 23 млрд. тонн бетона [6]. А по данным Американской ассоциации производителей цемента, более 18 млрд кубических метров бетона произведено ведущими индустриальными державами мира только в 2019 году.

По данным исследований отраслевых специалистов за последние 20 лет, количество разведанных и разрабатываемых месторождений значительно уменьшилось, особую значимость получили месторождения с малыми запасами, т.к. месторождения среднего размера активно вырабатываются. Сокращается наличие месторождений с сырьем кондиционного качества для отрасли, расположенных рядом с местами их потребления.

В связи с вышеизложенным, весьма актуально стоит вопрос об

использовании вторичного сырья, к которому относятся вскрышные и вмещающие горные породы, а также отходы переработки добываемого сырья для различных отраслей промышленности, в том числе и производства нерудных строительных материалов. Отходы строительства в России составляют в год более 1 млн м³ щебня, к сожалению, учета выхода этих отходов в стране не ведется. В странах с высокими показателями выпуска бетона отходы составляют десятки млн т: в Германии – 60 млн т, в Великобритании – 30 млн т, во Франции – 24 млн т, в США – более 100 млн т.

В планетарном масштабе ежегодно нарастает проблема использования отходов как техногенных, так и от жизнедеятельности человечества, это касается как материковой, так и водной частей континента. В некоторых регионах до 30% территорий занято отходами различного происхождения. Количество их постоянно увеличивается. Накопление разнородных отходов происходит стихийно, что создает дополнительные проблемы с их дальнейшим складированием, утилизацией или повторным использованием.

Если природные месторождения сырьевых материалов имеют определенное геологическое строение и специфику залегания природных пластов и в соответствии с этими особенностями ведут добычу сырья и отправляют на последующую технологическую переработку, то в случае использования вторичного техногенного сырья необходимо выполнить ряд серьезных мероприятий. Прежде всего необходимо обеспечить организацию складирования каждого вида отходов по определенным принятым критериям для последующего их использования в различных направлениях, к примеру: как сырьевого компонента при производстве цемента, как заполнителя или минерального наполнителя при производстве бетонов или композиционных вяжущих, при производстве керамзита как выгорающая добавка и т.д.

Необходимо организовать правильное складирование с обеспечением усреднения новых партий поступающих отходов с оценкой их однородности, стабильности свойств, с обеспечением условий и длительности хранения отходов для последующего использования, а также необходимо

предусмотреть возможность технологической подготовки (дробление, грохочение, затаривание и проч.)

Целесообразно использование новейшего оборудования, используемого для сбора и складирования магнетитовых и гематитовых руд, заключающееся в том, что на зубьях экскаваторных ковшов установлены индикаторы и спектрометры, определяющие химический состав собираемого материала в текущий момент.

Особого внимания требует решение вопроса перевода этих «техногенных отходов» в разряд сырьевых материалов для использования в конкретном направлении при производстве определенных строительных материалов и изделий. Необходимо создать и оформить надлежащим образом нормативные документы на использование этих новых техногенных сырьевых материалов.

К настоящему времени сложились следующие мировые тенденции развития производства нерудных строительных материалов:

- нарастающий рост во всем мире объемов потребления нерудных строительных материалов и увеличение их номенклатуры в связи с развитием строительных технологий;
- появление новых видов оборудования, предназначенного для разработки и придания необходимых свойств сырьевым материалам для изготовления строительных изделий и материалов;
- создание единых предприятий, объединенных в холдинги и национальные мировые компании, выпускающие продукцию с высокими конкурентными показателями;
- освоение новых месторождений.

Такие подходы к развитию промышленности нерудных строительных материалов в определённой степени противоречат концепции ресурсных циклов, предложенной И.В. Комаром (рисунок 1.1), основанной на идее постоянного круговорота всех природных веществ, когда в процессе природных преобразований все элементы из начального состояния переходят

в следующее, от исходного природного компонента к последующему. Таким образом, в основе этой идеи заложен замкнутый цикл, исключая наличие каких-либо отходов.

В процессе развития человечества сложилась тенденция, что из природы изымается значительная доля материала, а обратно в нее возвращается не менее значительная масса техногенных отходов, которые не могут ассимилироваться природой, их становится все больше и больше, они загрязняют окружающую среду и нарушают естественный оборот веществ.



Рисунок 1.1 – Ресурсный цикл круговорота веществ в природе

Отдельное звено природного круговорота вещества условно называется ресурсным циклом, включающим совокупность всех превращений и возможных пространственных изменений природного вещества в процессе его изучения, добычи, различной переработки, использования и рециклинга в природу после целевого назначения. Приведенный цикл является незамкнутым, т.к. на всех этапах своего жизненного пути имеет значительное

количество отходов техногенного происхождения. Установлено шесть исходных циклов круговорота природных ресурсов с возможным образованием техногенных отходов [7]:

- цикл энергетический, включающий энергоресурсы и возможное получение энергии;
- цикл ресурсов, позволяющий получить металлы;
- цикл минеральных неметаллических ресурсов с получением строительных, химических и различных технических материалов;
- цикл ресурсов леса, получение материалов леса и других древесных материалов;
- цикл ресурсов земельно-климатических, выращивание и переработка сельскохозяйственного сырья и получение продуктов;
- цикл естественной природы: дикой флоры и фауны, получение продукции различных промыслов – рыбных, охотничьих, собирательства грибов, полезных растений и т.п.

По мнению авторов [7], деятельность человечества представляет собой созидательную силу, сравнимую со сложными и мощными геологическими планетарными процессами. Это неизбежно, т.к. численность населения Земли постоянно возрастает, интенсивно развивается наука, на планете происходят серьезные изменения, связанные с активным воздействием человека на окружающую среду.

В современных условиях, в условиях научно-технического прогресса, необходимо разработать новые рациональные подходы к природопользованию, внедрить новые эффективные технологии различных производств, рационально и комплексно использовать природные ресурсы, осваивая безотходные низкоэнергоемкие технологии.

Разработка, создание и внедрение малоотходных и безотходных ресурсосберегающих технологий (рисунок 1.2) в социально-экономических, технических и технологических процессах на основании достижений научно-технического прогресса будет способствовать восстановлению выше

описанного замкнутого безотходного ресурсного цикла.

Сложившийся катастрофический техногенный тип экономического развития мировых держав стал причиной разработки концепции устойчивого мирового развития с учетом экологических ограничений, поскольку производство столкнулось с обострением экологических проблем и ограниченностью природных ресурсов. В докладах [8,9] конференции ООН в Рио-де-Жанейро по вопросам сохранения окружающей среды и дальнейшему ее развитию (2019 г.) сказано, что отрицательное воздействие на окружающую среду в процессе деятельности человечества угрожает не только отдельным странам, но представляет существенную опасность и для всей планеты.

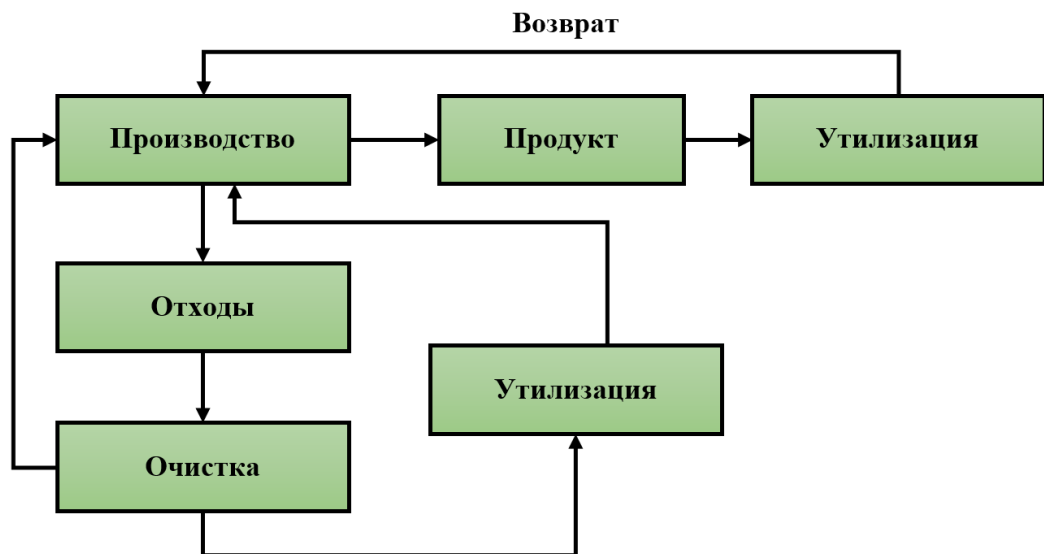


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема малоотходной технологии

Большую роль в реализации условий концепции устойчивого развития играет как раз разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, основанных на утилизации техногенного сырья.

Таким образом, на основании анализа отечественной и зарубежной практики добычи и переработки природных ресурсов, а также прогнозов и требований программ устойчивого развития человечества, можно констатировать актуальность и перспективность: перехода от традиционных технологий строительных материалов на природном сырье к энерго- и

ресурсосберегающим технологиям безотходного их производства; разработки эффективных технологий утилизации техногенных отходов с учетом их состава и генезиса с получением вторичного сырья и полуфабрикатов; наладки производства строительно-композиционных материалов нового поколения с комплексным использованием вторичного сырья.

1.2 Классификация твердых отходов и опыт использования техногенного сырья

Сырьевая база для производства строительных материалов за последние 30 лет значительно сократилась, одновременно с этим резко увеличилась добыча природного сырья для получения металлов, возросло количество отходов обогащения полезных ископаемых и отсевов дробления, образовалось огромное количество отходов от работы предприятий теплоэнергетики.

В последние годы в связи с проведением мероприятий по реновации крупных и средних городов в стране образовалось огромное количество отходов от разборки зданий и сооружений.

В связи с природными катаклизмами и стихийными бедствиями, связанными с наводнениями, землетрясениями, цунами образуется значительное количество отходов из-за обрушения зданий и сооружений. Возникающие конфликты в ряде стран порождают военные действия, которые приводят опять же к образованию отходов от разрушенных жилых, гражданских и промышленных объектов и сооружений.

В последние десятилетия остро стал вопрос реновации городов различной величины и городских поселений. Проводимая в России и в других странах мира реновация приводит к образованию значительных объемов самых различных отходов от снесенных и разобранных зданий, построенных из бетонных и железобетонных конструкций, из керамического или силикатного кирпичей, из шлакоблоков, газобетона, пенобетона, деревянных щитовых конструкций и т.д.

Все имеющиеся твердые отходы можно классифицировать по

следующей схеме (рисунок 1.3). Учитывая, что ставится цель придать твердым отходам статус «техногенного сырья», а также уже имеющийся определенный опыт использования техногенного сырья для определенных строительных изделий и материалов, к техногенному сырью относятся:

- отходы различных отраслей промышленности;
- отходы горнопромышленного производства;
- отходы обогащения различных руд;
- отходы теплоэнергетики (золы, шлаки, золошлаковые отходы);
- отходы переработки природного сырья;
- отходы природных и техногенных катастроф, военных действий;
- отходы реновации городов и поселков.

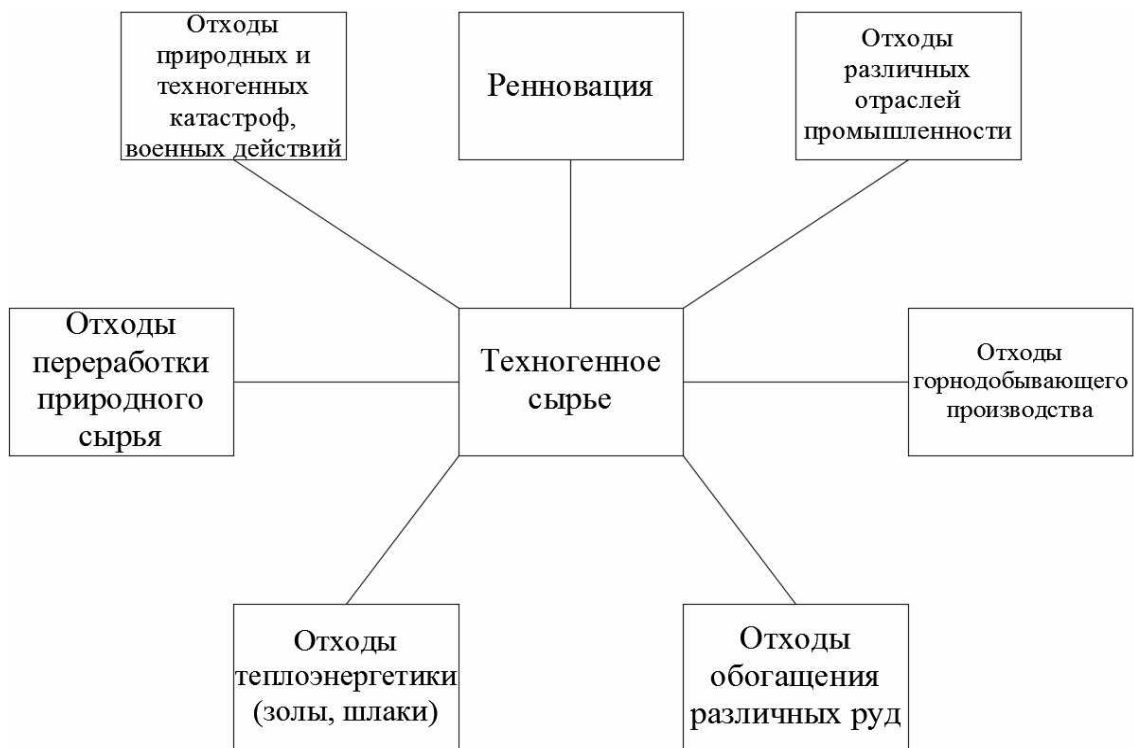


Рисунок 1.3 – Классификация техногенного сырья

В современном мире одной из важнейших является проблема рационального природопользования, которая непосредственно связана с экологическими задачами и комплексным использованием природных ресурсов [10–13].

Многолетнее складирование отходов различных производств, особенно на открытых отвалах, подвергающихся действию атмосферных осадков, зачастую влечет за собой частичное изменение их химического и минерального содержания, сопровождающееся загрязнением природы. При этом мелкофракционные отходы являются наиболее опасными для окружающей человека среды, ведь именно из-за них возникают пыльные бури и загрязнения водных объектов. В результате рециклинга отходов различных производств в современных технологиях повторного вовлечения этого сырья возникают сложности из-за неоднородности химического и минерального составов, а также присутствия посторонних примесей. В последние годы введены государственные стандарты, отражающие требования к классификации и обращению с отходами производства, потребления, строительства и сноса зданий и сооружений [14–22].

В соответствии с действующими нормативами все промышленные отходы делятся на классы опасности, их пять (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация промышленных отходов по опасности

Классы	Степень вредного воздействия отходов на окружающую среду	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды
I класс	Чрезвычайно опасные	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует.
II класс	Высокоопасные	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия.
III класс	Умеренно опасные	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника.
IV класс	Малоопасные	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3 лет.
V класс	практически неопасные	Экологическая система практически не нарушена.

В соответствии с классификацией Боженова П.И. [14] побочные

промышленные продукты можно разделить на три класса:

- 1) продукты, которые в результате технологических воздействий, не потеряли исходных свойств;
- 2) искусственные материалы, полученные в процессе физико-химических воздействий;
- 3) материалы, образовавшиеся в отвалах при длительном хранении.

Продукты первого класса получают в процессе подготовки сырья для последующих технологических циклов: это карьерные остатки и остатки обогащения материалов, эти продукты имеют химический и минералогический состав аналогичный исходному сырью. Применяются они в качестве заполнителей бетонов, а также в качестве исходного сырья для получения различных строительных материалов: извести, силикатного кирпича, керамики и т.д.

Продукты второго класса получают в процессе физико-химических реакций, протекающих при различных температурах. Спектр их применения несколько шире, чем у материалов продуктов первого класса. Использование продуктов второго класса целесообразно при получении цементов, силикатных материалов, в технологиях, в которых повышенная реакционная способность сырьевых компонентов влияет на высокий экономический эффект. В частности, при применении доменного шлака при приготовлении шлакопортландцемента почти на 50% снижаются затраты топливно-энергетических ресурсов на 1 т цемента, а себестоимость снижается до 30%.

Продукты третьего класса получают при физико-химических взаимодействиях, протекающих уже в отвалах (распад шлаков в порошок, самовозгорание и т.д.). Примером могут служить горелые породы. Эта классификация учитывает химический состав вторичных продуктов.

Преобладающая часть природных минеральных и искусственных техногенных отходов промышленности содержит в основном кремнезем, силикаты и алюмосиликаты магния и кальция, что объясняется их происхождением. На долю природных силикатных материалов приходится

около 86,5% массы земной коры.

В зависимости от химического состава и структуры силикатные отходы различных отраслей промышленности можно разделить на 4 основные группы.

В первую группу входят минеральные сырьевые материалы, где кремнезем входит в силикаты или алюмосиликаты кальция и присутствует, в основном, в стекловидном виде. Эти силикаты обладают гидравлической активностью при наличии щелочной и сульфатной активации. В зависимости от количества CaO и Al_2O_3 в системе эти силикаты могут твердеть в нормальных обычных условиях или при ТВО. При обжиге при высоких температурах с карбонатом кальция из этих силикатов можно получить клинкер. К этой группе относятся топливные шлаки, гранулированные доменные и фосфорные.

Ко второй группе относят отходы, в которых кремнезем химически связан в алюмосиликаты и силикаты и представлен кристаллическим состоянием. При обычных температурах силикаты и алюмосиликаты не проявляют активности. К этой группе относятся медленно охлажденные отвалы металлургические шлаки, а также электротермофосфорные шлаки.

В отходах, которые относятся к третьей группе, кремнезем присутствует преимущественно в несвязанном состоянии в форме кварца. К этой группе силикатных материалов можно отнести хвосты обогащения самых различных руд, вскрышные породы, сырьевые материалы для химической промышленности.

Таким образом, силикатные отходы 2 и 3 групп могут с успехом применяться как нерудное сырье для получения различных строительных материалов: стекла, керамики, автоклавных материалов.

К 4-й группе можно отнести сырье, имеющее в основном силикаты кальция в гидратированном и негидратированном видах. Сюда относят различные шламы: бокситовые, нефелиновые, белые, сульфатные и др., которые применяют для производства изделий автоклавного твердения и

цементов.

Достойна внимания классификация для отдельных силикатных продуктов: шлаков и зол, предложенная Волженским А.В. [15]. По ней, силикатные продукты в соответствии с условиями образования подразделяются на две основные группы, определяемые условиями охлаждения: при быстром или медленном охлаждении происходят различные твердофазовые взаимодействия в системе расплав – твердая фаза. Каждая группа в соответствии с химическим и минералогическим составами подразделяется на определенные разновидности. Предложенная классификация дает возможность прогнозировать требуемые условия гидратации вяжущих, приготовленных с использованием зол и шлаков, а также рекомендовать наилучший способ их проведения.

Предложена [12] классификация отходов промышленности и городского хозяйства в зависимости от отрасли промышленного производства, где они возникают и накапливаются.

С учетом выхода огромных объемов техногенных отходов, наиболее материалоемким потребителем их является отрасль строительного производства, как наиболее емкая по использованию материального сырья. На нашей планете постоянно извлекается огромное количество различного нерудного сырья для строительного комплекса мирового потребления [16]. В частности, в России в настоящее время не более 8–10 % горнопромышленных отходов находят реализацию в комплексном использовании [16, 17].

Техногенные отходы в отличие от классического сырья для изготовления различных строительных материалов имеют нестабильность минерального и химического составов, различие физико-механических и прочих свойств [16-21].

Целесообразность использования техногенных продуктов в качестве вторичного сырья подтверждена многолетним опытом многих стран мира. В сырьевом объеме США и Японии доля техногенных отходов имеет показатель 25 %, в экономически развитых странах использование техногенных

продуктов находится в пределах 15–21 %, в России использование техногенных продуктов составляет 10 %, в то время как этот показатель в СССР был не менее 15 %.

Ежегодно в мире добывается полезных ископаемых объемом около 0,5 триллионов тонн и при этом 0,8 триллионов тонн вмещающих пород добывается попутно. В результате, ежегодный прирост в мире образуемых только отходов горнопромышленного производства превосходит 1000 млрд т.

К настоящему времени в России накоплено более 100 млрд т твердых промышленных отходов [22]. Темп ежегодного их накопления составляет 7–10 млрд т. Российскими и зарубежными научными школами [23–27] в достаточной степени предложены различные технологии утилизации отдельных видов техногенных продуктов – отходов горнодобывающих предприятий, металлургии, химических производств и т.д.

Кутателадзе К.С. [28] предложил технологию использования отходов обогащения медно-колчеданной руды в стекло. Мулевановым С.В. [29] разработан материал для отделочных работ с применением отходов обогащения фосфоритовых руд. Интересен опыт применения шламов гидрOMETаллургических и отходов обогащения сульфидсодержащих руд при синтезе стеклокерамических материалов, а также при получении волокон минеральных, полученных итальянскими исследователями [30, 31].

Учеными Китая доказана возможность синтеза нового эффективного материала из стеклокерамики на основе отходов угледобычи [32]. Зарубежный опыт применения техногенного сырья различной природы для производства строительных материалов обобщен в обзорах [33–39]. Технологии вторичного использования шлаков цветной и черной металлургии при получении строительных материалов различного назначения, включая стеклокристаллические материалы и различные стекла, представлены в работах Gorai B., Jana R.K. [33], Piatak N.M., Parsons M.B. и Seal R.R. [34].

В трудах Kim J.-K. [35] и Aitcin P.C. [36], посвященных повышению эффективности бетонов с использованием техногенного сырья, доказано, что

присутствие тонкодисперсных наполнителей и добавок способствуют уменьшению количества портландита и этtringита и заполнению капиллярных пор продуктами гидратации, в результате чего наблюдается снижение пористости и достижение высокой прочности бетона.

Требования к сырьевым материалам, в том числе и техногенной природы, для получения высокопрочных бетонов, представленные в работах Aitcin P.C. [36], Skazlic M., Vjegovic D. [37] и Shi C., Wu Z., Xiao J., Wang D., Huang Z., Fang Z. [38], связаны, как правило, с отсутствием в сырьевых материалах загрязняющих примесей (глинистых, илистых и др.) и иных соединений, способных вступать в химическое взаимодействие с вяжущими веществами будущего композита, с ограничением количества воды ($V/C = 0,22-0,4$) в бетонных смесях, с необходимостью повышения доли вяжущего (около $450-560 \text{ кг/м}^3$) в композитах, оптимизацией зернового состава наполнителей (модуль крупности песка $M_k = 2,5-3$, рекомендуемая фракция щебня 10–15 мм, отсутствие лещадных зерен и т.д.) и наполнителей (из техногенного сырья), где также отмечается, что применение минеральных наполнителей (тонкомолотые добавки различной природы, в том числе и техногенной) снижает пористость и повышает плотность и прочность цементного камня и т.д.

Обычные и высокопрочные бетоны на основе природного и техногенного сырья исследованы в работах Каприелова С.С. [4], Richard P. и Cheyrezy M. [39], Демьяновой В.С., Гусева А.Д. [40], Баженова Ю.М. [41, 42], Батаева Д.К.-С. [42–45], Муртазаева С.-А.Ю. [42, 43, 46–48], в которых авторы отмечают значительную роль сырьевых компонентов техногенной природы в процессе структурообразования строительных композитов.

В развитие отечественной науки в области утилизации техногенного сырья с получением строительных материалов широкой номенклатуры внесли Баженов Ю.М. [1, 42], Каприелов С.С. [3, 4], Лесовик В.С. [1, 13, 49], Демьянова В.С. [40, 50], Батаев Д.К.-С. [42, 44, 45], Калашников В.И. [50], Берг О.Я. [51], Муртазаев С.-А.Ю. [46, 52], Лукутцова Н.П. [82] и др.

К настоящему периоду нашли широкое применение отходы ТЭС при производстве цемента, в дорожном строительстве в роли активной гидравлической добавки в композиции с неорганическими, битумными или композиционным битумно-полимерным вяжущими [53–57], в качестве минерального наполнителя вместо цемента [58, 59] и т.д.

Накоплен значительный опыт применения золошлаковых отходов при синтезе силикатного кирпича, что значительно снижает расход извести (до 55 %) и песка (до 35 %). Кирпичи, полученные по этой технологии, имеют снижение массы до 12 %, низкую истираемость, характеризуются достаточной устойчивостью к высоким температурам и влиянию кислот. Имеется практика использования золы как эффективного наполнителя при получении различных мастик для производства кровельных рулонных материалов [60–63].

Шламовые отходы применяются в качестве минеральных добавок в цементный раствор для различных строительных работ и в асфальтобетонную смесь при строительстве дорог [64]. Использование гальванических шламовых отходов при введении в асфальтобетонную смесь обеспечивает экономию крупного заполнителя-щебня до 30 %.

Исследования [65–67] доказывают, что использование шламовых, гальваношламовых отходов при производстве строительной керамики обеспечивают снижение пористости и водопоглощения при повышении прочности, долговечности. Имеется опыт применения отходов добычи руд цветных металлов, эти отходы используют при синтезе композиционных вяжущих различного назначения, материалов для облицовки различных поверхностей, для получения огнеупоров различного назначения, минеральных волокон различных свойств и прочих строительных композитов [53, 68, 69].

Накоплен определенный опыт переработки отходов пластика и резины. Установлено, что резиновая крошка может с успехом использоваться при получении материалов изоляционного назначения, создания различных покрытий для пола, материалов для звукоизоляции помещений [70–72].

Имеется опыт использования отходов пластмасс, позволивший получить звукоизоляционные плиты и панели, герметики, используемые при сооружении зданий и сооружений и т.д. [73, 74].

Отмечается практика утилизации стекольных отходов [75], на отходах стеклобоя получены пеностеклокристаллические материалы, пенобетон, пенокремнезит [76], строительная самоглазурующая керамика [77–79].

Химические отходы, содержащие сульфат кальция в той или иной форме, являются хорошим сырьем для синтеза вяжущих гипсовых и ангидритовых, а также изделий на их основе [80, 81]: фосфогипс, фторгипс, титаногипс, борогипс, сульфогипс.

Из древесных отходов получают плитные материалы – ориентированно-стружечные (ОСП), древесно-волоконистые (ДВП), древесно-стружечные плиты (ДСП), арболит и т.д. [82, 83].

Особое место среди техногенных отходов занимают отходы от дробления различных горных пород, не применяющиеся в технологии бетона в связи со значительным наличием в них высокодисперсной фракции размером меньше 0,16 мм [84]. Использование отсеков дробления в изготовлении строительных материалов позволит увеличить объем производства на 10 %, а также оздоровить окружающую среду [85, 86].

Отсевы дробления используются в качестве антигололédной посыпки [87], в мелкозернистых бетонах на основе смешанных цементов [88], при создании дренирующих и морозозащитных слоев [89], в качестве декоративных отделочных материалов для стеновых панелей и декоративных элементов [90-98].

В современных условиях при устройстве навесных вентилируемых фасадных систем [99, 100] особую популярность приобретает отделка фасадов с использованием отсеков дробления природных материалов: габбро, пегматита, гранита и других видов горных пород [101, 102].

Применение отсеков дробления различных горных пород позволяет

улучшать прочностные и декоративные свойства строительных композитов, улучшает химическую стойкость напольных покрытий в производственных сооружениях к агрессивным воздействиям различных сред [103, 104].

В конце прошлого столетия в строительном комплексе России стали производиться и использоваться в значительных объемах на строительных объектах сухие строительные смеси различного функционального назначения [105, 106]. В связи с отсутствием в различных регионах требуемых природных сырьевых материалов особый интерес для применения в сухих смесях в качестве наполнителей и заполнителей представляет техногенное сырье, получаемое из отсевов дробления природных материалов и лома бетона [107,108].

В США используются сухие смеси с применением песка, полученного из природного сырья путем его дробления до необходимой фракции [109]. В Германии изготавливают смеси сухие на основе искусственных заполнителей, полученных их отсевов дробления размером в пределах 0,2–2,5 мм природных горных пород гранита и базальта, использование которых создает имитацию поверхностного слоя из базальта или гранита [110].

Имеется опыт использования гранитной пульпы, осаждаемой при промывке мелких фракций гранита, в роли кварцевого компонента при автоклавировании силикатных бетонов: ячеистых [111] и плотных [112]. Применение отсевов дробления гранита позволили заменить 30 % традиционного песка в силикатных материалах, показав повышение физико-механических показателей готовых изделий. В работе [113] показана возможность повышения прочности при сжатии и морозостойкости силикатных бетонов автоклавного твердения за счет применения отсевов дробления гранита и кварцевого песка при соотношении компонентов 3:1.

Ученые Канады достигли высоких результатов по водонепроницаемости при исследовании бетонов, на основе разработанных составов из отсевов дробления и песка в соотношении компонентов в пределах: 95:5 – 80:20 [114]. Авторами установлено [115], что применение гранитных отсевов дробления в

фибробетоне повышает его прочностные показатели на растяжение при изгибе до 5 %. Исследования [116], подтвердили высокую эффективность использования металлических матриц в совокупности с отсевами камнедробления.

Разработана рецептура состава бетона при использовании вяжущего компонента – отхода серного производства и заполнителей – песков из отсевов дробления пород диабаз и базальта [117].

Использование в бетонах и растворах песков, полученных из дробленых отсевов, установлено ГОСТ 8736 [118]. Значительная доля отсевов дробления, как правило, содержит крупные фракции песков 2,0–3,5 мм [119, 120]. Использование крупных отсевов дробления горных пород дает повышение прочности и экономию вяжущего компонента в создаваемых смесях [121]. Доказано, что введение до 50 % природных дробленых отсевов вместо дисперсного кварцевого песка понижает количество вяжущего вещества в создаваемой бетонной смеси более чем на 20 % [122].

Определенным недостатком, получаемых отсевов дробления горных пород, является большое содержание в их составах мелких частиц (0,16 мм) [123], увеличивающих до 20 % водопотребность и повышающих расход цемента. По мнению исследователей [124, 125], применение отсевов дробления влияет отрицательно на свойства бетонных смесей, ухудшая удобоукладываемость, увеличивая водопотребность и т. д.

Исследователями замечено [126], что применение мытых дробленых отсевов дробления в бетонах приводит к снижению морозостойкости. Установлена [126–129] эффективность применения в бетонах отсевов дробления после их дополнительной технологической обработки: мытья, фракционного обогащения с разделением фракций менее 0,16. По утверждению исследователей [131, 132], прочностные свойства бетонов, приготовленных с применением дробленых отсевов, незначительно отличаются от физико-механических свойств на обычном кварцевом песке.

Шейниным А.М. [133] установлено, что при наличии значительного

количества дисперсных фракций, возможно приготовление нерасслаиваемых смесей с использованием отсевов дробления с требуемыми параметрами по удобоукладываемости. Эти результаты подтвердили авторы [134, 135], доказавшие, что предложенные ими рецептуры бетонов классов В15 – В40 с совместным применением дисперсных песков, отсевов дробления гранитов и модифицирующей добавки выдержали более 500 циклов по морозостойкости без признаков разрушения. Авторами работ [134, 135] доказано, что повышенная водопотребность может быть обеспечена вследствие использования суперпластификаторов для растворов и бетона. Исследователи [136] подтвердили вышеприведенные выводы о том, что без применения модифицирующих добавок использование отсевов дробления в растворах и бетонах нецелесообразно.

Доказано [137–139], что введение в бетоны комплекса добавок, (воздухововлекающих и пластифицирующих) обеспечивает возможность применения отсевов дробления различных горных пород с мелкими фракциями (менее 0,16 мм) в дозировке до 10 % в составе с обычным песком. Авторы [140–144] указывают на целесообразность использования дробленых отсевов изверженных горных пород для приготовления мелкозернистых бетонов.

Процесс получения дробленых минеральных наполнителей имеет значительные затраты по расходу энергии и сопряжен с загрязнением окружающей и воздушной среды [145, 146]. Однако применение различных техногенных отходов в качестве минеральных наполнителей решает важную экологическую проблему [147–149]. Доказана возможность использования дисперсных смесей из отсевов дробления горных пород [150] в качестве минеральных наполнителей для бетонов различного назначения, для полимерных и полимерсиликатных бетонов, а также для получения композиционных вяжущих. Имеется положительный опыт применения тонкомолотых отсевов горных пород в качестве декоративного микронаполнителя для приготовления различных шпатлевок и грунтовок,

красок широкого спектра и наливных полов [151–153].

На основании проведенного литературного анализа по возможности использования техногенных отходов установлено, что к настоящему времени имеется значительный опыт вовлечения техногенных продуктов в строительную отрасль, при этом отмечается, что они наиболее целесообразны для использования в качестве заполнителей в бетонах различного назначения, а также наполнителей для различных строительных зеленых композитов. Использование техногенных продуктов в роли вторичных сырьевых ресурсов в многотоннажной строительной отрасли позволит решить сложную проблему по охране окружающей среды и снизить антропогенную нагрузку на жизненное пространство, кроме того, получить требуемый качественный продукт, сохраняя природные ресурсы, при сниженных энергетических и экономических затратах.

1.3 Практика исследования и применения строительного лома

Научно-технический задел с практикой переработки и повторного применения различных элементов разобранных сооружений и зданий включает труды отечественных ученых Баженова Ю.М., Муртазаева С.-А.Ю., Сайдумова М.С. [155], Пуляева С.М. [154], Хадисова В.Х. [156], Дворкина Л.И. [12], Батаева Д.К.-С. [157], Гумеровой Г.И., Сибгатуллиной О.С. [158] и др.

Целый ряд зарубежных ученых занимается проблемой повторного использования строительного лома, образующегося при строительстве и сносе зданий и сооружений, а также на заводах железобетонных изделий. Широко известны работы Sandrolini F., Franzoni E. [159], Mohajerani A., Suter D., Jeffrey-Bailey T. [160], Liu L., Ha J., Hashida T. [161], Iizuka A., Yamasaki A., Yanagisawa Y. [162], Nakagawa M., Kumagai K. [163], Tsimas S., Zervaki M. [164], Sabai M.M. [165] и др.

Основные виды строительных отходов и их соотношение отражены на рисунке 1.4.

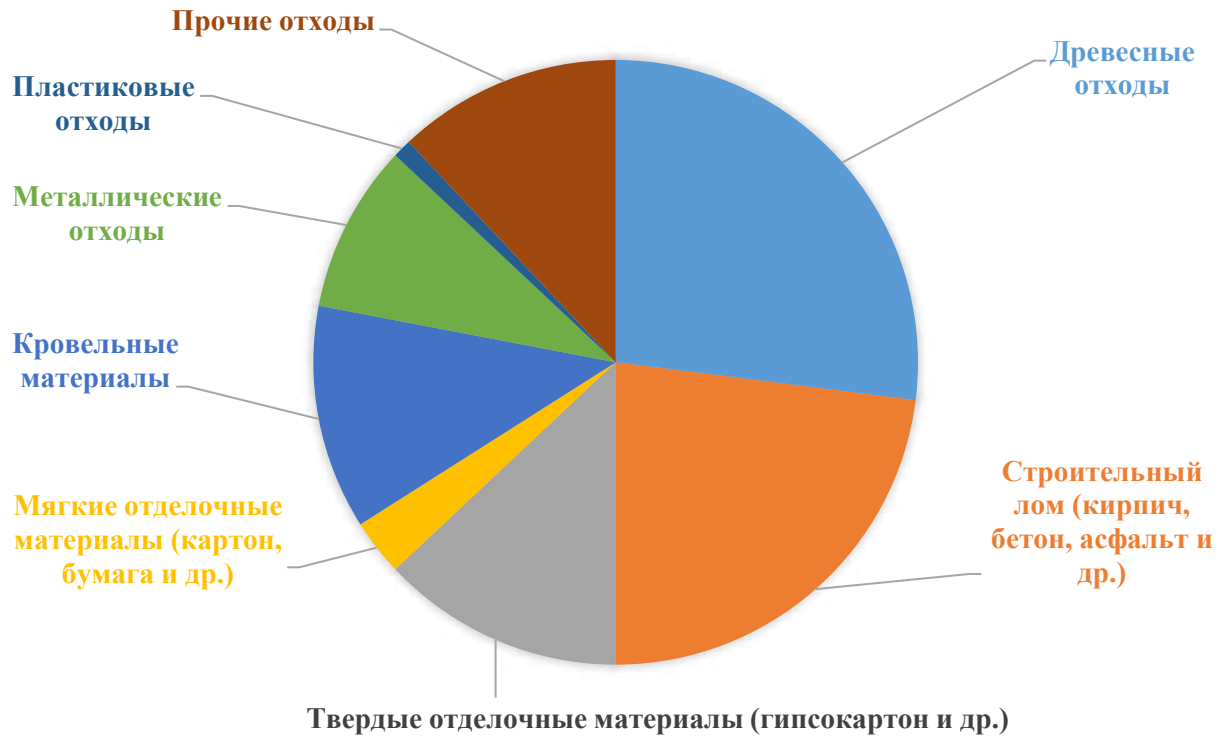


Рисунок 1.4 – Виды строительных отходов [186]

Термин «рециклинг» включает комплексную систему мероприятий по организации, технологическим приемам по складированию, переработке, классификации отходов, технико-экономическим задачам производства, а также задач по возврату производственных отходов во вторичное производство (рисунок 1.5). Представленная схема процесса рециклинга отражает реальное состояние отходов строительной отрасли и показывает, что техногенные отходы строительного производства без соответствующей сортировки направляются в общем объеме в зоны захоронения и свалок.

К настоящему времени разработаны и действуют нормативные документы [166–172], устанавливающие требования по организационным работам с отходами строительного производства; организации работ по сбору, сортировке, учету и хранению отходов строительства; правила к использованию и переработке строительных отходов.

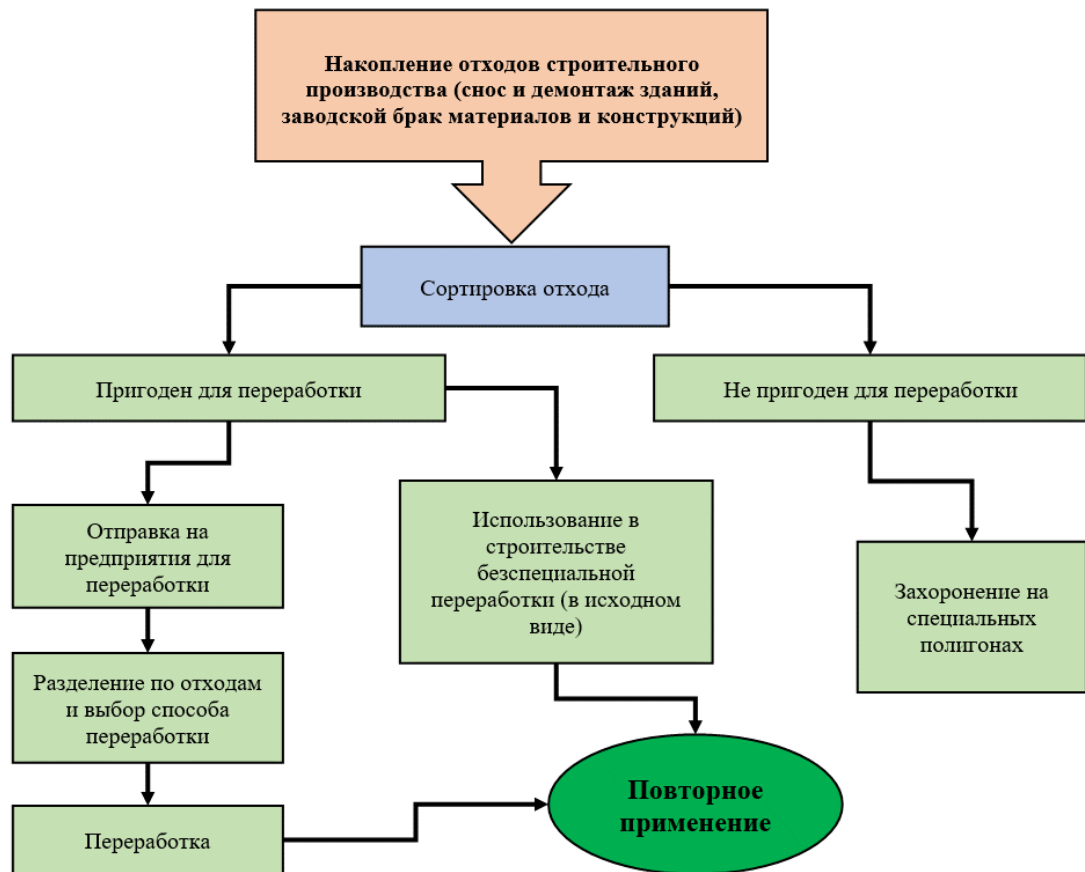


Рисунок 1.5 – Процесс рециклинга

Отходы строительства и сноса представлены самыми различными материалами: железобетонным ломом, битым силикатным и керамическим кирпичами; обломками внутренней и наружной штукатурок, деревянных элементов окон и дверей; кусков обоев, линолеума, гипсокартона, керамической плитки и т.д., в процентном соотношении доля этих отходов составляют:

1) лом бетона, железобетона и кирпича – 65 %, из них:

- бетонный и железобетонные отходы – 28 %;
- кирпичный бой – 37 %;

2) прочие строительные отходы – 35 %, из них:

- металлолом – 3 %;
- древесные отходы – 12 %;
- пластика – 10 %;
- прочие отходы – 10 %.

Согласно ГОСТР 57678 [166] производственные и строительные отходы по месту их образования подразделяются по трем технологическим процессам:

- при изготовлении строительных материалов, изделий и конструкций различного назначения;
- при перемещении изделий, конструкций и материалов со складов производителей к потребителям и при выдерживании на складе потребителя;
- при монтаже изделий и конструкций, а также демонтаже зданий или сооружений.

Строительные отходы образуются на всех трех видах строительного-ремонтных или демонтажных работ (рисунок 1.6).

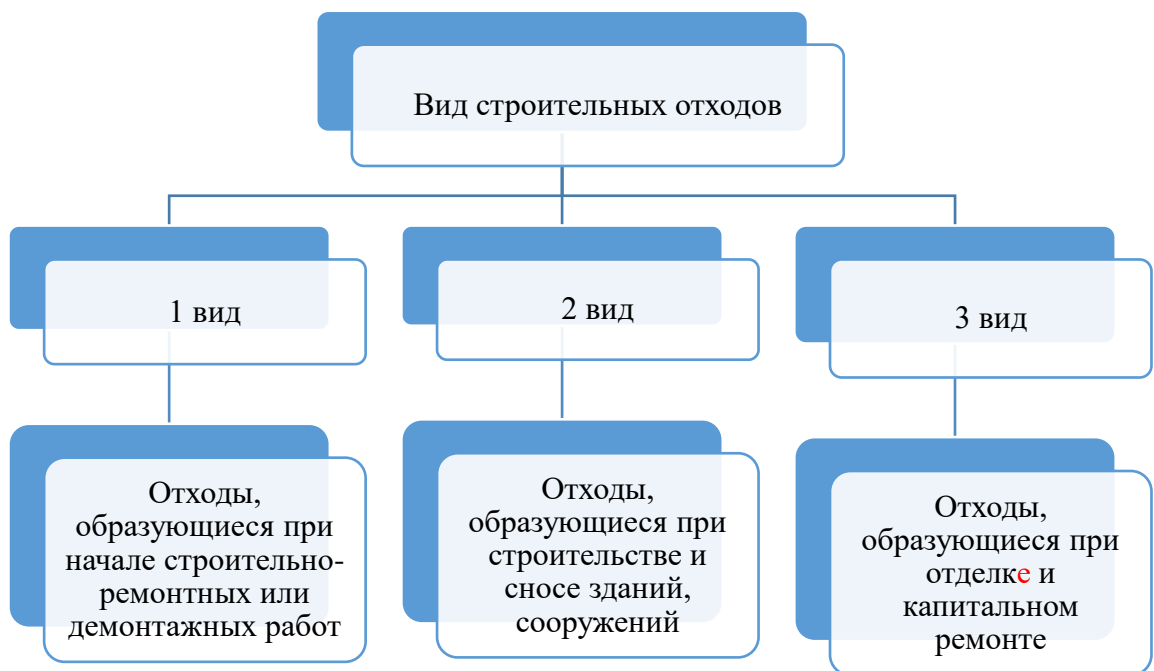


Рисунок 1.6 – Виды строительных отходов при капитальном ремонте, строительстве или сносе зданий и сооружений

Отходы, образующиеся при первом и втором видах строительного-ремонтных или демонтажных работ, как правило, содержат тяжелый негабаритный мусор. К негабаритным отходам строительства и сноса, согласно ГОСТР 57678 [166], относятся отходы, имеющие объем более $2,0 \text{ м}^3$.

Строительный лом как один из пяти основных потоков отходов в мире

занимает значительную долю от общего объема их производств.

Отходы разделяют [173]: на отходы промышленного производства – 26 %; строительные отходы – 27 %; бытовые твердые отходы – 17 %; отходы горной промышленности – 28 %; прочие отходы – 2 %.

Директива 2008/98/ЕС [174] особо обозначила проблему «иерархии управления отходами» – концепцию, показывающую наиболее реальные пути сокращения объемов выхода техногенных продуктов в итоге производства. Концепцию можно представить в форме перевернутой пирамиды (рисунок 1.7).

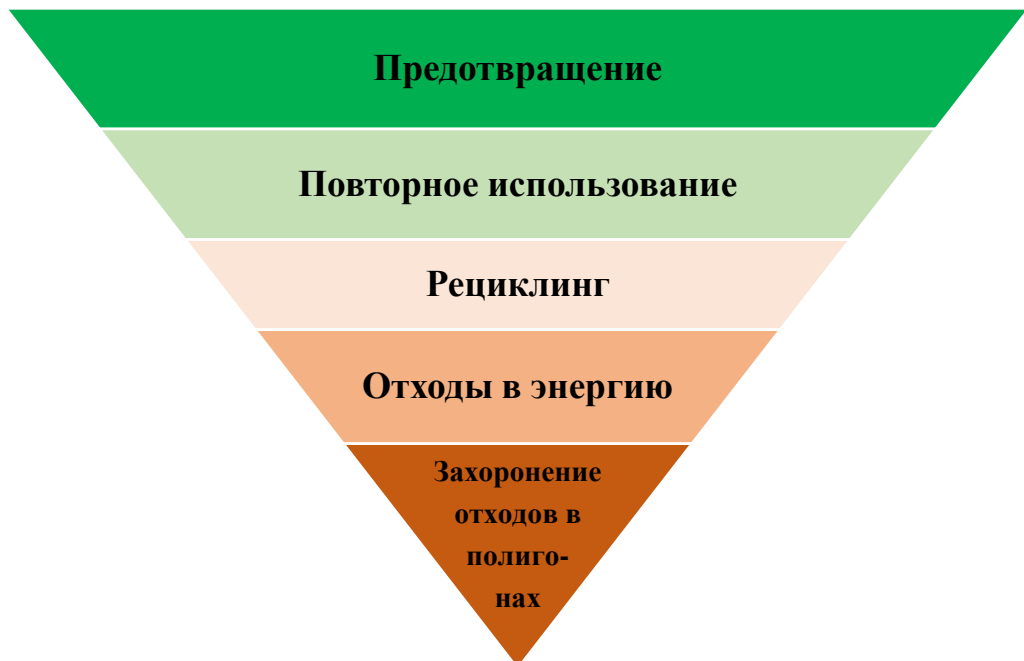


Рисунок 1.7 – Иерархия управления отходами в ЕС

«Предотвращение» – организация производственной деятельности, при которой согласуется условие минимального выхода отходов от выпускаемой продукции по мере утраты ими потребительских показателей. В порядке убывания располагается повторное использование, рециклинг (переработка), целевое использование и захоронение-утилизация.

Обзор источников литературы показал, что снижение образования техногенных отходов понимается как острая необходимость внедрения эффективных технологий производства строительных материалов и изделий

так, чтобы при изготовлении, применении, повторном применении и рециклинге образовывалось минимальное количество отходов [173]. В странах ЕС «предотвращение» было принято в качестве «идеального решения всех проблем» [175].

Рециклинг является ключевым элементом управления отходами в работе [174]. Доказано, что в результате рециклинга можно переработать до 80 % твердых отходов, а также и отходы строительства, и лом от разрушения зданий и отслуживших сооружений. Во многих странах процент рециклинга составляет меньше 50 %.

Проблема переработки строительных отходов весьма сложная и требует своего решения, учитывая, что по составу они сильно разнятся: это бетон, черепица, кирпич, стекло, дерево, пластик, смолы битумные, камни, металлы (цветные и черные), упаковочные и изолирующие материалы, химические вещества и др. В соответствии с Директивой 2008/98/ЕС поставлена цель к 2020 г. снизить эти отходы в ЕС на 70% (по массе) путем вторичного использования и рециклинга [176, 177].

В Германии, Бельгии, Швеции, Голландии, Австрии и Дании доля отходов, отправляемых на свалки, составляет 1–2 %; сжигается 35–50% отходов и до 60 % отправляется на рецикл или компостируется; в указанных странах хранение на полигонах без определенной обработки запрещено [173].

В Великобритании реализуется проект «В два раза сократить свалки», направленный на сокращение отходов, получающихся при строительстве или разрушении сооружений. В Финляндии внедряется программа «Умнее с меньшими отходами». В Венгрии широко внедряется вторичное использование отходов строительного производства между различными фирмами: в обороте участвуют 12 категорий материалов: кирпич, бетонный лом, черепица, оконные рамы, деревянные компоненты строительства и др.

В Ирландии внедрена «Инициатива зеленого бизнеса», помогающая решить проблемы техногенных отходов различным предприятиям в сферах: техногенные и бытовые отходы, водные ресурсы и энергетика. В Бельгии

осуществляется программа по снижению отходов, с использованием их для получения энергии. Во Франции компания «Eco-Emballages» проводит специальную подготовку кадров и техническое консультирование по проблемам утилизации отходов.

Лидерами в области вторичного использования отходов являются [173]:

– Швеция, где в настоящее время уровень полигонного захоронения снизился до отметки менее 1%;

– Германия, где сложившаяся система управления отходами по своему техническому уровню считается одной из самых развитых в мире (общий уровень рециклинга различных материалов в Германии превысил 80 %, когда для Европы в целом эта цифра в среднем составляет 37%);

– Дания законодательно запрещает захоронение в полигонах отходов, которые возможно сжечь с целью получением электро- и теплоэнергии;

– Нидерланды, где успешно реализуется программа «Циркулярные Нидерланды к 2050 г.», целью которой является осуществление 50%-ого (к 2030 г.) и более (к 2050 г.) снижения в применении «первичных природных ресурсов» – металлов, углеводородного топлива и полезных ископаемых;

– Япония, где в настоящее время вторичной переработке подвергается 45% всех отходов, сжиганию – 37 % всех отходов, а вывоз мусора на полигон и последующее его хранение – всего 18 %.

Из числа зарубежных авторов, занимающихся исследованиями и разработкой инновационных технологий для повышения эффективности использования техногенного сырья в области строительства и строительного материаловедения, важно выделить работы Florea M.V.A., Brouwers H.J.H. [178], Surya M., Kanta Rao V.V.L., Lakshmy P. [179], Gary Ong K.C., Akbarnezhad A [180], Alwaeli M., Alshawaf M. [181] и др.

В нашей стране, несмотря на скромные показатели повторного практического использования отходов в сравнении с Европейскими странами, достаточно хорошо развита теоретическая база вторичного использования промышленных отходов в практике строительного материаловедения.

Так, автором работы [182] предложены теоретические подходы получения строительных композитов специального назначения за счет использования техногенных отходов, заключающиеся в переработке лома бетона для использования их в качестве крупного заполнителя, а также за счет механической активации и с использованием пластифицирующих добавок отсевов дробления лома бетона, обеспечивающих повышение однородности, уменьшение водопотребности и управление структурообразованием бетонных смесей и бетона. В работах [90,183] изложены теоретически обоснованные методы и способы синтеза различных строительных материалов целевого назначения с использованием отсевов измельчения бетонного лома и различных горных пород.

В работе [184] рассматриваются проблемы использования строительных отходов, образующихся в процессе сноса и строительства зданий, связанных с уникальностью свойств заполнителя из отходов лома бетона, в частности с исследованиями водопоглощения продуктов их дробления для повышения эффективности использования строительных отходов в качестве вторичного ресурса.

Исследования авторов [187] показали, что бетон, приготовленный на щебне, полученном из бетонного лома, обеспечил требуемые показатели по прочности и деформационным характеристикам, что свидетельствует о возможности и целесообразности использования отходов бетонного лома при приготовлении бетонов.

Полученные результаты [188] свидетельствуют, что применение в железобетонных изделиях щебня, полученного из лома бетона, позволяет получать качественные бетоны низких классов. А в реальных условиях его применение сдерживается отсутствием нормативной базы и незначительными исследованиями в этом направлении.

Авторы [189–191] также утверждают, что щебень, полученный после переработки бетонных и железобетонных конструкций, обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при расчете состава бетона.

В работе [192] представлены результаты исследований свойств вторичного заполнителя, полученного из бетонного лома, и установлено, что по основным физико-механическим показателям этот заполнитель аналогичен с заполнителем, получаемым из природных горных пород, а бетоны, полученные на вторичном заполнителе, могут быть использованы при изготовлении различных бетонных и железобетонных конструкций, в частности фундаментных стеновых блоков и мелкоштучных изделий.

На многих крупных заводах функционируют технологические линии по разрушению бетонных и железобетонных изделий с целью получения дробленого бетонного лома, однако этот заполнитель для бетона, не всегда соответствует нормативным требованиям по чистоте заполнителя и фракционному составу [193]. Исследованиями установлено, что из заполнителя на основе лома бетона получены бетоны с низкими классами по прочности, кроме того доказано, что этот заполнитель целесообразно применять в дорожном строительстве [178, 179].

Установлена причина невысокой прочности заполнителя из лома бетона, заключающаяся в наличии в его объеме цементного камня, имеющего прочность значительно ниже, чем прочности заполнителей [194, 195].

Увеличить прочность заполнителя из лома бетона [193] можно при проведении измельчения по режимам, обеспечивающим активное разрушение именно цементного камня. Для этого следует использовать специальные дробилки: конусные инерционные, виброщечковые и др. [196].

Для улучшения свойств заполнителя целесообразно многостадийное измельчение лома бетона по специальному режиму в традиционных щековых дробилках [193], исследования показали высокую эффективность предложенного способа измельчения. Анализ рисунка 1.8 свидетельствует, что при измельчении в процессе 3–4 стадий по специальному режиму улучшаются показатели заполнителя на основе лома размера 5–10 мм: пустотность (Π), водопоглощение (W) и средняя толщина зерен (b).

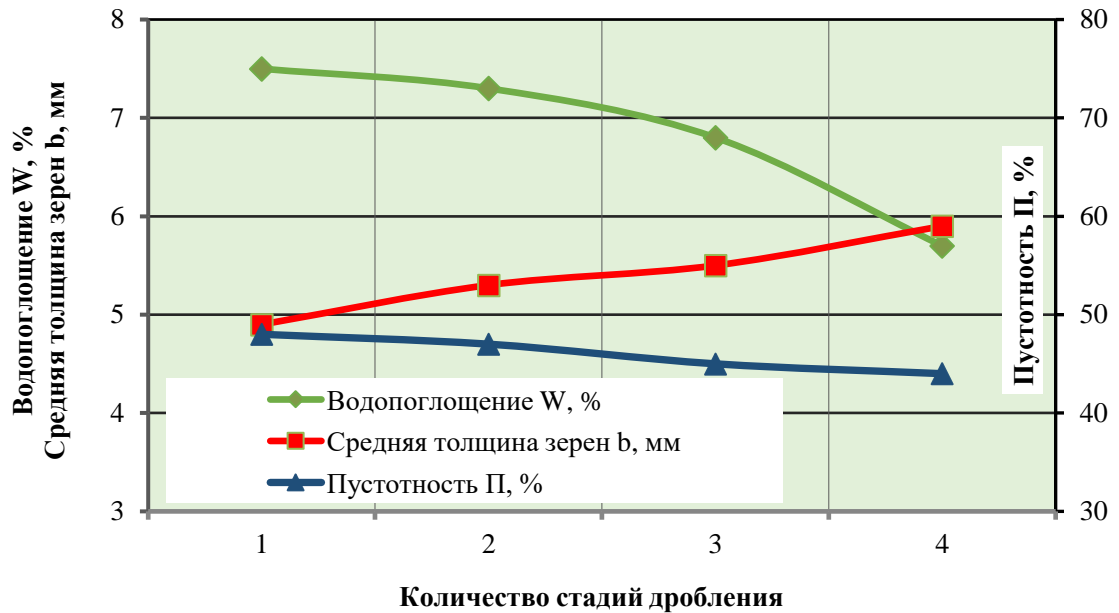


Рисунок 1.8—Зависимость влияния стадий дробления на свойства щебня из лома бетона, размер зерен 5–10 мм [193]

Изучение процесса усадки бетона с самоуплотняющимися свойствами, приготовленного с использованием лома бетона, наблюдавшегося в течение 360 сут [193], показали, что усадка составляет 0,3–0,34 мм/м (рисунок 1.9), что не согласуется с данными [197, 198].

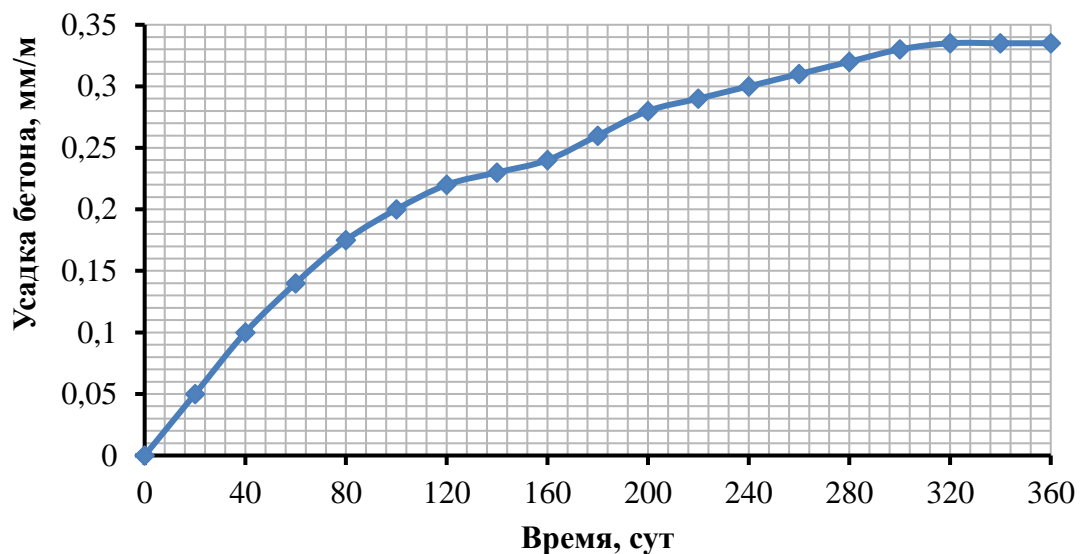


Рисунок 1.9 – Кинетика усадочных деформаций состава самоуплотняющегося бетона, приготовленного на ломе бетона [193]

При замене заполнителей высокого качества на заполнители из лома бетона в самоуплотняющемся бетоне наблюдается снижение прочности до 10 % [193].

Авторами [199] исследован строительный лом с целью изготовления на основе его гидравлических низкоэнергоемких вяжущих, получения сухих смесей для тяжелых бетонов низких классов. Авторами отмечено, что мелкозернистая фракция 0–10 мм не находит эффективного применения, хотя выход ее составляет 40 %, а активность полученного вяжущего определяется наличием портландцемента в бетонном ломе, что определяется возрастом используемого бетона.

В работе [200] отмечаются особенности использования в бетонах заполнителя из лома бетона, заключающиеся в том, что на ранних этапах твердения бетона вода начинает поглощаться цементным тестом и составляющие бетонной смеси вступают в активные процессы гидратации цемента, в итоге формируется более плотный цементный композит.

Авторами [201] на основании комплексных исследований установлено, что щебень, полученный из лома бетона и кирпича, целесообразно использовать для устройства дорожных оснований на трассах с неинтенсивным движением и на подготовках оснований под тротуары. При этом оптимальное соотношение компонентов в искусственно подобранном щебне составляет: 90 % – из бетонного лома и 10 % – из керамического кирпичного боя.

Магсумов А.Н., Шарипянов Н.М. [202], на основании исследований влияния механического (путем дробления) и термического способов получения вторичного заполнителя из строительного лома на основные физико-механические свойства новых бетонов на их основе, установили, что:

– прирост прочности контрольных образцов бетона класса В15 на заполнителе из лома бетона идет интенсивнее, чем контрольные образцы. К 28 суточному возрасту контрольные образцы бетона на заполнителе из лома бетона, приготовленного дроблением, увеличивает прочность на 9,5 % выше

прочности, а контрольные бетонные образцы на заполнителе из лома бетона, приготовленного за счет термической обработки, увеличивает прочность на 3,2 %, чем контрольные бетонные образцы;

– увеличение прочности контрольных образцов бетона класса В30 на заполнителе из лома бетона происходит значительно медленнее, чем контрольные бетонные образцы. Однако к 28 суточному возрасту твердения бетонные образцы, отформованные на заполнителях из бетонного лома, характеризуются повышением прочности при сжатии на 8,9 %, а образцы, прошедшие термообработку на 12,2 % ниже, чем контрольные бетонные образцы;

– с использованием заполнителей из лома бетона класса В75 можно получить новые бетоны с показателями прочности до 90 МПа.

Исследования показали, что повысить свойства заполнителя из лома бетона возможно за счет активации [203], заключающейся в разрушении ослабленных фракций или ликвидации мелких фракций, включающих остатки цементного камня, за счет этого повышаются прочностные показатели полученных бетонов.

В работе [204] отмечается, что ежегодно в Москве за счет сноса реноваций появляется около 11,5 млн т отходов строительства, а в связи с увеличением объемов дальнейшего строительства объем выхода строительных отходов достигнет величины до 15 млн т в год. Утилизация промышленных отходов в строительной индустрии является важным путем снижения ущерба окружающей среде. Этот путь эффективен экологически и экономически, так как снижает расходы на содержание отвалов [205]. Однако молодой российский бизнес, по мнению авторов, не хочет и, главное, не может тратить средства на переработку отходов, образовавшихся в течение десятилетий.

Разработка и внедрение предложенных авторами [206] технологий переработки строительных отходов (рисунок 1.10) позволит решить ряд важных задач:

- сокращение экономических затрат на утилизацию строительных отходов;
- создание новых материалов со специфическими характеристиками;
- сокращение сроков переработки строительных отходов;
- снижение вредного воздействия строительных отходов на окружающую среду.

Однако авторы [206] не представили анализ технико-экономической эффективности внедрения такой схемы утилизации строительного лома.

Разработке эффективных технологических способов повторного использования техногенного сырья, в частности строительного лома, посвящены работы зарубежных авторов [207–211], в которых представлены в основном технологические приемы, позволяющие переработать утилизируемое сырье в горизонтально-замкнутых автоматизированных дробильно-сортировочных линиях.

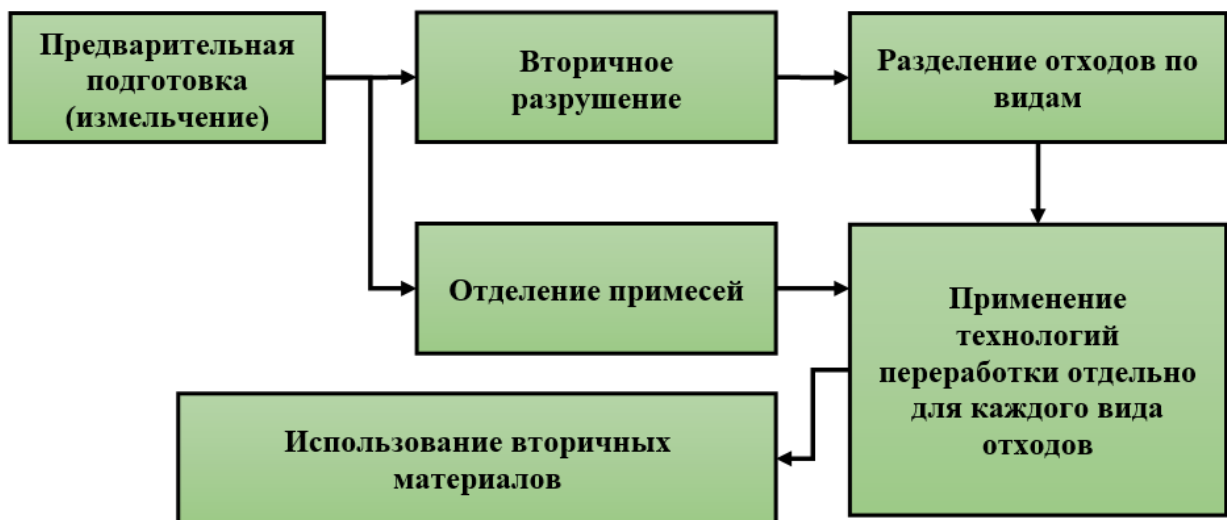


Рисунок 1.10 – Технологический способ переработки отходов строительного производства [206]

Проблема утилизации техногенных продуктов как по территории РФ, так и в Чеченской Республике весьма актуальна. Постоянно увеличиваются объемы бытовых, а также твердых промышленных отходов, образующихся в процессе сноса старых зданий и разрушенных сооружений,

производственного брака, полученного на различных промышленных предприятиях. В Чеченской Республике функционирует большое число различных предприятий (1088 предприятий), ежегодный выход промышленных отходов имеет величину – 1557652,3 т/год. В соответствии с классами опасности их объемы составляют: I класса опасности – 6,4 т, II класса – 171,7 т, III класса – 1436,4 т, IV класса – 1516925,7 т и V класса – 40438 т [212, 213]. Решением вопросов утилизации техногенного сырья, в том числе и строительного лома, в регионе занимаются такие известные ученые, как Муртазаев С-А.Ю., Батаев Д.К-С., Саламанова М.Ш., Хадисов В.Х., Мажиев Х.Н., Сайдумов М.С., Алиев С.А., Хаджиев М.Р., Абуханов А.З., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х. и др. [214–219].

Так, авторами [213, 214] изложены принципы разработки легких керамобетонов с использованием боя керамического кирпича, характеризующиеся следующими свойствами: теплопроводностью – 0,35–0,50 Вт/[м·°С], плотностью – 1310–1750 кг/м³, прочностью при сжатии В10–В25 и морозостойкостью F100, отмечается снижение себестоимости продукции до 35 %.

Хасиев А.А. [220] предложил способы создания эффективных цементобетонных покрытий жесткого типа автомобильных дорог с применением отходов дробления бетонного лома, автором исследованы особенности структурообразования в изучаемых системах.

Успановой А.С. [221] предложены составы строительных штукатурных смесей с применением некондиционных песков и техногенных отходов – отсевов бетонного лома. Разработанные смеси штукатурные с использованием лома бетона характеризуются следующими показателями: жизнеспособность – 5,5–6,0 ч; водоудерживающая способность – 98,0 %; показатель расслаиваемости – 5,7 %; подвижность – 11,9 см; прочность при сжатии 14,5–15,3 МПа; адгезия – 0,54–0,69 МПа. При этом крупные отсевы дробления бетонного лома автором рекомендуется использовать для обогащения мелких

и очень мелких кварцевых песков.

В работе [222] отмечается, что в России в настоящее время утилизируется до 10 % строительных отходов, следует отметить, что при этом перерабатывается лишь бетонный лом и лом кирпича, т.к. их утилизация наиболее простая, что не требует специальных технологических процессов [222, 223].

Таким образом, анализ зарубежного и отечественного опыта утилизации техногенного сырья показывает, что, несмотря на многочисленные экспериментальные разработки и научные труды, направленные на раскрытие проблемы утилизации строительного лома и других отходов промышленности, вопросы повышения эффективности вторичного их использования в практике строительного материаловедения в настоящее время остаются открытыми и актуальными, поскольку нет на данный момент инновационных технологических решений, способных заинтересовать как производителей, так и потребителей такого уникального по своей природе и составу техногенного сырья.

1.4 Проблемы сбора и подготовки техногенного сырья к переработке

К настоящему времени строительные объекты рассматриваются как сильнейшие антропогенные факторы влияния на окружающую среду, а также и на человека, как составляющую часть природы. По выходу твердых строительных отходов строящихся новых зданий и сооружений, включая выполнение нулевого цикла и сноса старых зданий и сооружений, отрасль строительства стоит на лидирующем месте в ряду основных загрязнителей природы [224]. Опасное влияние строительства на окружающую среду имеет свои особенности и отмечается на каждом этапе строительства, от этапа добычи и изготовления различных строительных изделий и конструкций до этапа разборки и захоронения отходов строительных элементов, полученных при сносе жилых и общественных зданий и различных сооружений.

При сносе зданий, по информации Европейской Ассоциации по строительству, каждый год на планете получается более 2,5 млрд т отходов строительного производства, в том числе около 180 млн т в России [225, 236].

Особенности строительных отходов состоят в том, что каждый разобранный строительный объект состоит из разнородных элементов от разрушенных построечных материалов, определяемый типом дома, материалом, из которого был построен этот объект, используемыми отделочными материалами, материалом и устройством перегородок и т.д.

Основные типы отходов от строительства и сноса строительных объектов и пути их утилизации (таблица 1.2), разделяются на две основные группы [233].

Первую группу составляют строительные отходы, включающие отходы, возникшие при возведении и реконструкции строительных объектов, при проведении капитальных ремонтов сооружений, при возникновении брака на заводах бетонных и железобетонных изделий.

Ко второй группе относят строительные отходы, возникающие в результате сноса зданий и сооружений, а также от реновации строительного комплекса. При возрастании объемов строительства в России требуется большее количество разнообразных строительных материалов: природного камня, строительного песка, щебня, гравия, извести, глины и прочего ископаемого сырья, извлекаемого открытым методом. Так, из имеющихся 7-ми тысяч разрабатываемых карьеров более 90 % приходится на карьеры для добычи сырьевых ресурсов для производства строительных материалов. В деятельности предприятий по производству строительных материалов используется более 20 различных видов ископаемого сырья, занимающих значительные площади (до 20 тыс. га) земли [225].

Таблица 1.2 – Основные типы отходов от строительства и сноса строительных объектов и пути их утилизации

Типы отходов	Название отходов	Пути утилизации
1	2	3
ОТХОДЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ		
Отходы на основе естественного камня	Бой облицовочных плит	– брекчевидные плиты – мозаичные облицовочные плитки
	Шламовые отходы камнеобработки	– шпатлевка, – штукатурка, – камень искусственный. – изделия декоративные для фасадных отделок
	Бой бортовых камней, брусчатки, булыжных камней и прочие отходы на основе естественного камня	– щебень
Отходы на основе бетона строительных растворов	Отходы железобетона	Тонкие наполнители для производства стеновых блоков и различных смесей для монолитного литья
	Отходы тяжелого бетона	
	Отходы легкого бетона	
	Отходы ячеистого бетона	
	Отходы фибролитовых плит, арболитовых и цементно-стружечных	
Отходы на основе минеральных вяжущих веществ	Сухие отходы штукатурных смесей	
	Отходы материалов на гипсовой основе (панели и плиты для перегородок, гипсокартонные листы, вентблоки)	
	Отходы силикатных материалов (кирпич, ячеистые изделия)	
Отходы материалов на основе извести (известково-песчаные, известково-шлаковые и известково-золевые материалы)		
Асбестоцементные отходы	Листы кровельные, панели облицовочные, трубы, венткороба, электротехнические доски	– наполнители для производства огнестойких стеновых блоков
Отходы на основе стекла и приравненные к ним	Стеклобой	– порошок сырье для безавтоклавного производства пенобетонных блоков или применения в монолитном строительстве
	Отходы пеностекла	
	Отходы минваты, стекловаты	
	Отходы перлитовых, вермикулитовых изделий	

Продолжение таблицы 1.2

Типы отходов	Название отходов	Пути утилизации
1	2	3
Отходы из керамической основы	Кирпичный бой, бой сантехкерамики, бой фаянсовой и керамической плитки	<ul style="list-style-type: none"> – пресспорошки, – смеси для шликерного литья, – добавки для огнестойких штукатурок – пигментное сырье
ОТХОДЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ		
Древесные отходы	Древесные материалы и конструкции, теплоизоляционные материалы на древесной основе, ДСП, фанера, ДВП, МДФ, столярные изделия, деревянная тара и т.д.	<ul style="list-style-type: none"> – древесные пластики, в т.ч. сложнопрофильные, влагостойкие и т.д. – арболит – теплоизоляционные, звукоизоляционные плиты
Бумажные и картонные отходы	Обои бумажные, бумага упаковочная, картонная тара	<ul style="list-style-type: none"> – теплоизоляционные смеси – кровельные материалы
ОТХОДЫ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ		
Отходы асфальтовых, дегтевых бетонов	Мелкозернистая фракция	Восстановленный (вторичный) асфальтобетон
Отходы рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов	Битумные, дегтевые, дегте-битумные, битумо-полимерные. резино-дегтевые и битумные безосновные материалы (изол) и материалы на основе картона (рубероид, пергамин, толь), стеклооснове (стекло-рубероид), асбестовой бумаге (гидроизол)	Тонкодисперсионные порошки для производства добавок в асфальтобетонные смеси
Отходы пластмасс и полимеров	Отходы линолеумов, полимерных плиток	Добавки для производства пластиков с древесным наполнителем
	Отходы полимерных кровельных материалов	
	Отходы пенопластов и поропластов (полистирольных. полеуретановых)	Дисперсные наполнители для производства различных стеновых блоков
Отходы пластмасс и полимеров	Пластмассовые трубы водоснабжения, канализации и электропроводки	Тонкодисперсионные порошки для производства вторичной полимерной продукции
	Поручни для перил и лестничных маршей	
	Отходы погонажных изделия различного типа на основе полимеров	

Одновременно с увеличением объемов строительства жилья в РФ возрастают количества образования отходов строительства, образующихся

при разборке ветхих жилых зданий, а также при изготовлении различных материалов для строительства. Классификация причин ликвидации строительных объектов приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Классификация причин ликвидации строительных объектов

№ п/п	Причины ликвидации строительных объектов	Соотношение долей отходов при ликвидации строительных объектов, %
1	Строительство новых жилых зданий	40
2	Строительство новых гражданских зданий	20
3	Оборудование общественных, дорожных и свободных площадей	20
4	Переоборудование зданий для других целей	7
5	Экстремальные события (например, пожар)	5
6	Экстремальные причины (военные конфликты, землетрясение и т.д.)	8

На рисунке 1.11 приведены результаты аналитического обзора образования бетонных отходов в процессе разборки зданий. Приняв средний срок службы строительных объектов за 70 лет (при этом в жилом строительстве – 80-100 лет, а при строительстве дорог – 50-60 лет), получается, что каждый год разбирается и сносится приблизительно 1,5 % от их созданного объема [224, 226].

Лом бетона при разборке зданий, млн. т.

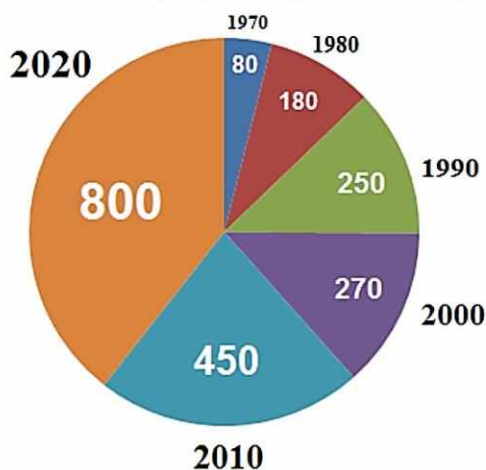


Рисунок 1.11 – Ежегодное образование бетонных отходов при разборке зданий [224]

Таким образом, ежегодный снос жилого фонда требует сооружения новых жилых зданий и гражданских сооружений сроком на 70 лет, а образующиеся строительные отходы требуют их разумной утилизации без загрязнения окружающей среды.

Для предотвращения негативного влияния от строительной деятельности, имеющей значительные объемы строительных отходов, необходима перспективная целевая программа по их сбору и утилизации [227]. Эта же проблема по утилизации строительных отходов касается всех развитых стран мира.

Автор [224] отмечает, что существуют два пути утилизации отходов (рисунок 1.12): переработка отходов (рециклинг) с применением особых специальных технологий и захоронение оставшейся части отходов на целенаправленных полигонах и специальных свалках.



Рисунок 1.12 – Логистика строительных отходов

До начала 21 века общепринятым методом утилизации отходов являлось захоронение отходов, что создало значительные экологические проблемы как в России, так и в других странах. В ряде стран: Японии, Дании, Люксембурге, Германии, Нидерландах – практически нет свободных площадок для хранения отходов. Кроме того, некоторые страны для строительства применяют привозной щебень из лома бетона.

Для прямой переработки отходов (рециклинг) необходима нормативно-правовая база, и тогда этот вид переработки будет рентабельным, а захоронение отходов потребует значительных материальных затрат [228].

Каждая страна проблему утилизации отходов решает по-своему, в отдельных странах свалки просто запрещены. В некоторых странах переработка твердых отходов составляет около 50 % от общего объема производимых отходов, вследствие разработки и внедрения совершенных технологий по рециклингу, а также действующего законодательства. В Швеции, Нидерландах, Дании отмечается высокий уровень переработки отходов – более 90 % [224].

На территории России ежегодно накапливается свыше 20 млн т отходов строительного производства, из них более 60 % - отходы бетонного и железобетонного лома, при этом отмечается, что более 22 % от общего объема строительных отходов находятся в Москве, прирост в 2019 г. составил около 8 млн т, тогда как в 2006 г. выход отходов составлял 3,6 млн т, а в 2001 г. – около 1,7 млн т.

Относительная зависимость количества населения и образования отходов в ряде стран в период 2018–2019 гг. представлена на рисунке 1.13.

Для эффективной деятельности комбинатов по рециклингу отходов необходимо создание совершенных технологий по переработке различных видов отходов и снижению стоимости вторичных продуктов, а также обеспечение экологической безопасности [229].

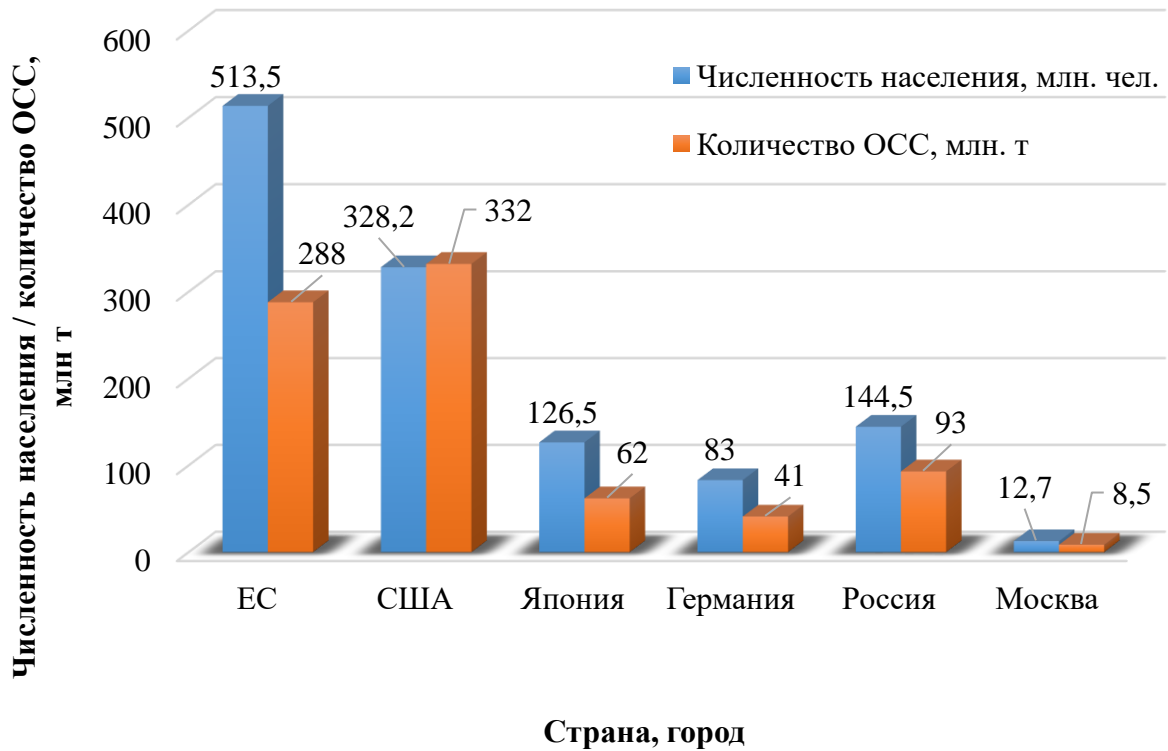


Рисунок 1.13 – Относительная зависимость образования строительных отходов от численности населения различных стран

Схема переработки отходов отражена на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14 – Схема использования твердых отходов [224]

Известно, что утилизация твердых отходов экономически целесообразна [230, 233]. Рециклинг отходов дает целый ряд преимуществ. Это прежде всего уменьшение объемов отходов, которые требуется захоронить. Кроме того, сбережение природных сырьевых ресурсов, снижение транспортных расходов на перемещение сырьевых материалов, а также нагрузки на окружающую среду вследствие сокращения добычи природных материалов.

Каждая разновидность отходов должна иметь свою технологию их переработки. Для подготовки отходов применяют различные технологии в зависимости от их состояния и состава. К сожалению, имеется много причин, тормозящих использование твердых отходов. Среди них неоднородность отходов, возникающих при нерациональном разрушении или сносе сооружений, отмечается отсутствие нормативной технической документации по эколого-правовым вопросам рециклинга отходов. Кроме того, наиболее важным фактором является то, что научные исследования, проводимые по использованию отходов, не находят государственной поддержки.

В современных условиях при сломе отслуживших сооружений предлагается выполнить определенные действия, шаги с целью выбора определенных направлений, приведенных на рисунке 1.15 [233, 234].

Во многих развитых странах государственные органы придают огромное значение проблеме утилизации твердых отходов и оказывают необходимую поддержку. В строительном производстве в США перерабатывается более 20 млн т отходов бетонного лома, при этом на 25 % снижается стоимость бетона на щебне из бетонного лома, т.е. американские стандарты дают право использовать щебень из бетонного лома. Значительный опыт применения отходов строительства имеется в Германии, где получают до 38 млн т в год отходов строительства, это количество включает около половины всех отходов в стране, в каждой области работают перерабатывающие комплексы, в том числе и в Берлине [231, 232].



Рисунок 1.15 – Этапы работ (направлений) по использованию строительных отходов для получения строительных материалов [233]

Переработку твердых отходов проводят: либо на месте появления отходов на строительном объекте (рисунок 1.16), либо с помощью специализированных перерабатывающих комплексов (рисунок 1.17).

В первом случае применяется малопроизводительная техника, обеспечивающая получение требуемого высококачественного заполнителя с необходимыми фракциями. Такие установки должны отвечать всем показателям по экологической безопасности, так как расположены рядом с жилыми объектами.

Второй вариант требует дополнительных расходов на транспортировку полученных отходов в зону, где происходит их переработка. Передвижная дробильно-сортировочная установка представляет собой мощный мобильный комплекс, имеющий высокую производительность, характеризуется

надежностью и способностью к различным режимам переработки, в том числе отсеивания недопустимых включений, высокодисперсную переработку, разделение на необходимые фракции, требуемым в целях исключения или минимизации экологических проблем [235].



Рисунок 1.16 – Мобильный дробильно-сортировочный комплекс на гусеничном шасси для переработки строительных отходов



Рисунок 1.17 – Стационарный дробильно-сортировочный комплекс серии ДСУ-30

Эти комплексы более мощные и перерабатывают значительные объёмы отходов, на них возможно внедрять новые эффективные технологии. Такие площадки способны переработать значительное количество различных отходов.

Лидирующие позиции по производству специальной дробильно-сортировочной техники для измельчения строительных отходов занимают Германия и США [236]. Компания Astec Industries утилизирует отходы строительства, при этом получая дешёвый наполнитель для изготовления

вторичного бетона и асфальтобетона и имея дополнительный доход.

Компания KPI-JCI имеет передвижные комплексы дробильно-сортировочные – разной производительности для переработки различного строительного мусора и использования отработанного асфальтобетонного покрытия. Эти комплексы для дробления и сортировки серии Fast Trax установлены на гусеничном шасси и характеризуются универсальностью, высокой мобильностью, простотой при эксплуатации и надежностью. Существующее в мире высокопроизводительное эффективное технологическое оборудование для разрушения отходов строительного производства в нашей стране не нашло применения вследствие отсутствия практики и опыта утилизации такого нетрадиционного сырья.

В настоящее время из применяемых методов измельчения твердых материалов, в том числе и отходов строительства, наилучшие результаты в российской практике получены при разрушении строительных изделий и конструкций методами: дробления, расширения, раскалывания и удара (рисунок 1.18).

Методы демонтажа и разборки зданий и сооружений применяются, исходя из ряда объективных факторов (рисунок 1.19): принимаемого варианта сноса здания, его возраста, конфигурации самого здания и особенностей его конструктивного решения, устройства фундамента, а также специфики используемых строительных материалов.

Согласно ГОСТ [166–172], отходы строительства следует отправлять на повторную переработку и возможную утилизацию в случае наличия в соответствующем регионе предприятий по их переработке.

В случае отсутствия таких предприятий отходы строительства должны удаляться на полигонах твердых бытовых отходов, которые имеют определенные объемы на их размещение.

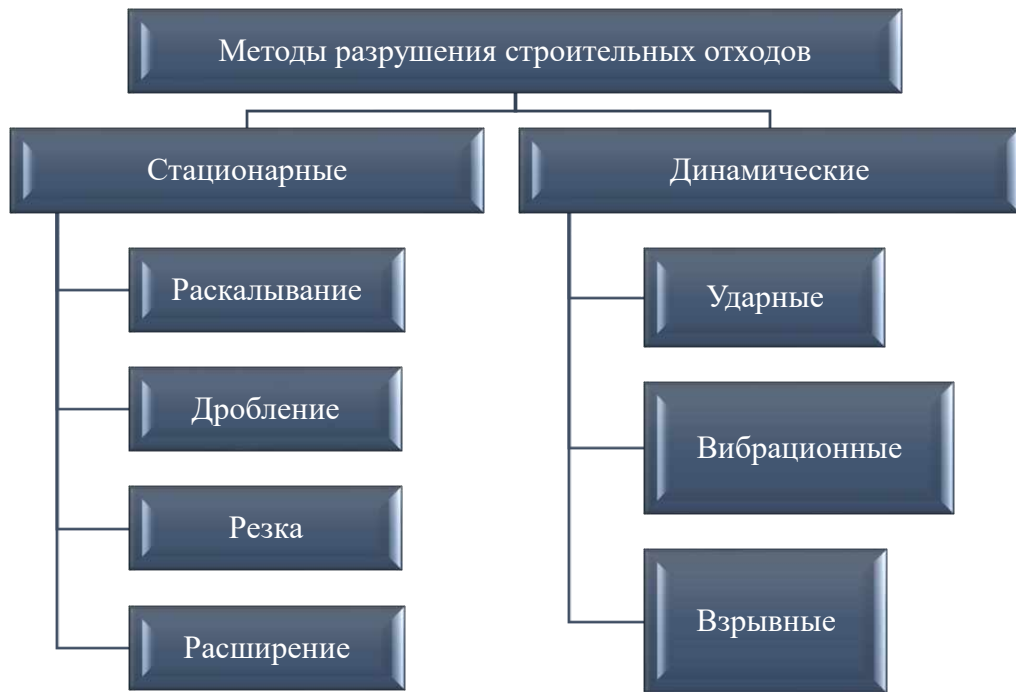


Рисунок 1.18 – Основные методы разрушения твердых материалов



Рисунок 1.19 – Разновидности демонтажа зданий и сооружений

По ГОСТ Р 57678 [166], сбор отходов строительства следует производить отдельно по их классам опасности, видам и прочим признакам с целью их обезвреживания, переработки, удаления или использования в виде вторичного сырья.

При наличии в России нормативно-технической базы по вопросам использования и утилизации отходов [166–172], серьезно проблемой использования техногенных продуктов не занимаются: до сих пор не решены проблемы по отдельному складированию, по имеющимся классам опасности и ряда прочих признаков, требуются новые высокоэффективные технологии по переработке отходов строительства в другие вторичные строительные материалы и изделия.

При разборке бетонных и железобетонных зданий строительные отходы почти на 50 % представлены ломом железобетонных конструкций, сортируемым экскаватором (рисунки 1.20 и 1.21).

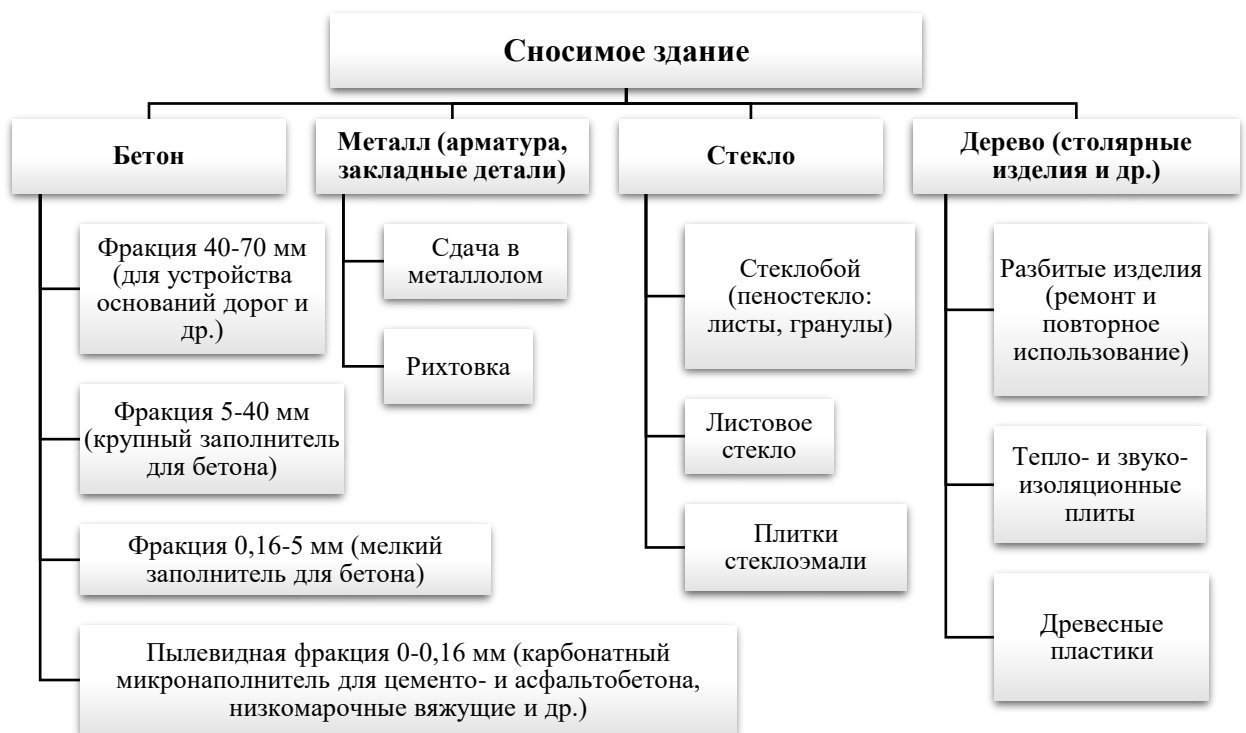


Рисунок 1.20 –Схема (часть 1) применения твердых отходов от разборки зданий и сооружений



Рисунок 1.21 – Схема (часть 2) практического применения нетвердых отходов разборки зданий и сооружений

Резюмируя вышеизложенное, следует констатировать, что необходима серьезная разработка путей и методов эффективного использования строительных отходов, полученных в процессе строительства, демонтажа, сноса жилых, гражданских зданий и сооружений и максимальное вовлечение их в повторное использование, что позволит уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду, оздоровит экологическую ситуацию городов и поселков, обеспечит строительный комплекс региона достаточными сырьевыми вторичными материалами при сохранении и снижении расхода природных ресурсов, снизит потери сырьевых, материальных и топливно-энергетических ресурсов, выводимых из хозяйственного оборота с отходами производства и потребления, тем самым

повысит эффективность использования природного сырья.

1.5 Композиционные вяжущее с использованием техногенного сырья

Совершенствование современных материалов для создания защитных сооружений [237] и улучшения экологической обстановки требует создания новых эффективных строительных композитов на основе разнообразных композиционных вяжущих (КВ) [238].

Перспективным направлением в получении модифицированных (или композиционных) вяжущих для особых видов бетонов авторы [239] считают механоактивацию цемента вследствие его помола. Помол может осуществляться как размол одного портландцемента, в результате размола которого на выходе получается цемент тонкомолотый (ТМЦ). При совместном размолу цемента с добавками-пластификаторами на выходе получается вяжущее низкой водопотребности (ВНВ) – высокопрочное гидравлическое вяжущее с низкой водопотребностью. Применение композиционных вяжущих взамен портландцемента с различными минеральными добавками, вносимыми в бетоносмеситель, увеличивает время схватывания бетонной смеси в 2–3 раза: начала и окончания, что предоставляет возможность перевозить бетонные смеси на более дальние расстояния [240].

Использование КВ сокращает в зимний период сроки ухода за бетонной смесью, а также позволяет сократить продолжительность технологических перерывов, связанных с набором прочности бетона. Так же сокращаются сроки ухода за свежееуложенными бетонными смесями в жаркое сухое время года [241]. Замечательной особенностью КВ является их свойство сохранять длительное время активность при долгосрочном хранении, что обеспечивается вследствие микрокапсулирования развитых поверхностей минералов клинкера используемым модификатором при совместном помоле портландцемента с добавками и созданием дополнительного покрытия, тормозящим взаимодействие тонкодисперсных цементных частиц с

окружающей влажной средой. Срок хранения КВ определен временем до трех месяцев.

Особое место в ряду КВ занимают многокомпонентные тонкомолотые и вяжущие низкой водопотребности, предложенные и тщательно изученные профессором Ю.М. Баженовым и его школой [155]. Работами Ю.М. Баженова по изучению свойств вяжущих низкой водопотребности [41, 42, 242, 243] установлено, что бетонные смеси на ВНВ имеют пониженную водопотребность на 30 %, что определяют высокие физико-механические показатели получаемых бетонов (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Составы и свойства ВНВ

Наименование вяжущего	Наименование минерального наполнителя	Нормальная густота, %	Активность в возрасте 28 сут, Мпа R _{изг} / R _{сж}
ПЦ 500Д0	–	26	6/53
ПЦ 500Д0 + С-3 (1%)	–	22	8/64
ВНВ100	–	15	10/88
ВНВ50	Песок строительный	16	7/61
ВНВ30	То же	18	6/42
ВНВ50	Шлак доменный гранулированный	17	7/60
ВНВ30	Зола-унос	18	6/53

По заключению Ю.М. Баженова [243], перемещение и длительное хранение таких высокоактивных вяжущих быстро снижает активность вяжущего. Практика доказала, что при хранении товарного портландцемента (М500) в течение 3 месяцев его активность снижается более, чем на 20 %. В связи с этим цементы высоких марок не получили массового применения.

Практическое применение высокоактивных ВНВ с пониженной водопотребностью обеспечивает снижение расхода клинкерной составляющей при изготовлении бетонов требуемых классов. На основе КВ типа ВНВ возможно получать бетонные смеси: умеренно подвижные и высокоподвижные (литые), это свойство позволяет оптимизировать

технологии формования бетонов.

Исследования [239] показали, что гидратационная активность бетонов, полученных на основе ВНВ, характеризуется более высокими показателями прочности в ранние сроки твердения, это позволяет рекомендовать их для использования в монолитном строительстве для получения высокопрочных бетонов и конструкций.

Использование ВНВ обеспечит получение значительного технико-экономического эффекта в производстве изделий и конструкций из бетона и железобетона. Изготовление и использование КВ [239–246] позволяет снижать затраты на производство портландцемента: затраты на топливо и клинкер понижаются до 30 % в сравнении с традиционными цементами.

Анализ микроструктуры образцов свидетельствует [1, 238], что цементный камень, отформованный на чистом бездобавочном портландцементе, имеет пористую матрицу со значительным количеством микротрещин, камень характеризуется рыхлыми плохо закристаллизованными образованиями, отмечаются зонные аморфные участки, на поверхности которых отчетливо просматривается портландит в виде гексагональных пластин (рисунок 1.22, а, в).

Использование предложенного [1, 238–249] КВ обеспечило уплотнение структуры композита, о чем свидетельствуют отчетливо выраженные новообразования в виде игольчатых и пластинчатых новообразований, которые достаточно плотно заполняют пустоты различных конфигураций: изометричных и анизометричных (рисунок 1.22, б, г). Формирование такой структуры обеспечивает достаточную жесткость матрицы со сниженной пористостью, что обеспечивает прочность композита.

Однокомпонентные или многокомпонентные КВ приготавливают при обязательной активации [250].

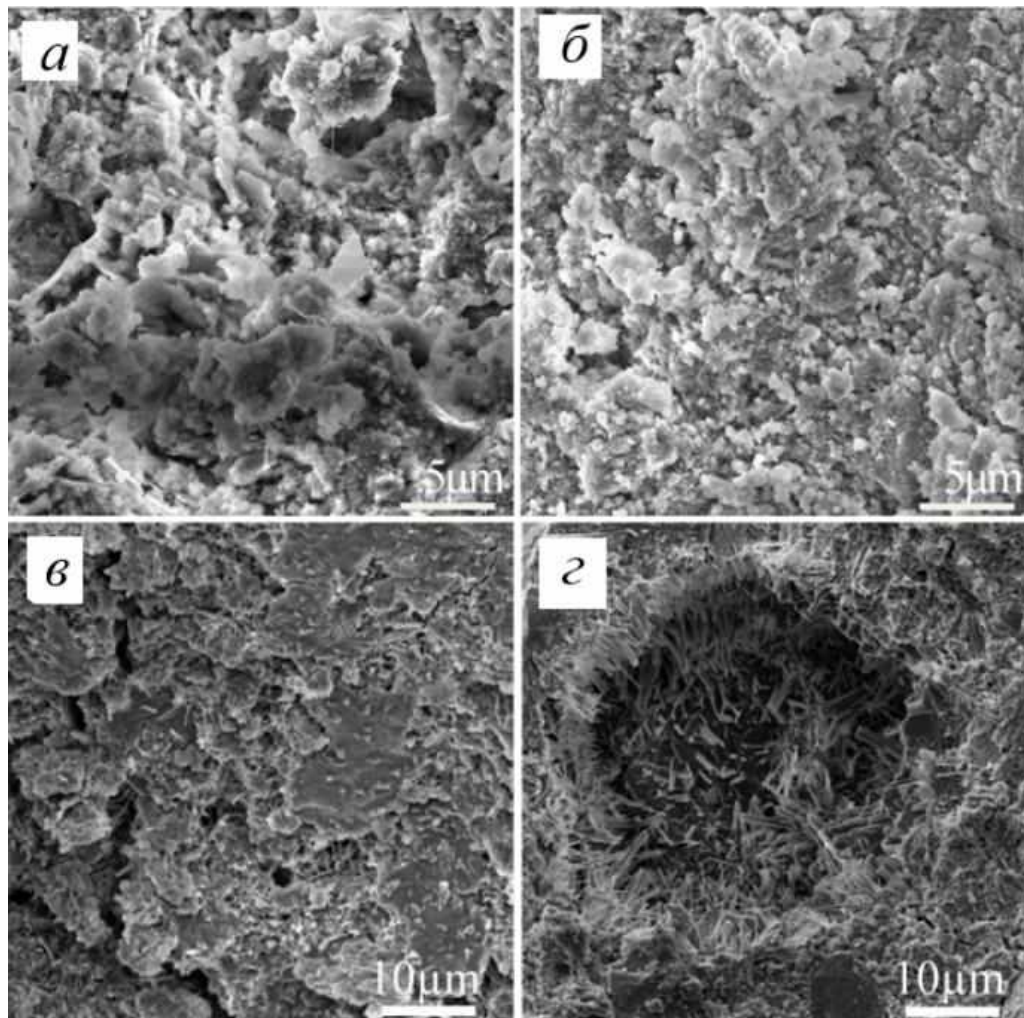


Рисунок 1.22 – Микроструктура новообразований (в возрасте 28 сут):
 (а, в) – чистый цементный камень и (б, г) – цементный камень на
 разработанном КВ [238]

Процесс активации различных составов вяжущих или смесей (сухих строительных и жидкофазных растворных и бетонных) включает целый комплекс воздействий: физических, механических, физико-механических, химических, физико-химических (рисунок 1.23) как на отдельные сырьевые компоненты, так и на весь сырьевой комплекс. В результате таких многофакторных воздействий активизируются процессы формирования и оптимизации структуры будущего строительного композита, что положительно повлияет на его физико-механические и эксплуатационные свойства [251–254]. Методы активации вяжущих приведены на рисунке 1.23.



Рисунок 1.23 – Методы активации вяжущего

Активация вяжущих обеспечивает получение высокодисперсных частиц в системе, что приводит к повышению физико-механических показателей вяжущих веществ и бетонов, приготовленных на их основе, кроме того сокращаются сроки твердения и обеспечиваются условия для активного проявления химических процессов в создаваемых вяжущих [255, 256].

Бетоны, полученные с использованием активированных вяжущих, имеют ряд преимуществ, обусловленных плотной структурой, а также более прочной контактной зоной за счет развитой удельной поверхности вяжущего с крупным и мелким заполнителями бетона. При разрушении бетона при приложении нагрузки изменяется характер микротрещинообразования, сначала формируется значительная зона предварительного разрушения, а затем происходит взрывообразное снятие энергии напряжений от сжимающих нагрузок.

Авторами [257–259] установлено, что бетон, отформованный на активированном вяжущем, характеризуется более однородной структурой, что предотвращает образование напряжений в зонах «цементный камень-заполнитель». Замечательной особенностью композиционных материалов

является их свойство формировать требуемые структуры из тончайших частиц вяжущего и минерального наполнителя, к таким структурам относятся кластерные (фрактальные) структуры [250]: в создаваемом композите самоорганизуются процессы взаимодействий, накопленная энергия сырьевыми компонентами смеси используется на структурообразование в системе и формирование в высокодисперсной смеси активных физико-химических взаимодействий [260, 261].

К настоящему времени накоплен положительный опыт использования техногенного сырья в качестве тонкодисперсных минеральных добавок (5–10 мкм) при получении КВ ($S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$) [262].

Наиболее революционными добавками, по мнению авторов [263, 264], считаются минеральные наполнители техногенной природы – микрокремнезем, высокодисперсные золы ТЭС, продукты дробления строительного лома и т.д., которые при правильном подходе улучшают структуру цементного камня и способствуют повышению ранней прочности и плотности бетона.

Известно, что минеральные добавки, связывают образующийся при гидратации портландцемента гидроксид кальция с образованием низкоосновных кристаллогидратов силикатов и алюмосиликатов кальция [265–270]. Рамачандран В.С. [271] доказал, что ввод карбонатного наполнителя в объеме до 30 % (при удельной поверхности – $500 \text{ м}^2/\text{кг}$) обеспечивает ускорение процессов гидратации, в частности C_3S , в наиболее ранние сроки твердения, что обеспечивается активными центрами кристаллообразования в форме гидрокарбоната кальция.

Исследованиями [272] установлено, что в продуктах гидратации активированных цементов с содержанием карбонатных добавок присутствуют наряду с карбоалюминатами кальция твердые растворы типа гидрокарбоалюминатов и гидроксоалюминатов кальция примерного состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$. Имеются предпосылки синтеза в этих системах гидрокарбосиликатов кальция, представляющих собой слабо изученные

рентгеноаморфные неорганические соединения [273]. Формирование их происходит при реакции карбонатных добавок с гидратированными продуктами цемента типа C-S-H, с формированием $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, распадающегося на ионы CaHCO_3^{3+} и HCO_3^{3-} . По истечении времени и подъеме температуры до 100°C образуются гидросиликаты кальция после распада карбонатных групп с выходом воды и CO_2 .

Также установлено, что использование доломита приводит к образованию CO_3^{3-} и формированию реакционных продуктов, аналогичных с образующимися при взаимодействии с известняком, полу- или монокарбонатов [274, 275].

Исследованиями [276] замечено, что портландцемент с минеральной добавкой – доломита, введенной в объеме до 10 %, обладает большей или равнозначной прочностью, как и добавка известняка, при этом получают равнозначные продукты гидратации. Работами [277, 278] установлено, что введение добавки доломита в пределах 5–15 % способствует ускорению гидратацию алитовой фазы.

Положительный эффект от использования минеральных добавок, в том числе и техногенного происхождения, в рецептурах КВ для приготовления тяжелых бетонов, в том числе высокопрочных композитов для современного строительства, отмечается в научных трудах [279, 280], авторы которых исходят из принципа сродства структур сырьевых компонентов различного генезиса.

Таким образом, настоящий этап развития строительного материаловедения характеризуется стремлением создавать «зеленые композиты» для оптимизации экологической системы «Человек – материал – среда обитания» в рамках концепции устойчивого развития вопросов энерго- и ресурсосбережения и улучшения экологической обстановки. Это подразумевает развитие технологии «зеленых композитов» и осуществления «зеленого строительства» с возможным использованием продуктов техногенного происхождения в виде многотоннажных отходов разборок

зданий и сооружений, что имеет важное экологическое значение для страны и мира.

Выводы по 1 главе

1. Для создания эффективных полифункциональных композитов многофункционального назначения необходимо наличие новых видов сырьевых ресурсов, а учитывая, что отрасль строительного материаловедения является весьма материалоемкой, то и сырьевая база должна ей соответствовать.

2. Сырьевая база для производства строительных материалов за последние 30 лет значительно сократилась, одновременно с этим резко увеличилась добыча природного сырья для получения металлов, возросло количество отходов обогащения полезных ископаемых и отсевов дробления, отходов теплоэнергетики.

В связи с природными катаклизмами и стихийными бедствиями, связанными с наводнениями, землетрясениями, цунами образуется значительное количество отходов от разрушенных зданий и сооружений. Возникающие политические конфликты в ряде странах порождают военные действия, которые приводят опять же к образованию отходов от разрушенных жилых, гражданских и промышленных объектов и сооружений.

3. В последние десятилетия остро стал вопрос реновации крупных и средних городов и городских поселений. Проводимая в России и во всем мире реновация приводит к образованию значительных объемов самых различных отходов от снесенных и разобранных зданий, построенных из бетонных и железобетонных конструкций, из керамического или силикатного кирпичей, из шлакоблоков, из газобетона, пенобетона, деревянных щитовых конструкций и т.д.

4. Анализ отечественной и зарубежной практики добычи и переработки природных ресурсов, а также прогнозов и требований программ устойчивого развития человечества, констатирует необходимость и перспективность:

перехода от традиционных технологий строительных материалов на природном сырье к энерго- и ресурсосберегающим технологиям безотходного их производства; разработки эффективных технологий утилизации техногенных отходов с учетом их состава и генезиса с получением вторичного сырья и полуфабрикатов; наладки производства полифункциональных композитов нового поколения с комплексным использованием вторичного сырья.

5. Проведенный анализ научных публикаций по проблеме использования техногенных отходов показал, что к настоящему времени имеется значительный опыт вовлечения техногенных продуктов в строительную отрасль, при этом отмечается, что техногенное сырье наиболее целесообразно для использования в качестве заполнителей в бетонах различного назначения, а также наполнителей для некоторых строительных композитов. Использование различных техногенных продуктов в роли вторичных сырьевых ресурсов в многотоннажной строительной отрасли позволит решить сложную проблему по охране окружающей среды и снизить антропогенную нагрузку на жизненное пространство, кроме того, получить требуемый качественный продукт, сохраняя природные ресурсы, при сниженных энергетических и экономических затратах.

6. Анализ зарубежного и отечественного опыта использования природного некондиционного и техногенного сырья показывает, что несмотря на многочисленные экспериментальные разработки и научные труды, направленные на раскрытие проблемы комплексного использования природного сырья и утилизации строительного лома и других отходов промышленности, вопросы повышения эффективности вторичного их использования в практике строительного материаловедения в настоящее время остаются открытыми и актуальными, поскольку нет на данный момент инновационных технологических решений, способных заинтересовать как производителей, так и потребителей такого уникального по своей природе и составу техногенного сырья.

7. Несмотря на наличие нормативно-технической базы в России по вопросам использования и утилизации отходов, в том числе техногенных, серьезно проблемой ликвидации их не занимаются, до сих пор не решены проблемы по отдельному складированию по видам отходов, по имеющимся классам опасности и ряду прочих признаков, требуются новые высокоэффективные решения и технологии по переработке отходов строительства в другие вторичные строительные материалы.

8. Необходима серьезная разработка путей и методов эффективного использования строительных отходов, полученных в процессе строительства, демонтажа, сноса жилых, гражданских зданий и сооружений, и максимальное вовлечение их в повторное использование, что позволит уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду, оздоровит экологическую ситуацию городов и поселков, обеспечит строительный комплекс регионов страны достаточными сырьевыми вторичными материалами при сохранении и снижении расхода природных ресурсов, снизит потери сырьевых, материальных и топливно-энергетических ресурсов, выводимых из хозяйственного оборота с отходами производства и потребления, и тем самым повысит эффективность использования природного сырья.

9. Накоплен значительный практический опыт использования минеральных добавок, в том числе и техногенного происхождения, в рецептурах композиционных вяжущих для приготовления тяжелых бетонов, в частности высокопрочных композитов для современного строительства. Проведенный анализ зарубежных и отечественных источников по увеличению производства и использования композиционных вяжущих показал, что 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 медленноотвердеющих, безусадочных, высокоактивных и проч. вяжущих) и

изготавливать «зеленые» композиты с требуемыми физико-механическими, технологическими, эксплуатационными показателями, обеспечивающими комфортные условия для жизнедеятельности человека и комфортной среды его обитания.

10. Настоящий этап развития строительного материаловедения характеризуется стремлением создавать «зеленые композиты» для оптимизации экологической системы «Человек – материал – среда обитания» в рамках концепции устойчивого развития вопросов энерго- и ресурсосбережения и улучшения экологической обстановки. Это подразумевает развитие технологии «зеленых композитов» и осуществления «зеленого строительства» с возможным использованием продуктов техногенного происхождения в виде многотоннажных отходов разборки зданий и сооружений, что имеет важное экологическое значение для страны и для всей планеты.

2. ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА КОМПОЗИТОВ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

Совершенствование существующих и разработка новых эффективных технологий, основанных на применении современного оборудования и использовании широкого спектра технологических воздействий, требует разработки эффективных композиционных материалов с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, обладающих экологической безопасностью и высокими экономическими показателями. Для решения таких многогранных задач необходимо использовать анализ по многим критериям при разработке составов различных композитов специального назначения [281].

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 в Чеченской Республике, может способствовать эффективности и рентабельности бетонов и различных строительных материалов (рисунок 2.1).

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 помолком вяжущих, минеральных компонентов и химических добавок в рациональном помольном агрегате.



Рисунок 2.1 – Характеристики техногенного сырья

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 2.2).

Для решения представленной задачи принимается множество критериев: параметры окружающей среды службы композита; основных приоритетных физико-механических, технологических и эксплуатационных показателей; требования к созданию целевых структур композита; специфики разработанных составов и особенностей технологических решений.

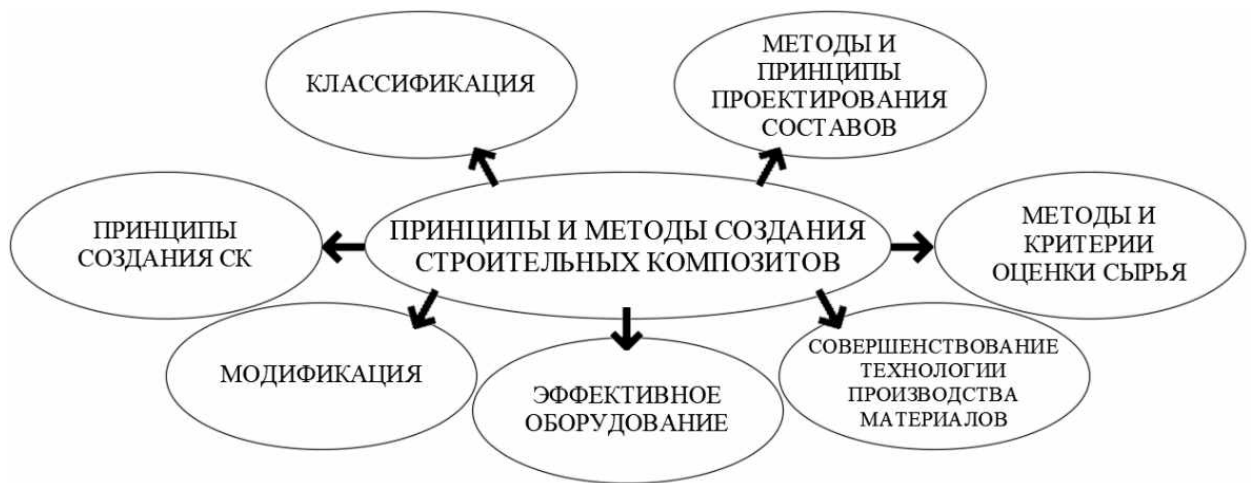


Рисунок 2.2 – Принципы и методы создания строительных композитов

Для создания эффективных композитов необходимо подходить комплексно, создав подвижную систему, которая должна обладать определенной динамичностью, позволяющей изменяться отдельным факторам с целью создания требуемых показателей проектируемому композиту (рисунок 2.3). Такой подход обеспечит проектирование и получение композитов с требуемыми физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Для комплексных исследований запроектированных композитов применяли существующие методы разработки нелинейных моделей, а также возможных способов увеличения спектра использования нелинейных зависимостей. Использование таких зависимостей позволяет расширить создаваемые области для комплексного проектирования композитов, а также осуществлять целевое управление процессами структурообразования в создаваемой системе силикатного композита [282].

Синтез композитов с учетом рассматриваемых подходов заключается в том, что создаваемый силикатный композит, с учетом стабильного существования в конкретных условиях окружающей среды, находится под воздействием ряда комплексных воздействий. Комплексные воздействия на создаваемый композит бывают 2 видов: «контролируемые воздействия», которые определяются и «неконтролируемые воздействия», которые не

определяются; следует учитывать, что последние влияют на систему незначительно.

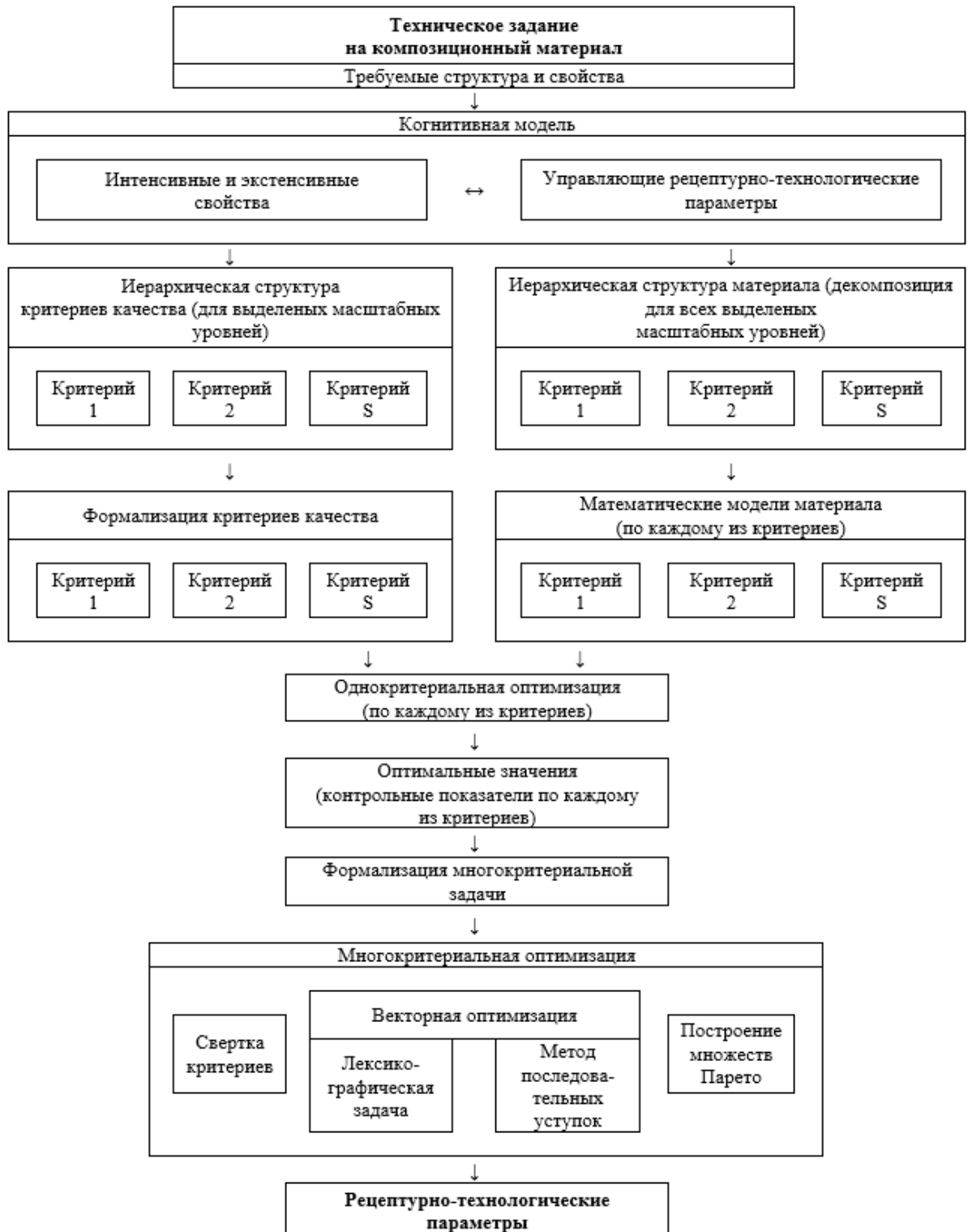


Рисунок 2.3 – Этапы создания композиционных силикатных материалов как сложных систем [283]

При проведении исследований следует учитывать взаимосвязь выходных результатов-координат, которые дают показатели предмета исследования и систем управляющих воздействий, получаемых от субъекта и изменяющихся факторов.

Для решения поставленных задач создают математические модели создаваемых силикатных композитов (рисунок 2.2), включающие 1) управление объектом; 2) ожидаемый прогнозный выход объекта; 3) выявление сущности механизма структурообразования в создаваемом композите.

Управление объектом	Получение строго заданных структур композиционных материалов (КМ): наноструктур, бесконечных кластеров, фракталов, сетчатых или линейных полимеров, объемных или каркасных решеток, определенного вида связей или сочетаний химических элементов и пр.
Прогноз выхода объекта	Получение заданных количественных и качественных эксплуатационных характеристик КМ специального назначения: радиационно-защитных, кислотостойких, жароупорных, биостойких и пр.
Выявление механизма явлений	Выявление механизма структурообразования КМ: полимеризация, поликонденсация, топохимический, сквозь растворный, смешанный и пр.

Рисунок 2.4 – Систематизация задач, позволяющих создать математические модели композитов [282]

При создании математических моделей композитов как сложных систем и составляющих элементов систем управления целесообразно применять модели «вход – выход» и пространственные модели в различных состояниях. Разработанная схема управления объектом (рисунок 2.5) включает оба подхода [282–284].

Исследование разработанной технической системы композита как объекта управления (ОУ) ставит задачу определить структуры технического управления объектом, что ставит целью установление всех возможных входных: управляющих или возмущающих воздействий, переменных величин

состояния и координат выходных, все возможные связи между элементами.

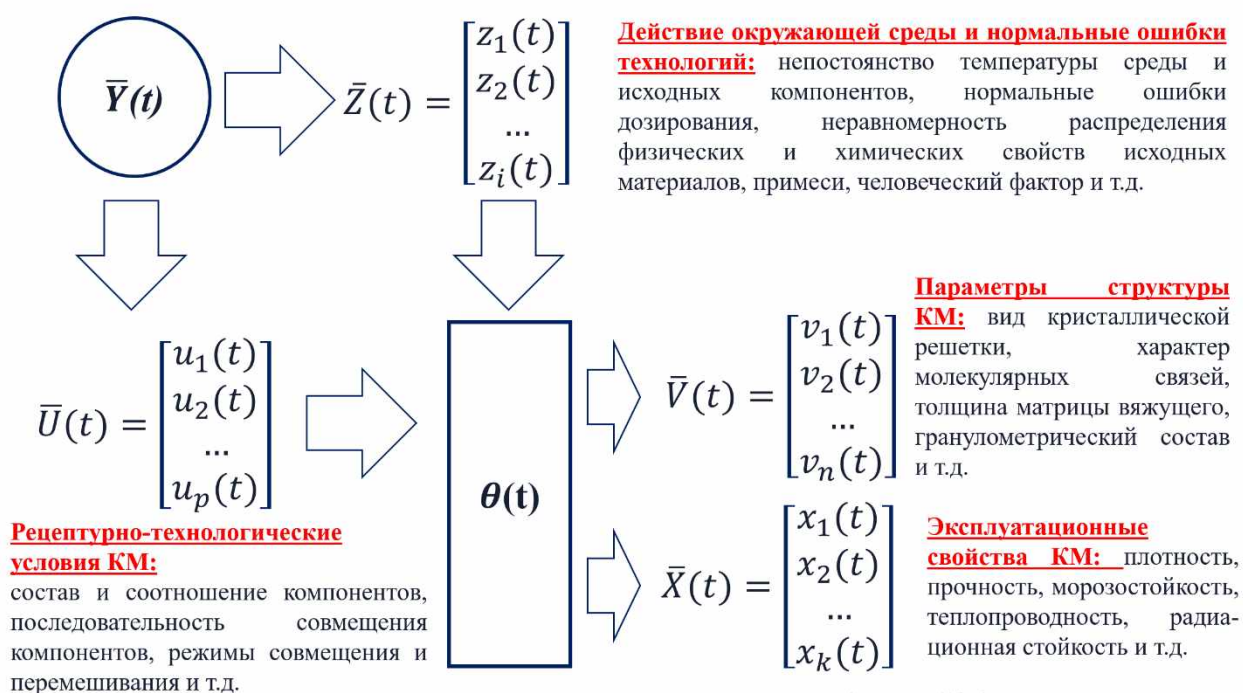


Рисунок 2.5 – Структурная схема управления объекта композиционным материалом (КМ) [282, 284]

Модель исследуемой системы создаваемого композита как принятого объекта управления описывается множеством величин, которые показывают действие создаваемой системы и включающих нижеприведенные подмножества (рисунок 2.3):

1. Координаты (или переменные величины), с которых можно управлять процессом – это все характеризующие изменения объекта управления, т.е. величины выходные $\bar{X}(t)$, текущими показателями которых требуется управлять для реализации поставленных задач (это комплекс требуемых свойств управляемого объекта: технологических, прочностных и эксплуатационных);

2. Система координат существования объекта – это переменные внутренние, отражающие текущее состояние и изменение объекта в определенные промежутки времени $\bar{V}(t)$ (сюда относят параметры состава самого исследуемого объекта: особенности молекулярных связей, их возможный потенциал по энергетике, строение матрицы применяемого

вяжущего, характер взаимной упаковки частиц, гранулометрия присутствующих частиц в системе, форма и вид частиц, общая удельная поверхность системы, а также ее составляющих и пр.);

3. Воздействия управления – это ряд входящих параметров $\bar{U}(t)$, регулированием которых воздействуют на регулируемый объект для управления им (сюда относят различные рецептурные, а также и технологические воздействия: рецептура, компонентный состав объекта испытания, принятые режимы и особенности смешения сырьевых компонентов смеси и прочие технологические воздействия);

4. Воздействия возмущающие – это комплекс входных величин неуправляемых $\bar{Z}(t)$, колебания которых сказывается на состоянии управляемого объекта $\bar{V}(t)$, и его изменяющиеся координаты $\bar{X}(t)$ (сюда относят воздействие окружающей среды и возможные нарушения технологического процесса, изменения температурных режимов, колебания химического и гранулометрического составов сырьевых компонентов, превышение допустимых примесей и т.д.);

5. Параметры динамические (внутренние) объекта – это целый ряд величин $\bar{Y}(t)$, отражающих внутренние показатели и причинно-следственное влияние входных и выходных изменяющихся величин в моделях с математическим описанием объекта (к этим параметрам относят: принятые коэффициенты для полученных характеристических уравнений, создаваемых динамическими моделями, изменяющими скорость и течение процессов кинетики и структурообразования при формировании композиционных вяжущих, влияющими на течение и скорость изменения входного параметра элемента в выходной в текущем статическом режиме (получение эксплуатационных показателей свойства), и постоянные величины времени T , влияющие на течение кинетики процесса структурообразования отдельного элемента процесса получения композитного элемента или всей системы объекта исследования.

В модели вышепредставленные множества величин задают:

– вектором управляемых переменных

$$- \bar{X}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]^T \quad (2.1);$$

– вектором состояний объекта $\bar{V}(t) = [v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t)]^T$ (2.2);

– вектором управляющих воздействий

$$- \bar{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T \quad (2.3);$$

– вектором возмущающих воздействий

$$- \bar{Z}(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t)]^T \quad (2.4);$$

– вектором входных воздействий $\bar{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t)]^T$ (2.5)

Для создания эффективного композита с требуемыми свойствами и разработки рациональной технологии его получения необходимо разработать и реализовать систему как объект управления, что предусматривает изучение области технологии, в которой происходит процесс формирования объекта исследования (в нашем случае – получение композита с требуемыми свойствами), который должен целенаправленно управляться, в определенной системе взаимосвязанных между собой посредством внутренних изменяющихся свойств ОУ изменяющихся (переменных) – величин внешнего состояния и управляемых величин, а также возмущающих и управляющих внешних воздействий.

Назначение и изучение любого элемента общей системы (структуры) композита, как создаваемого объекта управления [282], предусматривает назначение этапов:

– назначение системы координат рассмотрения объекта – переменных, которые определяют поведение объекта в технологии производства (показатели структуры создаваемого композита);

– назначение координат управления – выходных величин (переменных), которые устанавливаются в зависимости от принятой технологии управления (свойства: прочностные, эксплуатационные, по долговечности композита);

– постановка воздействий управления – это касается величин, с помощью которых наиболее эффективно обеспечивается управление в

требуемом режиме с выходными данными для объекта управления (к ним можно отнести требования по рецептурам, по технологическим параметрам приготовления композита);

– установление воздействий возмущающих – это величины входных данных ОУ, которые влияют на координаты управления, эти величины не изменяются посредством устройства управления (такими факторами являются: влияние условий окружающей среды и допустимые ошибки в технологических процессах);

– установление внутренних параметров ОУ – имеются в виду величины, которые имеют свойства объекта: динамические или статические (к таким факторам можно отнести кинетические показатели, а также процессы структурообразования);

– назначение основных критериев для управления процессами и установка ограничений на параметры: входные и выходные переменные, а также допустимые изменения этих пределов, изменения в результате воздействия внутренних параметров объекта (к таким критериям относятся показатели рецептурные и технологические, которые применяются для формирования требуемых структур и получения необходимых прочностных свойств).

Следует отметить [282] основные этапы многофакторного синтеза композитов, которые включают этапы управления:

- постановка целей;
- установление объекта;
- разработка модели объекта;
- технология производства;
- осуществление управления.

Для создания композитов с требуемыми свойствами необходимо экспериментально получить зависимости регулирования контролируемых показателей от различных факторов, особый интерес вызывают способы идентификации процессов динамических воздействий на основании

результатов нормального функционирования и по одновременным измерениям координат различных фаз при нормальном функционировании. Замечено, что наиболее приемлемым при разработке методических подходов получения композитов является целесообразность применения результатов кинетических процессов при структурообразовании и формировании их прочностных показателей, представляющих кривые, отраженные на рисунке 2.6.

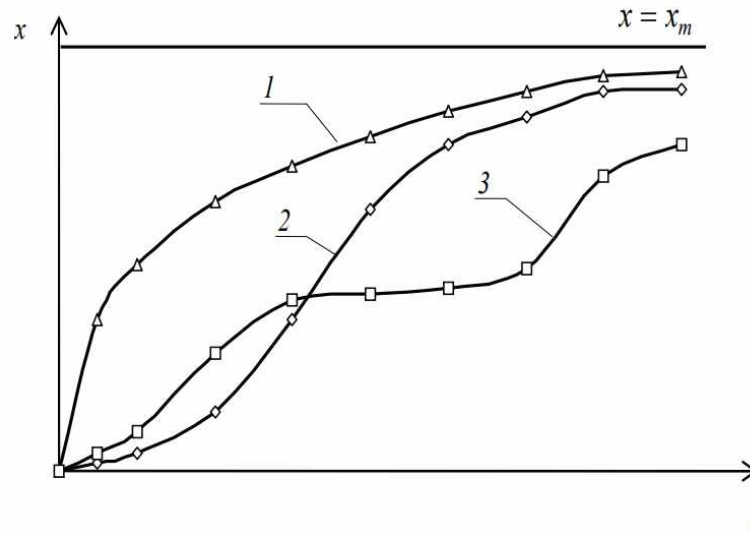


Рисунок 2.6 – Некоторые виды кинетических процессов в композитах:
1 – в гомогенной системе; 2, 3 – в гетерогенных системах [282]

Для решения конкретных задач приоритетная функция поставленной цели определяется с позиций как влияния системы на первичные воздействия, так и точных системных измерений показателей системы и целевого управления в технологическом процессе при нормальных условиях эксплуатации.

Практика показала, что использование принципа Парето позволяет облегчать работу по подбору рецептов разрабатываемых композитов (подбор ингредиентов, соотношение сырьевых компонентов и т.д.) и выделению составляющих компонентов в предлагаемых рецептурах.

Сущность принципа Парето [285] в следующем: значительное количество результатов вызывается незначительным количеством факторов. Как правило, этот принцип применяется при анализе построенных диаграмм

Парето, с целью установления возможных источников возникновения брака и улучшения производства.

Использование диаграммы Парето характеризует причинно-следственные результаты в исследуемой системе и является одним из существенных инструментов при принятии наиболее эффективных решений.

Таким образом, для ликвидации вышеизложенных проблем необходим поиск новых решений за счет применения математического моделирования при формировании направленного структурообразования композитов, синтезированных с учетом принципов глубокого системного анализа с использованием математического моделирования на различных структурных уровнях заданных композитов и системно управляющих рецептурных и технологических воздействий, детальной разработки эффективных программных комплексов, которые обеспечивают целевое решение сложной задачи многокомпонентного получения композитов с требуемыми физико-механическими, технологическими и функциональными показателями, что и планируется реализовать в рамках данной работы в соответствующих нижеследующих разделах и главах.

2.1 Особенности сырьевой базы строительного лома

К концу XX века в результате человеческой деятельности во всем мире накоплено так много отходов, что многие ученые условно называют их новыми месторождениями. И, как отмечается в работе [173], значительная часть отходов составляет строительный лом в виде бетонного и кирпичного боя (около 27 % от общего объема отходов). Если учесть некондиционную продукцию (брак и прочие отходы) заводов ЖБИ, данный показатель увеличивается еще больше.

Одним из перспективных решений проблемы утилизации строительного лома является его вторичное использование в практике строительного материаловедения, в частности в технологии бетона (в качестве заполнителей) и вяжущих веществ (в качестве наполнителя).

Исследования [220] показали, что эффективное применение строительного лома по назначению возможно и целесообразно после его активизации, механической или механохимической, и в зависимости от вещественного и химического составов.

При применении эффективных технологий помола с использованием суперпластификаторов и пластификаторов возможно получать различные композиты с требуемыми свойствами с использованием отходов бетонного лома, получаемого в виде вторичного мелкого и крупного заполнителей (для бетона) и тонкомолотых наполнителей (для композиционных вяжущих).

Естественно, многокомпонентное техногенное сырье в виде строительного лома будет иметь свои особенности для технологий его переработки и вторичного использования в производстве новых строительных материалов.

Согласно авторам [286], разработавшим геометрически-вероятностную модель разрушения горных пород при их дроблении и измельчении, в основе процессов как дробления, так и измельчения лежит разрушение под действием внешних напряжений. Так, авторы выделяют несколько стадий (критериев) разрушения материала под действием внешней нагрузки (рисунок 2.7).

Стадии разрушения материала под действием внешней нагрузки:

– 1-я стадия, когда под действием внешних напряжений σ_1 происходит процесс роста случайно ориентированных трещин внутри дробимого материала;

– 2-я стадия, когда при дальнейшем увеличении напряжения до σ_2 имеющиеся и образовавшиеся микротрещины дробимого сырья распространяются (дорастают), как правило, в направлении приложенного напряжения, до встречи с другими трещинами;

– 3-я заключительная стадия, когда при дальнейшем увеличении напряжения с σ_2 до $\sigma_3 = \sigma_{СЖ}$, образованные магистральные трещины будут распространяться вдоль действия внешней нагрузки до тех пор, пока они не достигнут поверхности кусков дробимого сырья, что приведет к разделению

их на части, к полному разрушению (см. рисунок 2.7).

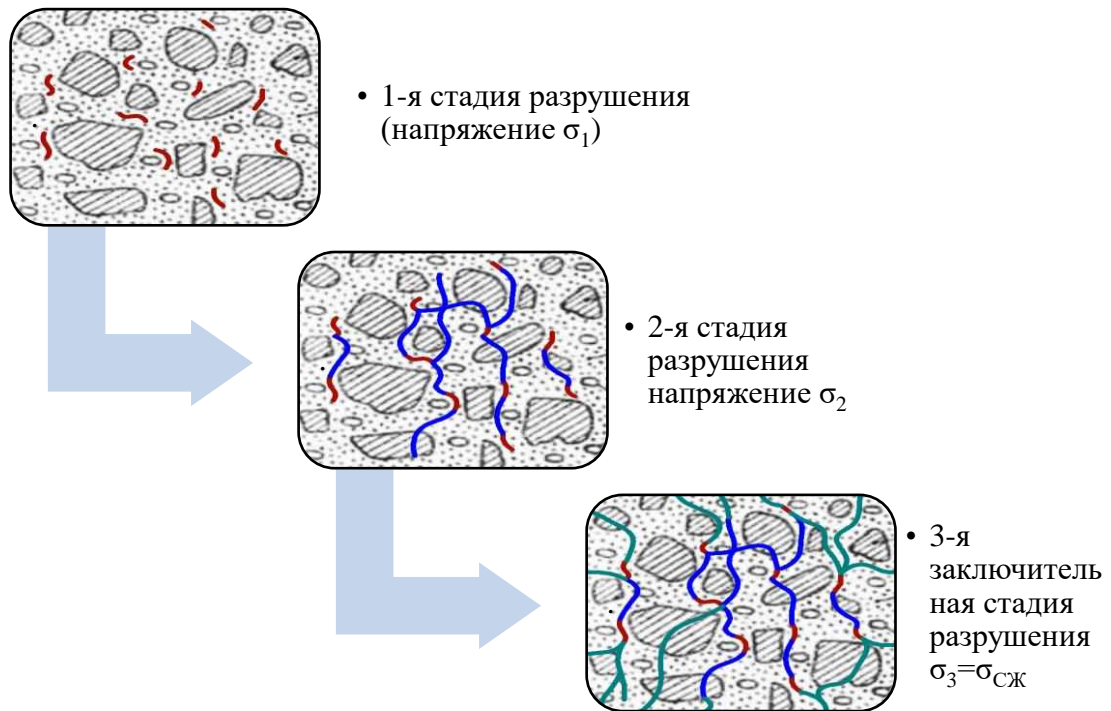


Рисунок 2.7 – Геометрически-вероятностная модель разрушения бетонного лома при его дроблении и измельчении

При этом трещины из-за разрушения (дробления или измельчения) материала могут проходить как по цементному камню и заполнителю, так и по контактной зоне между ними.

В целом, такой характер разрушения строительного лома при его дроблении, согласуется с теорией разрушения обычного бетона, представленной в работе [287].

Следовательно, вторичный заполнитель, полученный из строительного лома (рисунок 2.8), будет состоять практически из тех же компонентов, что и перерабатываемый материал, т.е. частиц старого щебня или гравия, цементного камня, раствора, кирпича и т.д., в зависимости от вида дробимого сырья.

Бетонный лом, подвергаемый дроблению

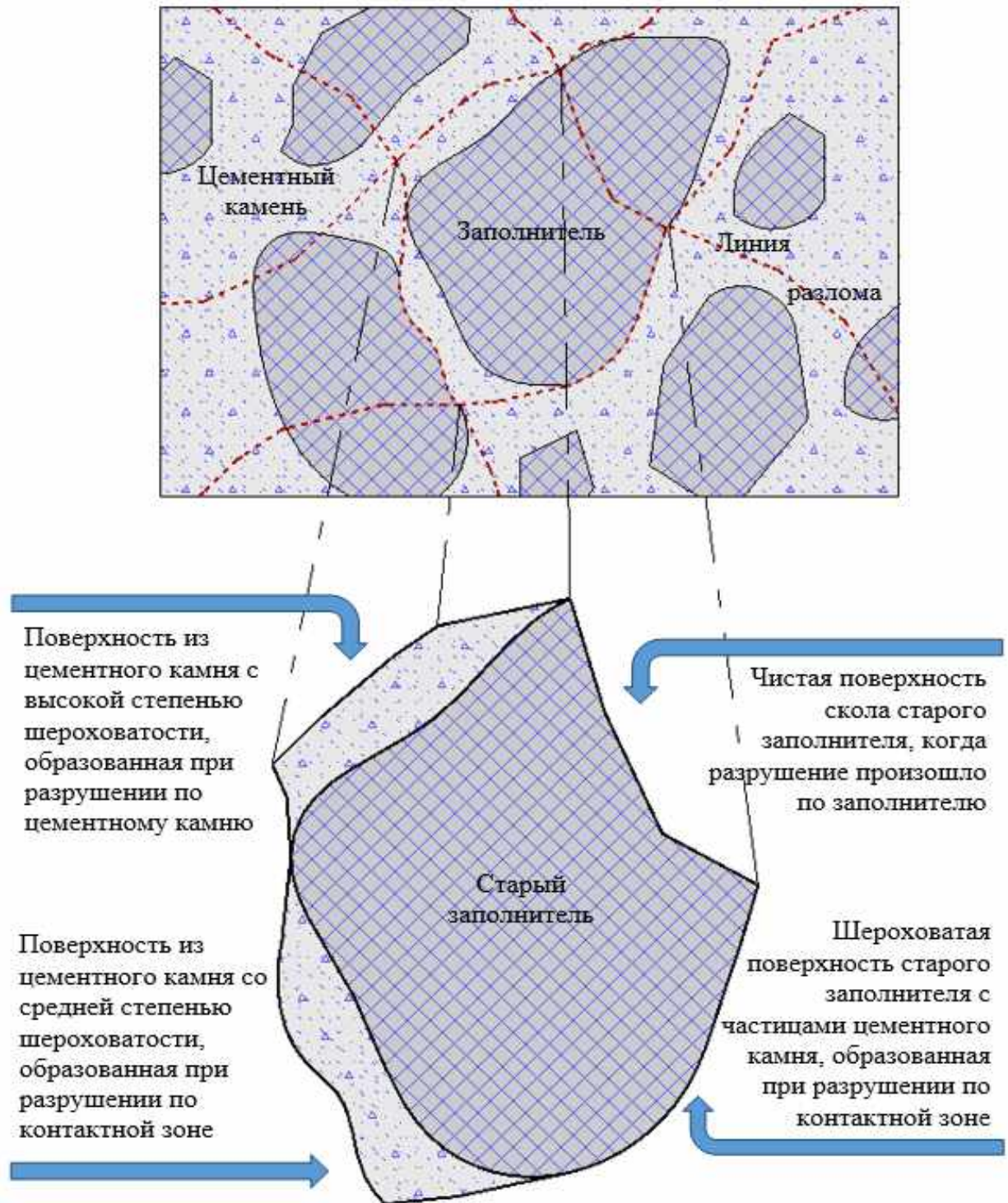


Рисунок 2.8 – Особенности поверхности заполнителя, полученного из бетонного лома

Такая особенность вторичного заполнителя, с одной стороны, относится к недостаткам, вызывающим повышение значения В/Ц бетонной смеси, но который легко может быть решен с использованием (водоредуцирующих) добавок-водопонизителей, с другой стороны, это является преимуществом

такого заполнителя, делающим его уникальным в том плане, что заполнитель, имея увеличенное водопоглощение вследствие пористости его цементной прослойки и гидратированного цементного камня по наружной поверхности заполнителя, будет специфически воздействовать на характер структурообразования всего композита.

Ожидается, что при использовании в составе смеси бетона заполнителя от разрушенных элементов зданий и сооружений, он на первом этапе активно будет впитывать воду, а в более поздние сроки при формировании традиционной структуры цементного композита, будет медленно возвращать воду на гидратацию цемента за счет естественного отсоса воды из пористой цементной прослойки. Цементная прослойка и сам цементный камень по всему объему поверхности повторно используемого заполнителя выполняет функции водного «резервуара» для накопления воды на первом этапе твердения и последующего водонасыщения вяжущего для его активной гидратации и последующего твердения. В обычных бетонах с плотным заполнителем (без водопоглощения), вода затворения, в основном механическая, как правило, располагается на границе между заполнителем и цементным раствором (рисунок 2.9), что существенно снижает их сцепление и конечную прочность бетона.

Идентичными особенностями будут отличаться и заполнители, полученные на основе боя керамического кирпича (БКК) (рисунок 2.10), однако предполагается, что последние будут характеризоваться более значительной деформативностью зерен, чем заполнитель из бетонного лома, и тем более, чем плотный природный щебень или гравий.

Вторичный заполнитель, полученный на основе боя керамического кирпича, характеризуется содержанием частиц различной фракции, представленных зернами дробленного кирпича и измельченной растворной составляющей. При этом следует иметь в виду, что дробленая растворная часть будет иметь отличный химический и минералогический составы, определенные маркой применяемого строительного раствора.

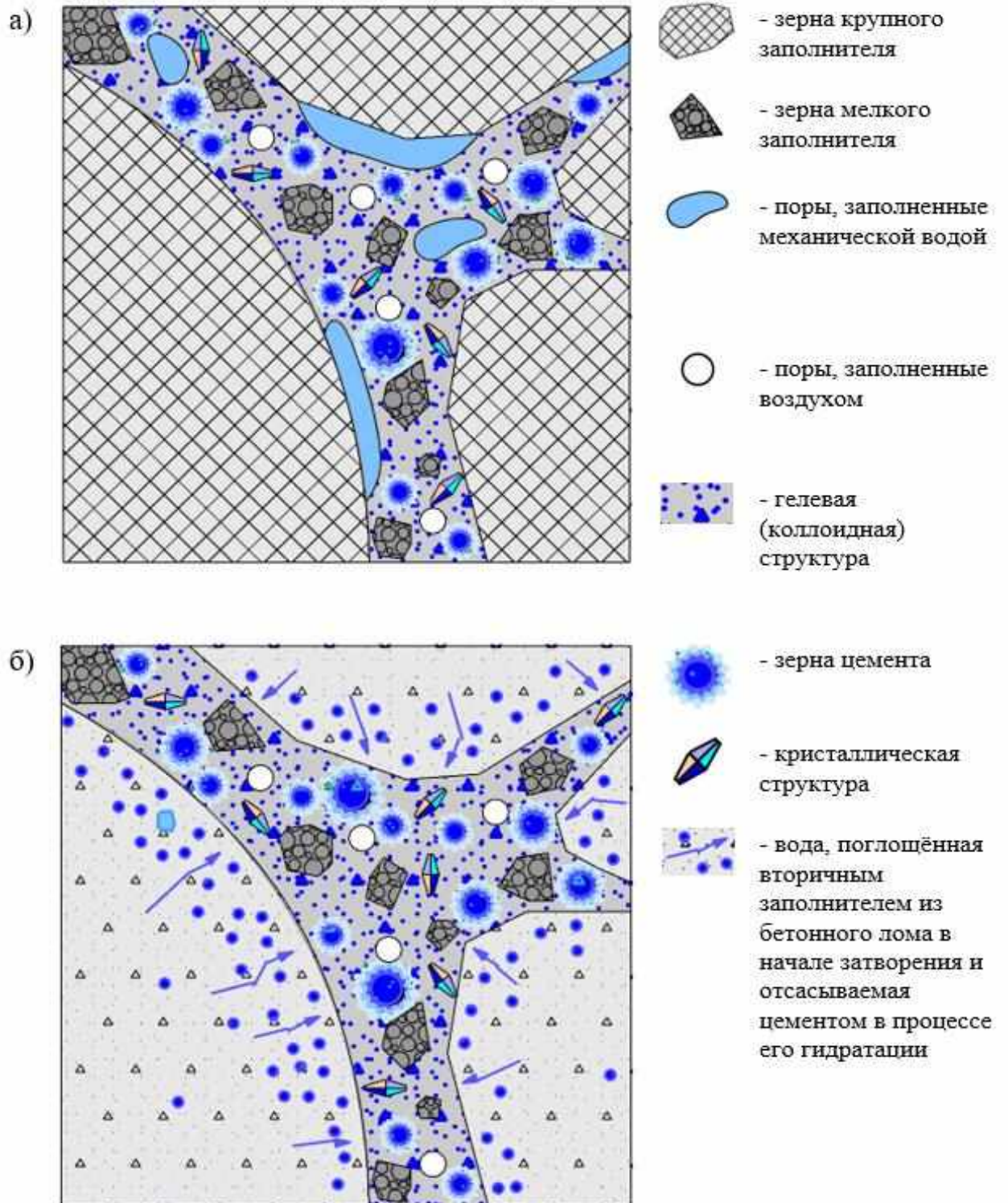


Рисунок 2.9 – Особенности структурообразования бетонных композитов на традиционном природном (а) и заполнителе (б), полученном из лома бетона

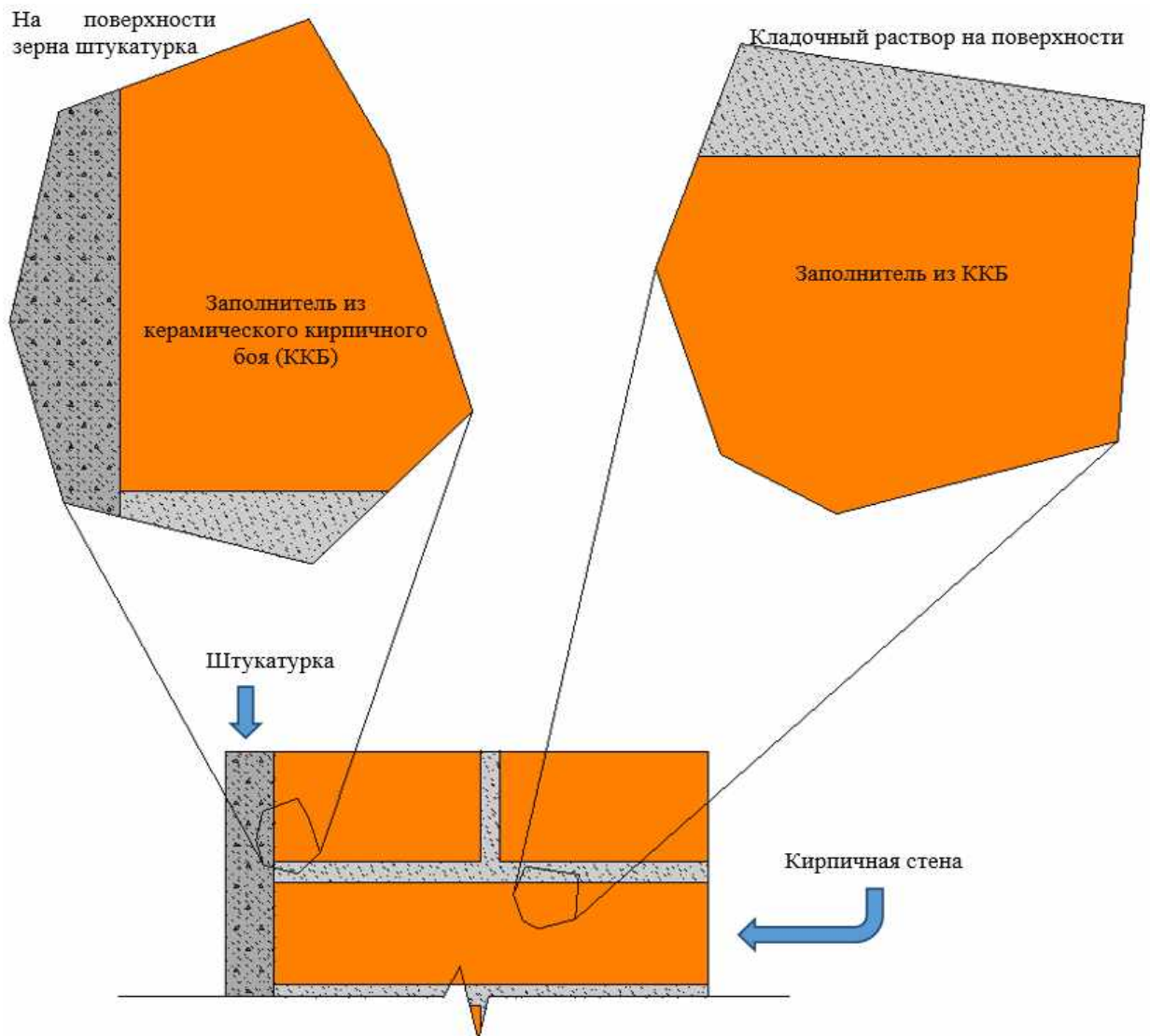


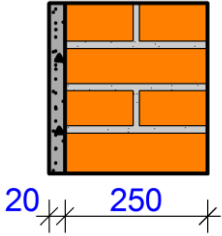
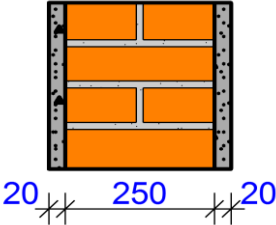
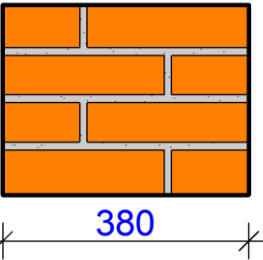
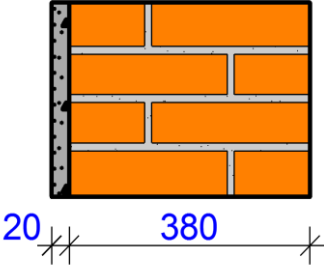
Рисунок 2.10 – Особенности вторичного заполнителя, полученного на основе боя керамического кирпича (БКК)

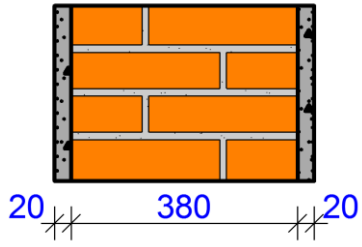
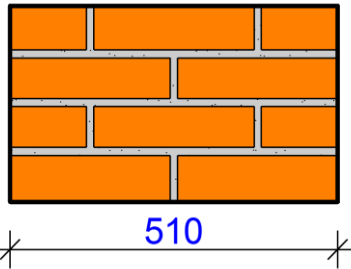
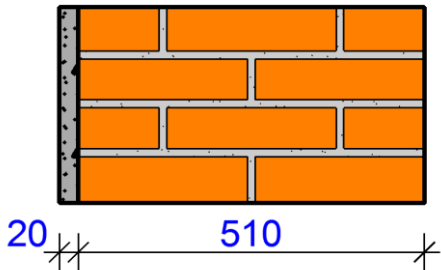
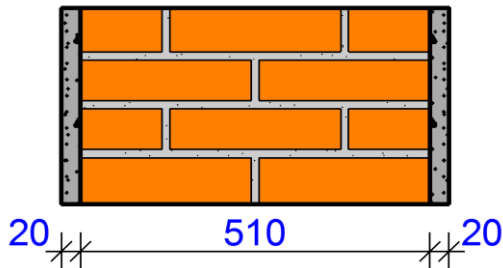
Содержание ингредиентов, входящих в эти отходы, изменяется в зависимости от назначения самой конструкции. Соотношение элементов разрушенных конструкций приведено в таблице 2.1 [288, 289].

В соответствии с требованиями по экологии при сносе любого строительного объекта необходимо иметь величину по соотношению объемов материалов, составляющих его. По этому соотношению (к примеру, кладочный массив – строительный раствор) определяются ориентировочные объемы выхода строительного лома и производятся соответствующие расчеты с применением данных, приведенных в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Соотношение: кирпичная и растворная части в продуктах дробления из боя керамического кирпича

№ п.п.	Конструктивное решение части дробимого сырья, размеры даны в мм	Процентное соотношение между кирпичной и растворной частями в продукте дробления ККБ / их объема (м ³) в 1 м ² кирпичной стены		
		Кирпичная часть	Растворная часть из	
			кладки кирпича	штукатурки
	1	2	3	4
1		$\frac{83}{0,09945}$	$\frac{17}{0,02055}$	—
2		$\frac{71}{0,09945}$	$\frac{15}{0,02055}$	$\frac{14}{0,02}$
3		$\frac{62}{0,09945}$	$\frac{13}{0,02055}$	$\frac{25}{0,04}$
4		$\frac{80}{0,1989}$	$\frac{20}{0,0511}$	—

№ п.п.	Конструктивное решение части дробимого сырья, размеры даны в мм	Процентное соотношение между кирпичной и растворной частями в продукте дробления ККБ / их объемы (м ³) в 1 м ² кирпичной стены		
		Кирпичная часть	Растворная часть из	
			кладки кирпича	штукатурки
1	2	3	4	
5		$\frac{74}{0,1989}$	$\frac{19}{0,0511}$	$\frac{7}{0,02}$
6		$\frac{69}{0,1989}$	$\frac{18}{0,0511}$	$\frac{14}{0,04}$
7		$\frac{79}{0,29835}$	$\frac{21}{0,08165}$	—
8		$\frac{75}{0,29835}$	$\frac{20}{0,08165}$	$\frac{5}{0,02}$

№ п.п.	Конструктивное решение части дробимого сырья, размеры даны в мм	Процентное соотношение между кирпичной и растворной частями в продукте дробления ККБ / их объемы (м ³) в 1 м ² кирпичной стены		
		Кирпичная часть	Растворная часть из	
			кладки кирпича	штукатурки
1	2	3	4	
9		$\frac{71}{0,29835}$	$\frac{19}{0,08165}$	$\frac{10}{0,04}$
10		$\frac{78}{0,3978}$	$\frac{22}{0,1122}$	—
11		$\frac{75}{0,3978}$	$\frac{21}{0,1122}$	$\frac{4}{0,02}$
12		$\frac{72}{0,3978}$	$\frac{20}{0,1122}$	$\frac{8}{0,04}$

Примечание: над чертой – процентное соотношение кирпичной и растворной частей в продукте дробления БКК; под чертой – объем данного материала в 1 м² кирпичной стены.

В соответствии с требованиями по экологии при сносе любого

строительного объекта необходимо иметь величину по соотношению объемов материалов, составляющих его. По этому соотношению (к примеру, кладочный массив – строительный раствор) определяются ориентировочные объемы выхода строительного лома и производятся соответствующие расчеты с применением данных, приведенных в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет расхода кирпича в 1 м²

Единица измерения	Размер кирпича	Без учета растворных швов, шт.	С учетом растворных швов, шт.
1 кв.м. кладки в 0,5 кирпича (толщина кладки 12 см)	1 (одинарный)	61	51
	1,5 (полуторный)	45	39
	2 (двойной)	30	26
1 кв.м. кладки в 1 кирпич (толщина кладки 25 см)	1 (одинарный)	128	102
	1,5 (полуторный)	95	78
	2 (двойной)	60	52
1 кв.м. кладки в 1,5 кирпича (толщина кладки 38 см)	1 (одинарный)	189	153
	1,5 (полуторный)	140	117
	2 (двойной)	90	78
1 кв.м. кладки в 2 кирпича (толщина кладки 51 см)	1 (одинарный)	256	204
	1,5 (полуторный)	190	156
	2 (двойной)	120	104
1 кв.м. кладки в 2,5 кирпича (толщина кладки 64 см)	1 (одинарный)	317	255
	1,5 (полуторный)	235	195
	2 (двойной)	150	130

Конструкции из кирпичей сложены из мелкоштучного материала и различных растворов для кладки в зависимости от назначения этой конструкции. Соответственно лом кирпичных конструкций здания будет представлен этим кирпичом в виде осколков различной величины, а также отходами строительного раствора кладочного и штукатурного назначения в

виде кусков различной конфигурации (рисунок 2.10). Поскольку в составе лома преобладает кирпич, то эти превалирующие свойства и отразятся на свойствах измельченного лома, а именно увеличением водопотребности и водопоглощением за счет высокой пористости, что непременно отразится при приготовлении смесей бетонных на таком пористом заполнителе, на начальном этапе приготовления (до 10 мин) вода активно впитывается в заполнитель, что повлияет на реологию бетонной смеси.

Исследователи [156, 243] отмечают, что пористый заполнитель в бетонной смеси поглощает воды до 50 % ниже, чем поглощает влагу из водной среды.

Для уменьшения или устранения таких явлений используют самые разнообразные способы или технологические приемы: увеличение количества воды до 15 %, поверхностная модификация используемого заполнителя функциональными добавками, применение пластификаторов для бетонных смесей, применение эффективных способов смешения сырьевых компонентов бетонных смесей и проч.

К сожалению, имеющиеся способы экономически затратны. Известно, что увеличение количества воды снижает прочностные показатели цементного камня, а реализация модификации представляет достаточно серьезный процесс. Указанные способы не могут повлиять на устранение нежелательного эффекта от действия «каменной муки» в объеме песка и щебня вторичного использования, полученных в процессе дробления бетонного лома. Следует отметить, что именно частицы размером меньше 0,16 мм, осаждаемые по всей поверхности заполнителей, влияют на снижение адгезии контактной зоны на границе: заполнитель – цементная матрица.

Предлагаемым способом в плане улучшения эффективности при использовании вторичного заполнителя является технология отдельного приготовления сырьевых материалов бетонной смеси, при этой технологии на первом этапе смешиваются отдозированный заполнитель с водой, куда предварительно вводятся функциональные добавки, а позже при смешении

подаётся вяжущее. Предлагаемый метод заключается в том, что дисперсная фракция при введении воды приобретает взвешенное состояние, при этом происходит как бы очистка и обнажение поверхности заполнителя для формирования цементного камня на его свежей подготовленной поверхности. Отмечается, что в формирующейся агрегативно-устойчивой системе высокодисперсные фракции отходов крайне медленно фиксируются на обнаженных поверхностях заполнителя, полученного из бетонного лома. При введении в бетонную смесь композиционного вяжущего и вторичном совместном смешении высокодисперсных зерна дополнительно распределяются в общем объеме перемешиваемого цементного теста, при этом зерна заполнителя из бетонного лома дополнительно контактируют с цементным тестом, обогащенным высокодисперсными частицами. Следует отметить, что модифицированная вода, имеет большую вязкость в сравнении с чистой водой, наличие функциональной добавки затрудняет поглощение воды в поры заполнителей

Предполагается, что заполнитель, полученный из боя керамического кирпича, найдет широкое применение в технологии получения легких бетонов плотностью ниже 1800 кг/м^3 и станет при правильных подходах к его применению альтернативной заменой традиционного дорогостоящего керамзита в таких бетонах.

Однако при использовании пористого вторичного заполнителя из ККБ следует учесть то обстоятельство, что из заполнителей, полученных из различного лома, можно приготовить строго определенный класс и вид бетона, повышение дальнейших показателей по прочности раствора, к примеру вследствие снижения расхода воды, не достигнет желаемого повышения прочностных свойств бетона (рисунок 2.11).

Прочность бетона R_B зависит от прочности растворной части R_P и выражается отношением $R_B = f(R_P)$, характерным трём зонам.

Зона *I* характеризуется повышением показателей прочности бетона при возрастании прочности раствора, хотя используемые заполнители влияют на

физико-механические характеристики бетонов.

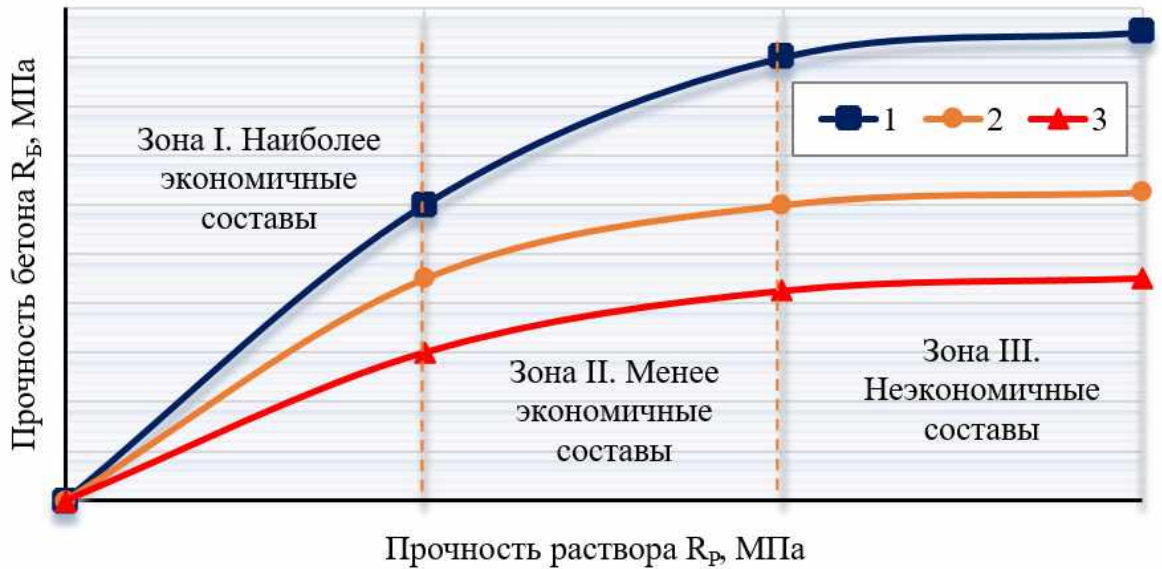


Рисунок 2.11 – Изменение прочности керамзитового гравия и раствора на прочность керамзитобетона:

1 — бетон на гранитном щебне; 2 и 3 — бетон на пористом заполнителе (керамзите) прочностью 7 и 2 МПа соответственно; I — зона возрастания прочности бетона при увеличении вяжущего; II — зона незначительного роста прочности легкого бетона при увеличении вяжущего; III — зона максимальной прочности бетона с перерасходом вяжущего

В зоне II увеличение прочностных характеристик раствора влияет на небольшое возрастание прочности бетона. Последующее увеличение прочностных показателей раствора в данном случае практически не требуется потому, что в бетонных смесях с одинаковой подвижностью прочность получается вследствие увеличения количества портландцемента, при этом свойства бетона заметно не улучшаются. При приготовлении легких бетонов различных классов с использованием заполнителей, приготовленных на бетонном ломе, необходимо эффективно применять вяжущее для приготовления бетонов, отвечающих зоне I. Если к бетону предъявляются специальные требования по плотности, то для него целесообразно использование бетонов, относящихся ко II зоне.

В зоне III отчетливо видно, что увеличение прочности растворной части не обеспечивает возрастание прочностных показателей бетона, что объясняется использованием заполнителя, который обладает незначительной

прочностью.

При изготовлении бетонов на пористых заполнителях, к которым относятся заполнители из лома керамического кирпича, необходимо учитывать, что пористый заполнитель определенным образом влияет на деформативные свойства бетона и модуль упругости бетона в зависимости от деформативности самого заполнителя, а также и величины его присутствия в бетоне.

Следует также иметь в виду полидисперсность вторичного заполнителя из строительного лома, состоящего из крупных, мелких зерен и очень мелких частиц (рисунок 2.12).

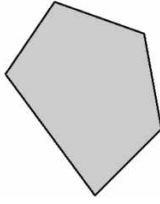
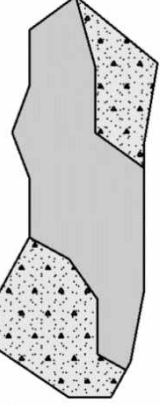
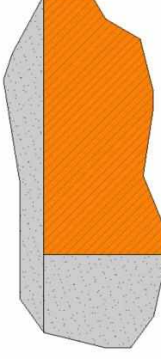

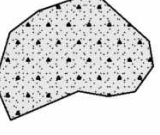
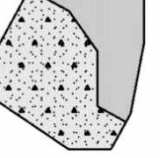
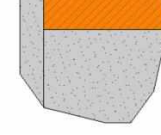
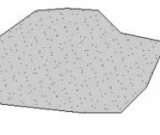
Заполнитель из бетонного лома		Заполнитель из ККБ			
Состав исходного сырья	Морфология поверхности частиц				Состав исходного сырья
Горная порода, из которого был получен первичный заполнитель					Кирпич керамический
Бетонный камень, строительный раствор и т.п.					Кладочный раствор, штукатурка, плиточный клей и т.п.

Рисунок 2.12 – Продукт дробления строительного лома

Кривые просеивания (рисунок 2.13), отражающие гранулометрические составы заполнителей мелких фракций, полученных в результате отсева отходов лома бетона и боя керамического кирпича, свидетельствуют, что кривые по зерновому составу техногенных заполнителей находятся в зоне допустимых значений по содержанию заполнителей мелких фракций для приготовления бетона, что позволяет рекомендовать полученные заполнители для приготовления новых бетонных композитов.

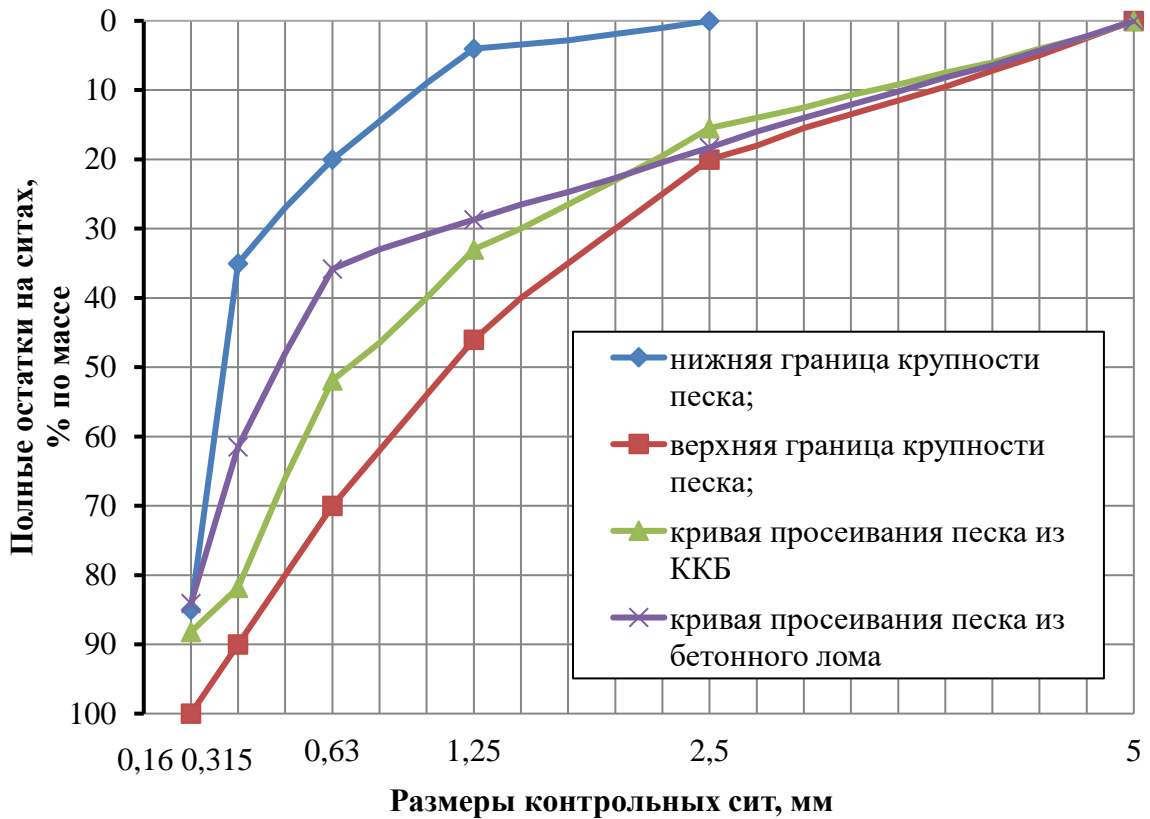


Рисунок 2.13 – Кривые просеивания вторичного мелкого заполнителя в виде отсевов дробления бетонного лома и ККБ, нанесенные на график рекомендуемого зернового состава песка

Таким образом, для решения проблем эффективного использования техногенного сырья в виде отходов разборки конструктивных элементов зданий и сооружений необходимо подключить аппарат математического моделирования процесса структурообразования бетонного композита. Моделирование направленного структурообразования таких композитов, синтезированных с учетом принципов глубокого системного анализа на различных структурных уровнях и с учетом системно управляющих рецептурных и технологических воздействий, требует детальной разработки эффективных программных комплексов, обеспечивающих целевое решение сложной задачи получения многокомпонентного композита с требуемыми физико-механическими, технологическими и функциональными показателями.

2.2 Процессы структурообразования композиционного вяжущего

В настоящее время весьма актуально получение и внедрение простых в технологическом исполнении и сравнительно дешевых способов повышения эффективности бетонов с использованием композиционных вяжущих с минеральным наполнителем различной природы. Однако композиционные вяжущие, как многокомпонентные материалы, требуют особых подходов для его получения и разработки оптимальных рецептур на их основе, поскольку каждый компонент его состава будет играть определенную роль в процессах гидратации и структурообразовании будущего композиционного материала.

Лохер Ф. и Рихартц Н. [290] представили классическую схему процесса гидратации цемента (рисунок 2.14), которая согласуется с экспериментальными данными изучения начального периода структурообразования по изменению предельного напряжения сдвига и распространения скорости ультразвука [155, 243].

На кривой формирования структурной прочности цементного камня отмечается два типичных участка. Особенность первого участка состоит в том, что продукты гидратации вяжущего с водой - это гель, представленный мельчайшими частицами различных форм: пластинчатой, войлокообразной, волокнистой, которые распределяются в объемном пространстве пор среди цементных зерен, которые первоначально были заполнены водой для гидратации. Это пористое образование постепенно набирает прочность, прорастая продуктами гидратации системы.

Период затворения с начала до момента, при котором резко увеличивается прочность системы, считается периодом образованием структуры композита. Формирование пористости и плотности композита определяется количеством цемента в цементном тесте и от водоцементного отношения. Первично образующиеся силикаты и алюмосиликаты кальция формируют «первоначальный каркас», определяющий конечную структуру и прочность цементного камня.

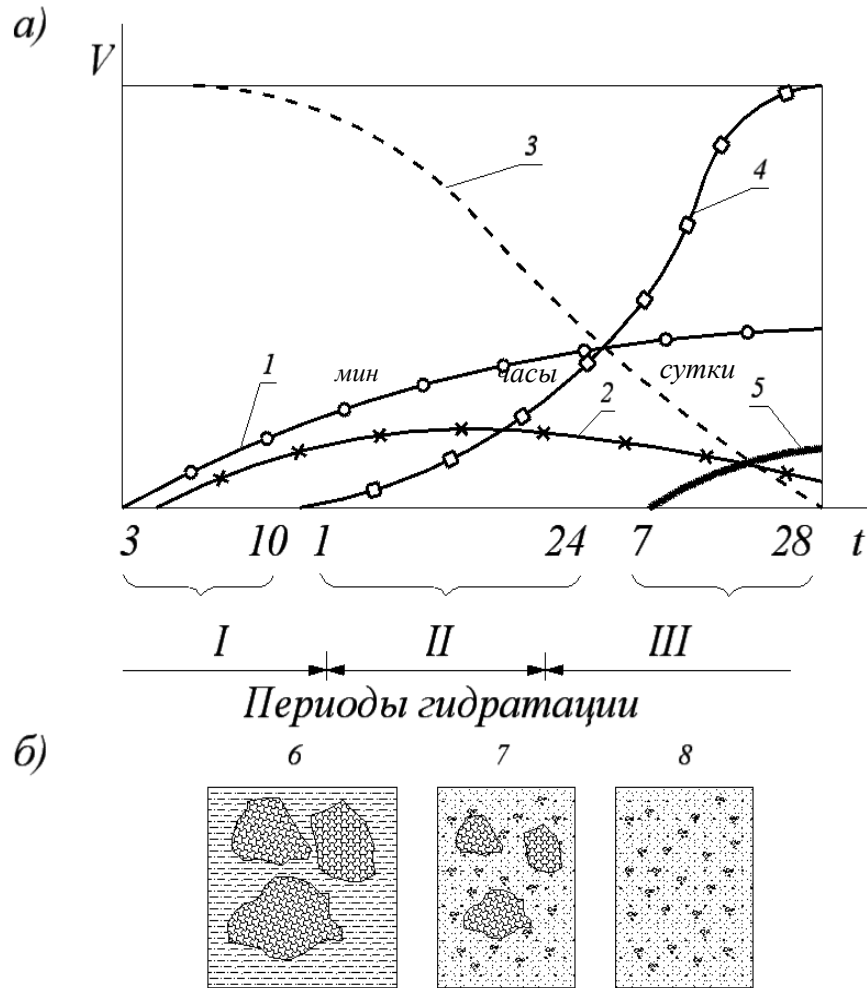


Рисунок 2.14 – Схемы процесса гидратации цемента (а) и структурообразования (б) цементного камня:

- 1 – формирование удлиненных кристаллов; 2 – этtringит; 3 – пористость;
 4 – формирование мелких волокон; 5 – моносulfат; 6 – начальная структура;
 7 – формирование основной структуры и ее уплотнение; 8 – стабильная структура

Последующее формирование структуры происходит вследствие появления новообразований в образованной матрице и относится к третьей стадии гидратации. К окончанию структурообразования цементное тесто превращается в твердый цементный камень, переходя от пластической к хрупкой прочности.

Процессы структурообразования композиционного вяжущего и материала на его основе исследованы Чулковой И.Л. [291], Лесовиком В.С. [292, 293], Бердовым Г.И. [294, 295], Клочко Б.Г., Горидько Д.В., Пунагиным В.В. [296], Ким С.В., Федюк Р.С. [297] и др.

На основании утверждения авторов [290, 291], что дисперсность и

гранулометрия цементных частиц оказывает влияние на формирование пористой структуры строительных материалов, с высокой степенью вероятности можно предположить, что данные характеристики композиционных вяжущих еще в большей степени будут своеобразно влиять на процессы формирования капиллярно-пористой структуры будущего композита (таблица 2.3).

С этой точки зрения очень важно исследовать влияние особенностей композиционных вяжущих из техногенного сырья на основные структурные показатели композита на его основе.

Таблица 2.3 – Классификация пор цементного камня по размерам

Радиус пор, м	Классификация пор цементного камня по данным												
	Г.И. Горчакова	А.Е. Шейкина	А.В. Волженского	Ю.М. Бутта	Т. Пауэрса	Р. Фельдмана	А.В. Львова	М.М. Дубинина и А.В. Лыковой	И.Л. Чулковой				
5	Воздушные поры	Некапиллярные поры	Пустоты	Крупные поры	Макропоры	Микропоры	-	Крупные поры	Пустоты				
2										Крупные поры (макропоры)			
10^{-3}													
5													
2		Микропоры											
10^{-4}													
5													
2													
10^{-5}	Макрокапилляры	Капиллярные микропоры	Капиллярные микропоры	Макрокапилляры	Капиллярные макропоры								
5						Микрокапилляры (ультра микропоры)							
2													
10^{-6}													
5	Капиллярные микропоры	Капиллярные микропоры	Капиллярные микропоры	Капиллярные микропоры									
2													
10^{-7}													
5					Гелевые поры	Переходные поры	Переходные поры	Микрокапилляры	Поры между частицами геля	Адсорбционные поры	Микрокапилляры	Переходные поры	
2	Адсорбционные (субмикропоры)												
10^{-8}													
5													
2		Микрокапилляры	Микропоры	Гелевые поры		Поры геля	Межслоевые поры					Микропоры	Гелевые поры
10^{-9}	Пленочные поры												
5													
2													
10^{-10}													
5													
2													
10^{-11}													

Автором [291], с учетом следующих критериев оценки происходящих процессов структурообразования строительного композита (рисунок 2.15), рассмотрены особенности формирования внутренней структуры и возможные пути оптимизация физико-механических свойств создаваемого цементного камня и строительного материала с требуемыми свойствами.

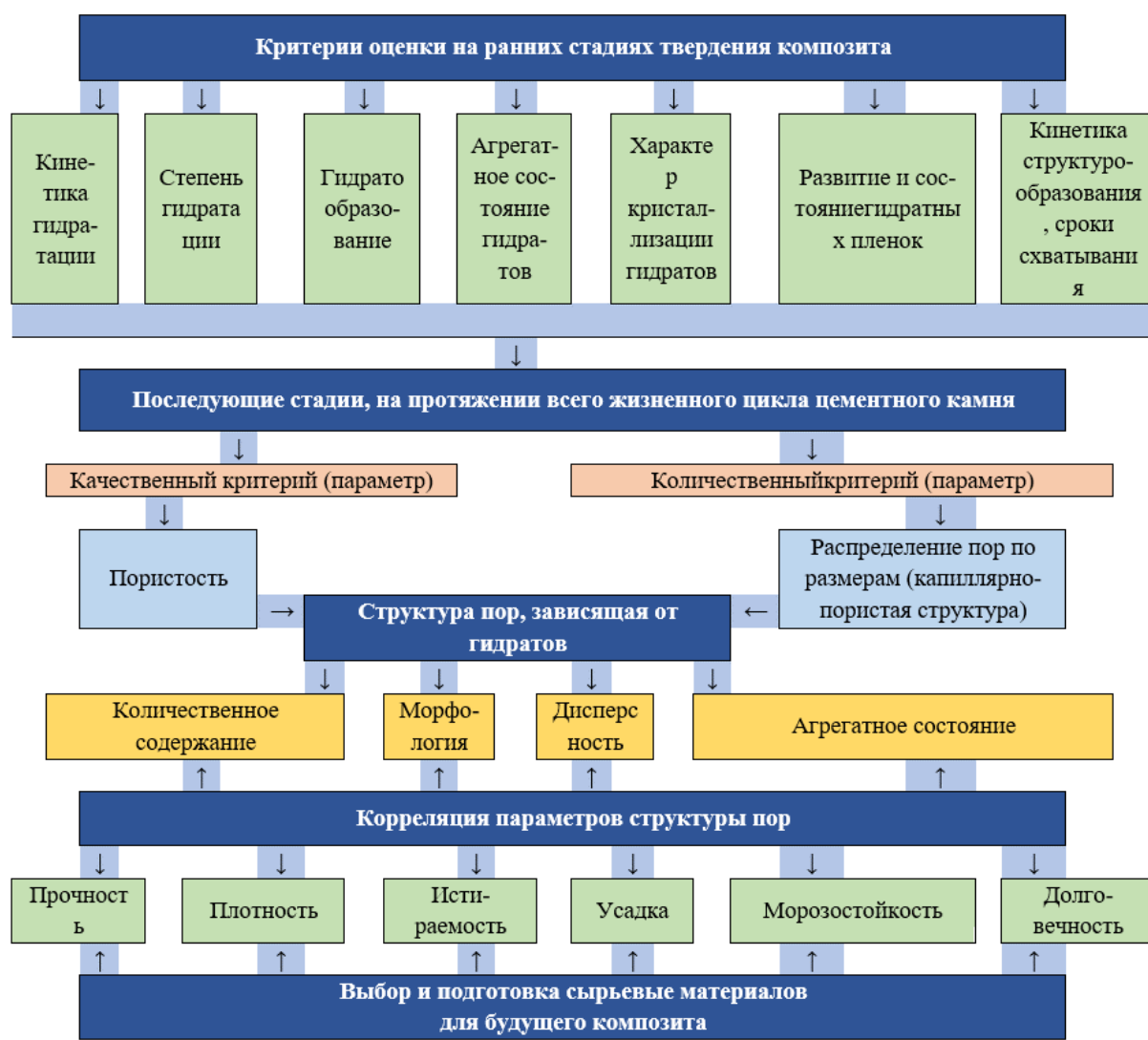


Рисунок 2.15 – Критерии оценки структурообразования строительного композиционного материала [291]

Как известно, один и тот же строительный материал в зависимости от вида структуры и размеров пор (таблица 2.3) может иметь отличные показатели по физико-механическим, теплотехническим, эксплуатационным, технологическим свойствам. Исследователи [292, 293] разработали принципы

структурообразования тонкостенных строительных растворов на основе сродства структур, в соответствии с которыми имеющиеся структуры строительных композитов целесообразно подразделить на три структурных уровня в зависимости от величины размерности пор: нано-, микро- и макроструктуры (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Управление процессами формирования структуры строительных композитов на основе принципа сродства структур в зависимости от сырьевых компонентов

Параметры, влияющие на процессы формирования структуры	Структура с соответствующими размерами пор		
	Макроструктура	Микроструктура	Наноструктура
Компоненты, регулирующие формирование структуры	Наполнители (золы, минеральные наполнители), заполнители (пеностекло), поризующие добавки	Ускорители твердения, пластификаторы, суперпластификаторы, уплотняющие органические полимеры, порошковые наполнители	Гиперпластификаторы, уплотняющие добавки – тяжелые соли Al, Fe; нанодисперсные наполнители

Для синтеза плотной структуры и, как следствие, наиболее прочной структуры для бетонных изделий (таблица 2.4) необходимо создать упорядоченную гомогенную микроструктуру на всех вышеуказанных уровнях. Как правило, все строительные материалы и изделия формируются за счет упорядочения всех названных структур: нано-, микро- и макроструктур, при создании которых преимущественно применяются различные цементы, а в последние годы – композиционные вяжущие с использованием различных минеральных и органических добавок [294, 295].

При создании целенаправленных структур материалов, в частности для получения теплоизоляционных композитов, необходимо вводить в создаваемую систему различных поро- или газообразующих добавок, придающих соответствующие теплоизоляционные свойства полученным материалам.

Авторами [291–295] исследовано влияние пористой структуры материала, особенностей составов и полученных результатов синтезированных цементных камней, модифицированных полиминеральными добавками при гидратации в естественных условиях. Исследования модифицированных цементов осуществляли с изменением удельных поверхностей в диапазоне 250...450 м²/кг. Результаты исследований показали, что помол низкоалюминатного белитового цемента нецелесообразен свыше удельной поверхности 350 м²/кг, так как наличие числа нанопор и объем химически связанной воды изменяется незначительно при возрастании удельной поверхности до величины 450 м²/кг. Следует отметить, что авторы утверждают, что объем всей пористости, присутствие пор (макроскопических и капиллярных) не зависят от минерального состава применяемых цементов. На физико-механические показатели полученных цементных камней существенно влияет наличие микро- и макропор, что соответствует классическим представлениям.

Исследования авторов [290–295] показали, что гранулометрический и дисперсный составы частиц цемента существенно влияют на структурообразование композиционных материалов.

Кроме того, важнейшее воздействие на процессы структурообразования композита на основе композиционных вяжущих будут оказывать и химические добавки.

2.3 Управление синтезом новообразований в системе «цемент – минеральный наполнитель – ПАВ»

Минеральные наполнители, вводимые в состав цементных вяжущих в виде высокодисперсных порошков, достаточно плотно заполняют пустоты межзернового состава гидратированного цемента, а активные минеральные наполнители, обладая гидравлической активностью, помимо функции уплотнения, активно взаимодействуют со структурными составляющими в созданной минеральной системе с формированием дополнительных

гидратных новообразований, активно заполняющих межзерновое свободное пространство, тем самым уплотняя структуру и повышая прочность цементного вяжущего [296–300].

Вследствие использования минеральных наполнителей достаточно значительно понижается объем пор в системе, в связи с чем возрастает зона контактной зоны «цементный камень – наполнитель» [301–304].

При установлении расхода дисперсного минерального наполнителя, который обладает определенной гидравлической активностью из-за взаимодействия с несвязанным гидроксидом кальция, следует учитывать условие при наибольшем заполнении пустот межзернового пространства в исходном вяжущем, но и обеспечить требуемое количество щелочного потенциала в данном цементном тесте [305]. При подборе состава разрабатываемого композиционного вяжущего следует рационально назначать расход минерального наполнителя, не допуская предельных дозировок, принимая во внимание его гидравлическую активность и дисперсный состав.

При использовании активных высокодисперсных минеральных наполнителей, имеющих свойственную каждому из них определенную активность, создаются благоприятные условия для формирования в системе дополнительных гидратных новообразований, повышающих физико-механические характеристики композита [306–308].

В исследовании [297] также отмечается, что разработка материалов, которые могут обеспечить требуемые показатели прочности бетона при статических и динамических нагрузках, по показателям трещиностойкости, водо- и газонепроницаемости на необходимом уровне, может быть реализуема при применении современных достижений в строительном материаловедении и возможности регулирования структурообразования в системе компонентов: «портландцемент – наполнитель минеральный – поверхностно-активное вещество». С целью обеспечения нормальной жизнедеятельности человека с точки зрения предлагаемой системы «человек – материал – среда обитания»

необходимо еще при проектировании рассматривать возможность использования предлагаемых зеленых композитов с использованием техногенного сырья. Реализация поставленной цели требует серьезных предварительных мероприятий, направленных на сокращение потребления портландцементного клинкера, снижение энергоемкости при изготовлении строительных материалов и комплексном использовании отходов различных отраслей промышленности [309–312].

Авторы [297, 313] предложили теоретические предпосылки для получения композиционных вяжущих, представляющие собой оптимизацию структурообразования за счет применения многокомпонентного модификатора при совместном измельчении ($S = 550 \text{ м}^2/\text{кг}$) с цементом в вариопланетарной мельнице. Аморфная фаза кремнезема в предлагаемом многокомпонентном модификаторе гарантирует связывание гидроксида кальция, выделяющегося при гидратации C_3S , и создает условия для формирования низкоосновных гидросиликатов кальция, понижает основность системы и наличие портландита.

Элементы кремнезема выступают центрами кристаллообразований, дополнительно уплотняющих сформированную структуру твердеющего камня из цементного теста. Высокодисперсные известковые частицы благоприятно влияют на формирование гидрокарбоалюминатов кальция, а совместно с высокодисперсным кварцевым наполнителем кольматируют имеющиеся поры в сформированном цементном камне.

Положительный эффект («эффект микронаполнителя») от использования высокодисперсных добавок на систему «цемент – минеральный наполнитель – ПАВ» и на процессы структурообразования бетона в целом, отмечается в работах [314–320], авторы которых утверждают, что «эффект микронаполнителя» проявляется как следствие синтеза многокомпонентной системы «цемент – минеральный наполнитель – ПАВ», поскольку дисперсные частицы обладают значительно меньшей величиной, чем частицы портландцемента. С возрастанием содержания минеральных

добавок в объеме композита снижается общая пористость цементного камня. При избытке содержания тонкомолотой добавки отмечается снижение физико-механических показателей композита в связи с ухудшением контакта затвердевшего цементного камня с используемым заполнителем. В создаваемом композите с использованием вяжущего и минерального наполнителя необходимо создать условия, чтобы тонкодисперсные наполнители не блокировали образование новых фаз и не препятствовали формированию кристаллической структуры композита.

В работе [321] отмечается, что тонкомолотый минеральный наполнитель, введенный в композиционное вяжущее, благоприятно влияет на активное структурообразование в цементном композите, повышая его плотность и водостойкость, препятствуя прониканию влаги в поры материала.

Авторы [322] связывают технологии получения высококачественных бетонов переходного и нового поколений с колоссальными возможностями синтеза новообразований из цементосодержащих веществ, в том числе и композиционных вяжущих с наполнителем из природного или техногенного сырья, при правильной их рецептуре, оптимизированных параметрах прессования и тепловой обработки.

К тому же по своему технологическому содержанию производство плотного, однородного композита гидратационного твердения – это достаточно сложное химическое взаимодействие компонентов, поскольку синтез новообразований такой многокомпонентной композиционной системы обусловлен сложными химическими реакциями. Поэтому физико-механические, эксплуатационные и другие характеристики будущего композита определяются качеством применяемых сырьевых материалов и полнотой протекания процессов синтеза новообразований в создаваемой системе.

Анализ кривых нарастания прочностей (рисунок 2.16) минералов портландцементного клинкера показывает, что наибольшие показатели прочности имеют образцы гидратированных алитов, наименьшие показатели

прочности - гидратированные образцы трёхкальциевого алюмината.

Российскими учеными [1, 42, 313, 315] проведены исследования по изучению процессов структурообразования в многокомпонентных сырьевых системах с использованием высокодисперсных минеральных наполнителей различного генезиса.

Установлено, что начальная прочность структуры композита весьма мала, причиной чего является незначительность ван-дер-ваальсовых сил сцепления. В это время происходит схватывание системы. На этом этапе образуются крупные кристаллы игольчатой формы – этtringиты (гидросульфоалюминаты кальция) и немного позже появляются кристаллы удлиненные и волокнистые (гидросиликаты кальция), на начальном этапе их содержание незначительно. Такая картина наблюдается в течение первых суток нормального твердения, при этом формируется этtringит в процессе взаимодействия гипса с минералами цемента.

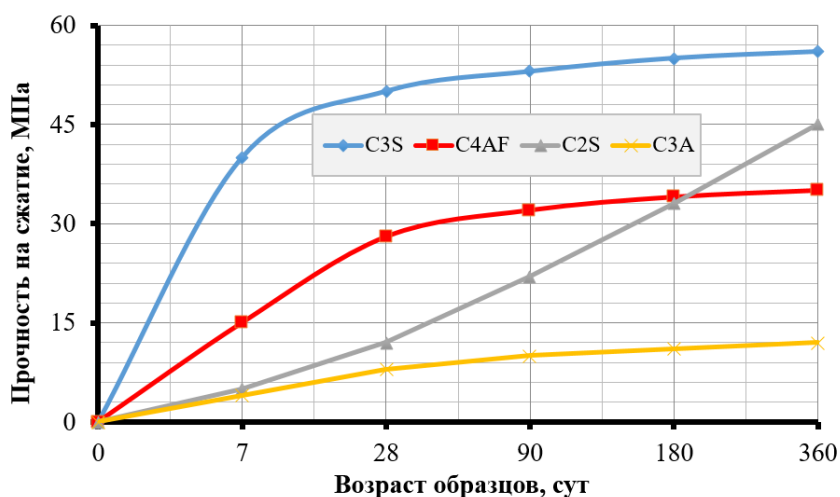


Рисунок 2.16 – Динамика нарастания прочности клинкерных минералов: C_3S ; C_2S ; C_3A и C_4AF

В последующий период гидратации отмечается активное заполнение порового пространства продуктами гидратации и твердения минералов портландцементного клинкера и дальнейшее уплотнение первично сформированной структуры цементного камня. Вследствие образования все большего объема гидросиликатов кальция, заполняющего свободные поры,

прочность формируемой структуры значительно увеличивается.

В начале процесса отмечается образование структурного кристаллизационного каркаса вследствие возникновения зон контактов, их срастания, прорастания одних кристаллов сквозь другие; на следующем этапе, за счет формирования кристаллической структуры по поверхности всего объема цементного теста, происходит объемное прорастание всего каркаса. Из изложенного очевидно, что прочность получаемого композита во многом зависит от прочностных показателей контактных зон, сросшихся между собой кристаллогидратов.

Цементный камень – это сложная конгломератная разнородная система, состоящая из коллоидных и кристаллических гидратных новообразований; из более крупных цементных зерен, которые еще не прореагировали вследствие своих размеров, дисперсных частиц различных размеров минеральных наполнителей, пор различной конфигурации и размеров, заполненных водой или воздухом. Часто цементный камень называют «микробетоном». На основании многочисленных исследований установлено, что объемная пористость цементного камня может достигать 28 %.

Основными составляющими цементного камня являются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, эттрингит, гидроксид кальция. Цементный камень представлен в среднем на 75 % слабо закристаллизованными, высокодисперсными, низкоосновными гидросиликатами кальция с отдельными включениями тонкодисперсных частиц коллоидных размеров (тоберморитоподобным цементным гелем). Тоберморитоподобный цементный гель обладает наибольшей величиной удельной поверхности. При гидратации алита наиболее представительными кристаллическими (неколлоидными) фазами цементного камня выступают эттрингит и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который получается вследствие гидратации алита. Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ составляет примерно 20–30 % от массы сухого цементного геля.

Цементный камень можно назвать искусственным композитом, в

котором гелевидная фаза выполняет функцию подвижной матрицы, а функцию жёсткого каркаса – образовавшиеся крупнокристаллические новообразования, частицы наполнителя различной природы и крупных клинкерных частиц, еще непрогидратировавших. Отмечается, что при применении композиционных вяжущих содержание таких частиц чаще ниже или гораздо ниже при сопоставлении с обычными товарными цементами.

Целевая созданная структура композита с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными показателями отражается на особенностях службы, характере и специфике разрушения камня, что предопределяет его создание, применение и возможность производства бетонных композитов нового поколения.

Таким образом, анализ современных представлений о процессах гидратации, структурообразования и синтеза новообразований и прочности многокомпонентной системы «цемент – минеральный наполнитель – ПАВ» позволяет сформулировать ряд научных положений, принятых как основа для дальнейших экспериментальных исследований по рассматриваемой в работе актуальной научной проблеме.

2.4 Состав и структура новообразований

В настоящее время в связи с активным строительством в стране наряду с традиционными вяжущими гидратационного и воздушного твердения потребовались новые вяжущие с целым комплексом новых специальных технологических и эксплуатационных свойств. Такие вяжущие назвали композиционными, т.к. их получают на основе композиций, включающих вяжущее (портландцемент, гипс или известь), тонкомолотые минеральные наполнители различного происхождения и органические добавки различного функционального назначения [323].

Для получения композиционных вяжущих необходимо использовать новые технологические решения и принципы, обеспечивающие получение материалов с требуемыми заранее заданными свойствами. Создание

композиционных вяжущих предполагает получение сложной многокомпонентной системы, включающей определенные подсистемы, которые призваны выполнять строго назначенные функции. Каждая отдельная подсистема состоит из определенных элементов. Все входящие элементы в единой сложной системе постоянно контактируют друг с другом, создавая единое целое, призванное получить наиболее оптимальный конечный эффект [324, 325]. С целью получения наиболее эффективного композиционного вяжущего необходимо рационально подбирать элементы общей системы с назначением требуемых свойств и их влияния в сложной системе [326–330].

Отвердевание всех минеральных вяжущих, как правило, происходит вследствие гидратационных процессов, сопровождающихся сложными химическими и физико-химическими взаимодействиями [328].

Сопоставление известковых вяжущих, гипсовых, магнезиальных и портландцемента показывает, что последний характеризуется наиболее сложным минеральным и химическим составами, обеспечивающими формирование сложных кристаллических новообразований, способных гидратировать, упрочняться и набирать прочность в длительные сроки в неодинаковых климатических условиях.

Модифицирование портландцемента добавками: химическими, минеральными, органо-минеральными, а также самыми различными их комбинациями - значительно расширит ассортимент выпускаемых цементов, снизит их себестоимость и позволит использовать техногенные отходы [323, 331].

В соответствии с предложенной академиком Байковым А.А. теорией твердения вяжущих веществ, процессы гидратации клинкерных минералов происходят по основным двум путям: за счет растворения и по топохимическому типу. Указанные пути влияют на формирование соответствующей морфологии, форму, размер и количество новых кристаллических фаз, в итоге - на физико-механические свойства затвердевших цементных композитов.

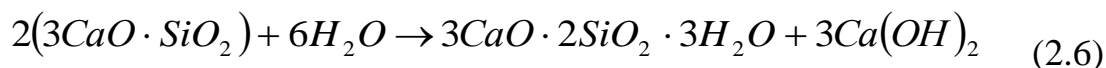
Работами А.В. Волженского убедительно доказано, что, используя основные принципы твердения цементных композитов, возможно и целесообразно управлять и регулировать технологические процессы по получению растворов и бетонов с заранее заданными свойствами. Регулируя температурные режимы твердения, изменяя в требуемых пределах минералогию и дисперсный состав цемента, создавая определенную щелочность в твердеющей цементной системе, можно целенаправленно изменять скорость гидратационного твердения, влиять на формирование новообразований в системе, формировать мелкодисперсную кристаллическую структуру композита с достижением требуемых технологических, физико-механических и эксплуатационных свойств создаваемого цементного композита. Некоторые ученые указывают на условия [323], при которых протекают химические и физико-химические взаимодействия в твердеющей вяжущей композиции (рисунок 2.17).



Рисунок 2.17 – Способы управления составом и размерами кристаллов новообразований в системе композиционного вяжущего

При обычных комнатных условиях алит (C_3S) реагирует с водой по

схеме:

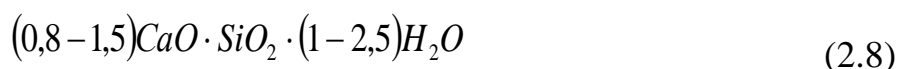


Считаем, что в рассматриваемой твердеющей системе преимущественно образуется:



В случае изменения в этой системе щелочности среды формирующиеся гидросиликаты кальция будут иметь переменный состав.

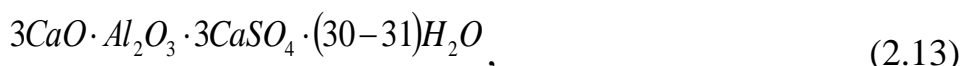
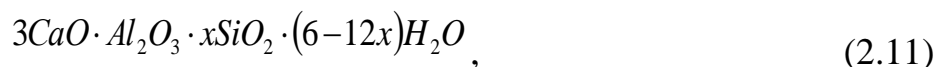
В жидкой фазе при обычных комнатных условиях концентрация гидроксида кальция содержится в пределах 0,05–1,1 г/л (расчет на известь), при таких условиях в рассматриваемой системе образуются соединения типа:



При таких условиях основность полученных продуктов гидратации будет в прямой зависимости содержания СаО в жидкой фазе: чем больше основность, тем больше концентрация извести.

При гидратации белита (C_2S) идет процесс аналогично приведенному выше, но отмечается, что скорость протекания значительно медленнее, процесс гидратации белита длительный [323, 332].

При гидратации трехкальциевого алюмината ($3CaO \cdot Al_2O_3$) с водой затворения в условиях изменения температурного режима и щелочности жидкой среды, временного порядка и содержания солей: $CaCO_3$, $CaCl_2$, SiO_2 , наличия гипса образуются новообразования следующего ряда:



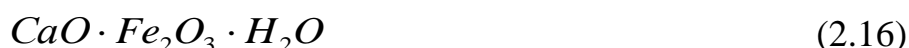


Формирующиеся кристаллы новообразований имеют самую различную форму: сферическую, пластинчатую, гексагональную, игольчатую, кубическую и проч. Кристаллы, в зависимости от формы, имеют свои свойства.

Четырехкальциевый алюмоферрит (C_4AF), гидратируясь, формирует нижеследующие новообразования:



и



При повышенной щелочности среды возможно возникновение кристаллического новообразования:



Гидроферриты кальция, как и гидроалюминаты, образуют комплексные соединения с $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaCl_2$, SiO_2 и др.

Таким образом, в результате управления процессами гидратации многокомпонентных вяжущих веществ и композиционных вяжущих при различных технологических приемах и условиях возможно создавать эффективные композиты с требуемыми целевыми свойствами.

Естественно, что в многокомпонентных композиционных вяжущих будут протекать более сложные гидратационные процессы по формированию внутренней структуры и прочности композита.

При создании многокомпонентных композиционных вяжущих [323–332] используется принцип управления технологическими процессами, заключающийся в том, что на каждом технологическом этапе принято внедрение новых технологических приемов: оптимизация составов сырьевых смесей и композитов, использование эффективных функциональных добавок, применение новых активных сырьевых компонентов и различных методов их активизации и прочих технологических решений.

Указанный принцип был применен при синтезе ВНВ – вяжущих низкой водопотребности, приготовленных на портландцементе, минеральных наполнителях (зола, песок и др.) и содержащих в своем составе суперпластификатор С-3.

Для создания требуемой структуры и необходимых свойств композиционных вяжущих следует применять качественные сырьевые материалы, отвечающие нормативным требованиям по химическому и минералогическому составам, дисперсности, активности и т.д. Особое внимание уделяется использованию функциональных добавок, в частности диспергирующим ПАВ, предотвращающим флокуляцию высокодисперсных частиц вяжущего (рисунок 2.18).

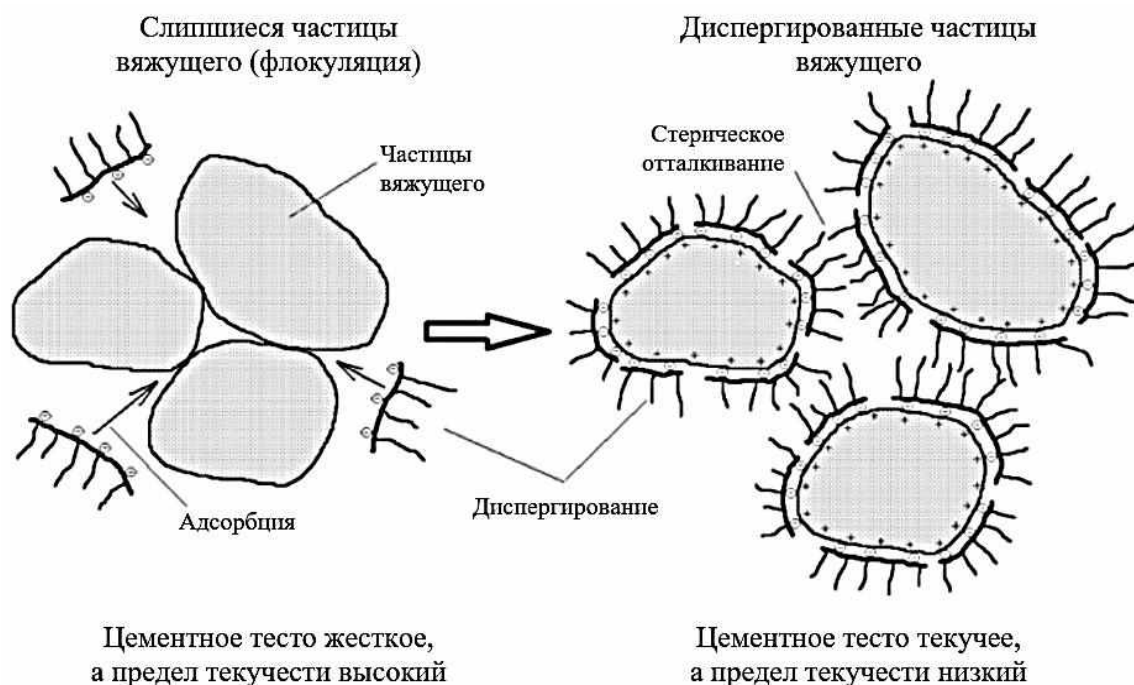


Рисунок 2.18 – Развитие адсорбционных оболочек водного раствора на поверхности дисперсных зерен вяжущего

Применение тонкого помола обычного товарного цемента обеспечило получение ТМЦ– тонкомолотых цементов

В настоящее время вследствие целого комплекса объективных причин научные исследования по созданию новых эффективных композитов с требуемыми технологическими, физико-механическими и

эксплуатационными показателями должны проводиться в направлении разработки новых высокоэффективных многокомпонентных вяжущих. Для реализации данной задачи накоплены значительные теоретические знания и практический опыт.

Однако вызывает сожаление и беспокойство, что сегодня ведущие российские строительные фирмы не проявляют должной заинтересованности в разработке и применении перспективных вяжущих веществ. Отсутствие в нашей стране крупнотоннажного выпуска высокоэффективных вяжущих сдерживает технический прогресс в строительстве.

Имеющиеся теоретические разработки могли бы послужить прекрасной научной базой дальнейшего развития отечественной строительной индустрии и строительства в целом. Сейчас, как никогда прежде, ощущается острая необходимость в государственной координации и целенаправленном финансировании научных и практических разработок в области создания новых «прорывных» малоэнергоемких, мало- и безотходных, экологически безопасных, конкурентоспособных на отечественном и зарубежном рынках, высокоэффективных технологий вяжущих веществ.

2.5 Принципы повышения эффективности строительных композитов

При создании любых бетонных полифункциональных композитов наиболее уязвимым компонентом представляется его цементирующая составляющая. Анализ зарубежных исследований свидетельствует, что выполнены многочисленные исследования, целью которых было увеличение физико-механических показателей цементирующей составляющей. Установлено, что возможно получение увеличенных прочностей за счет применения БТЦ высоких марок, помолот портландцементов до высокой удельной поверхности ($600 \text{ м}^2/\text{кг}$ и выше), применением эффективных минеральных добавок, обеспечивающих максимально допустимое снижение расхода воды затворения бетонной смеси (рисунок 2.19).

В настоящее время в бетонных технологиях активно применяется практика широкого использования различных функциональных добавок, в том числе суперпластификаторов, а также минеральных наполнителей различной природы.

Практика доказала, что при рациональном сочетании эффективных технологических мероприятий с использованием в составах бетонных композитов тонкодисперсных микронаполнителей со специально обработанной (аморфизованной) поверхностью способствует активному связыванию гидроксида кальция с кремнеземной составляющей микронаполнителя. В результате такого взаимодействия в твердеющей цементной системе возрастает содержание образовавшихся низкоосновных гидросиликатов кальция, что способствует стойкости и долговечности создаваемого композита.

Любое строительство, а тем более современное высотное по монолитной технологии, требует наличия качественных, прочных и надежных композиционных бетонов, приготовленных на соответствующих сырьевых ресурсах. Поскольку на большей части территории страны отсутствуют месторождения качественного природного сырья, то наиболее перспективным направлением представляется применение многотоннажных некондиционных отходов.

Применение доставляемого из других регионов дорогого товарного сырья или использование привозного высококачественного сырья, как правило, лимитируются такими сдерживающими факторами, как повышение их эффективности факторами, как проблема поиска компромисса между стоимостью и качеством.

Вопрос снижения стоимости решается применением местного нерудного и техногенного сырья после его специальной механической или механохимической обработки. В то же время повышение качества материалов требует значительных экономических вложений [333].

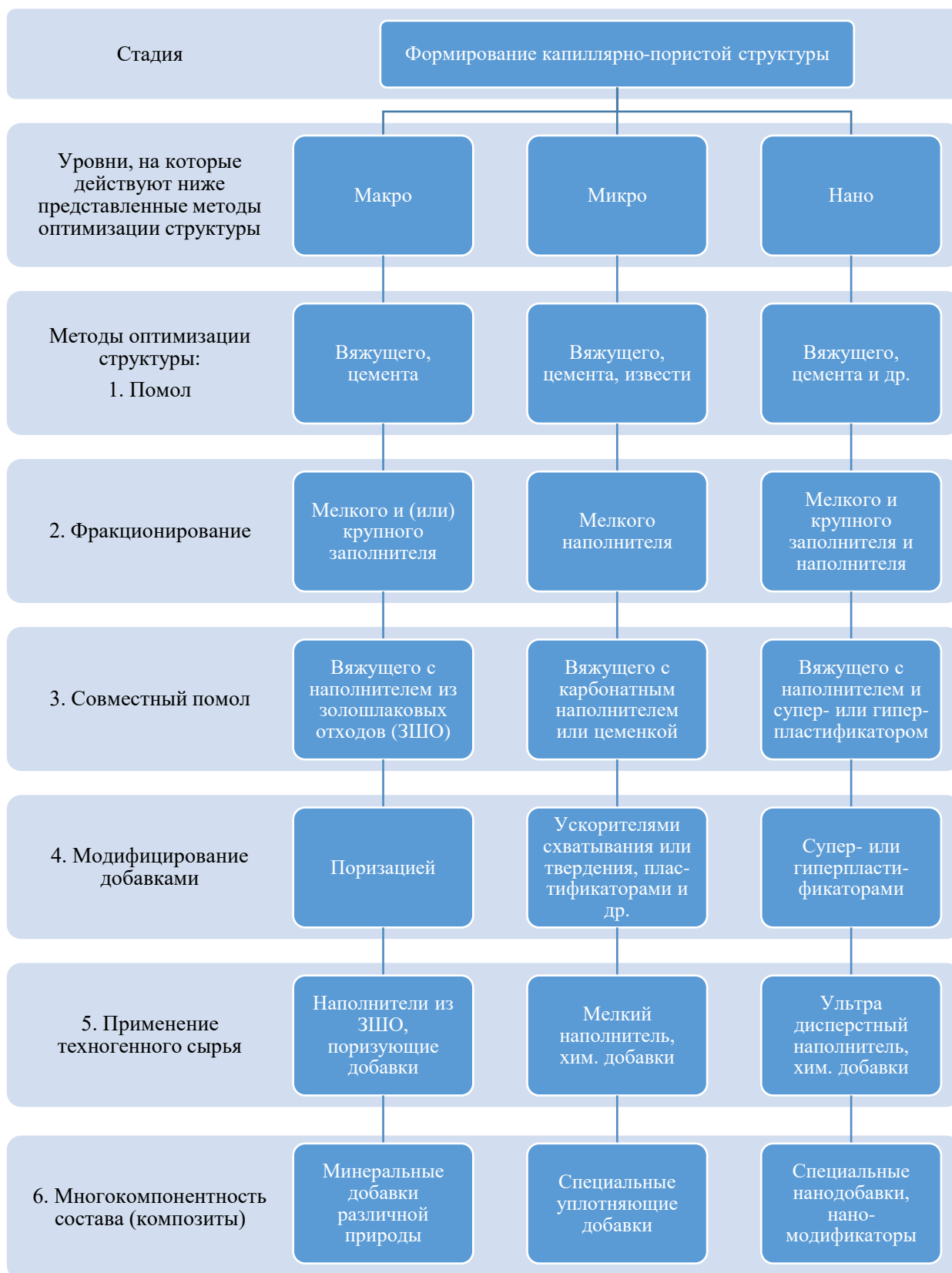


Рисунок 2.19 – Принципы повышения эффективности строительных материалов

Одной из актуальнейших задач текущего десятилетия является уменьшение расхода энергии при производстве различной продукции [334]. Крайне это важно для отечественного производства строительных. Расход энергии на производство единицы строительной продукции в РФ выше, чем в Японии, ведущих странах Европы и США. Для увеличения эффективности изготовления и применения строительных композитов необходимо: разработка и использование новых эффективных технологий, расширение сырьевой базы с отработкой составов полифункциональных композитов нового поколения с требуемыми физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами. Одновременно с этим должна быть решена задача использования техногенных отходов как вторичного сырья.

При изготовлении композиционных вяжущих и их применении возможен целый ряд активационных процессов [335], как на стадии раннего структурообразования, так и последующего твердения будущих композитов:

- тепловой (вследствие пропаривания или обработки в автоклаве);
- химический (использование различных химических добавок, способствующих интенсификации процесса твердения);
- механический (вследствие тонкого помола сырьевых компонентов и повышения дефектности их структуры).

Следует отметить, что процесс традиционного тонкого измельчения только совсем недавно стал позиционироваться не как чисто механический, а как физико-химический процесс механоактивации минеральных веществ различной природы.

Использование наиболее эффективного активационного способа для применяемых сырьевых материалов в создании требуемого композита с точки зрения наилучших модифицирующих воздействий активации и наименьших удельных энергетических затрат для достижения требуемой эффективности полифункциональных материалов на основе техногенного сырья обеспечит повышение их качества, но и позволит управлять процессами структурообразования композитов на макро-, микро- и наноуровне.

Механоактивация полифункциональных композитов открывает уникальную возможность использовать термодинамическую неустойчивость техногенного сырья за счет высвобождения части внутренней энергии вещества, используемой при последующей гидратации создаваемых композитов. Кроме того, проводимая активация композиционных вяжущих обеспечивает снижение энергозатрат на последующие технологические процессы синтеза полифункциональных композитов и различных изделий на их основе, что повышает экономическую эффективность их производства.

Таким образом, вышеуказанные технологические приемы несомненно будут способствовать повышению эффективности технологии получения строительных бетонных композитов с использованием некондиционного природного и техногенного сырья, включая легкие, тяжелые, мелкозернистые и другие разновидности композиционных материалов.

Выводы по 2 главе

1. Анализ современных методологических подходов к научным исследованиям позволил выделить методологию, основанную на применении моделирования при формировании направленного структурообразования полифункциональных композитов, синтезированных на техногенном сырье, с учетом принципов глубокого системного анализа с использованием математического моделирования на различных структурных уровнях получаемых композитов и системно управляющих рецептурных и технологических воздействий, детальной разработки эффективных программных комплексов, которые обеспечивают целевое решение сложной задачи многокомпонентного получения полифункциональных композитов с требуемыми физико-механическими, технологическими и функциональными показателями, что и планируется реализовать в рамках данной работы в соответствующих нижеследующих разделах и главах.

2. Использование современных представлений о процессах гидратации, структурообразования и синтеза новообразований и прочности

многокомпонентной системы «цемент – минеральный наполнитель – ПАВ» позволяет сформулировать ряд научных положений, положенных в основу дальнейших экспериментальных исследований по рассматриваемой в работе актуальной научной проблеме. Целевая созданная структура полифункционального композита, полученная с использованием техногенного сырья, с заранее заданными физико-механическими и эксплуатационными показателями отражается на особенностях службы, характере и специфике разрушения камня, что предопределяет его создание, применение и возможность производства бетонных композитов нового поколения.

3. В настоящее время вследствие целого комплекса объективных обстоятельств научные исследования по созданию новых полифункциональных композитов с требуемыми технологическими, физико-механическими и эксплуатационными показателями должны проводиться в направлении разработки новых высокоэффективных многокомпонентных вяжущих, синтезированных с использованием техногенного сырья, представляющего значительный экономический и экологический интерес. На основании теоретических подходов установлено, что вторичное сырье из строительного лома обладает рядом уникальных свойств и особенностей: многокомпонентностью, хорошей адгезией и т.д.

4. Имеющиеся теоретические разработки должны послужить надежной научной базой дальнейшего развития отечественной строительной индустрии и строительства в целом. В настоящее время ощущается острая необходимость в государственной координации и целенаправленном финансировании научных и практических работ в области создания новых «прорывных» малоэнергоемких, мало- и безотходных, экологически безопасных, конкурентоспособных на отечественном и зарубежном рынках, высокоэффективных технологий вяжущих веществ.

5. На основании разработанной теории и методологии синтеза полифункциональных композитов с применением техногенного сырья и композиционных вяжущих можно констатировать, что решение проблемы

утилизации отходов строительного лома в современном строительстве возможно и целесообразно. Доказано, что процессы структурообразования композиционного вяжущего носят многофакторный характер, требующий особых подходов при разработке их оптимальных рецептур для получения полифункциональных композитов широкого функционального назначения (конструкционно-теплоизоляционного, конструкционного и специального).

б. Одним из эффективных способов, позволяющих получать полифункциональные композиты с использованием техногенного сырья, отвечающим современным требованиям строительной индустрии, является механохимическая активация утилизируемого сырья, позволяющая использовать термодинамическую неустойчивость многокомпонентных техногенных сырьевых продуктов, высвобождая часть внутренней энергии вещества, реализуемую в последующих процессах твердения нового строительного композита, в частности легкие и тяжелые бетоны гидратационного твердения на основе вторичного сырья из керамического кирпичного боя и бетонного лома соответственно. Использование наиболее эффективного активационного способа подготовки техногенного сырья для создания требуемого полифункционального композита с точки зрения наилучших модифицирующих воздействий активации и наименьших удельных энергетических затрат для достижения требуемой эффективности полифункциональных композитов на основе техногенного сырья не только обеспечит повышение их качества, но и позволит управлять процессами структурообразования полифункциональных композитов на макро-, микро- и наноуровне.

3. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СЕЙСМОПАСНЫХ РЕГИОНАХ

3.1 Современные представления о получении высокопрочных бетонов для эксплуатации в сейсмоопасных зонах

Высокопрочные бетоны перспективны для применения в различных сферах гражданского и специального строительства (рисунок 3.1).

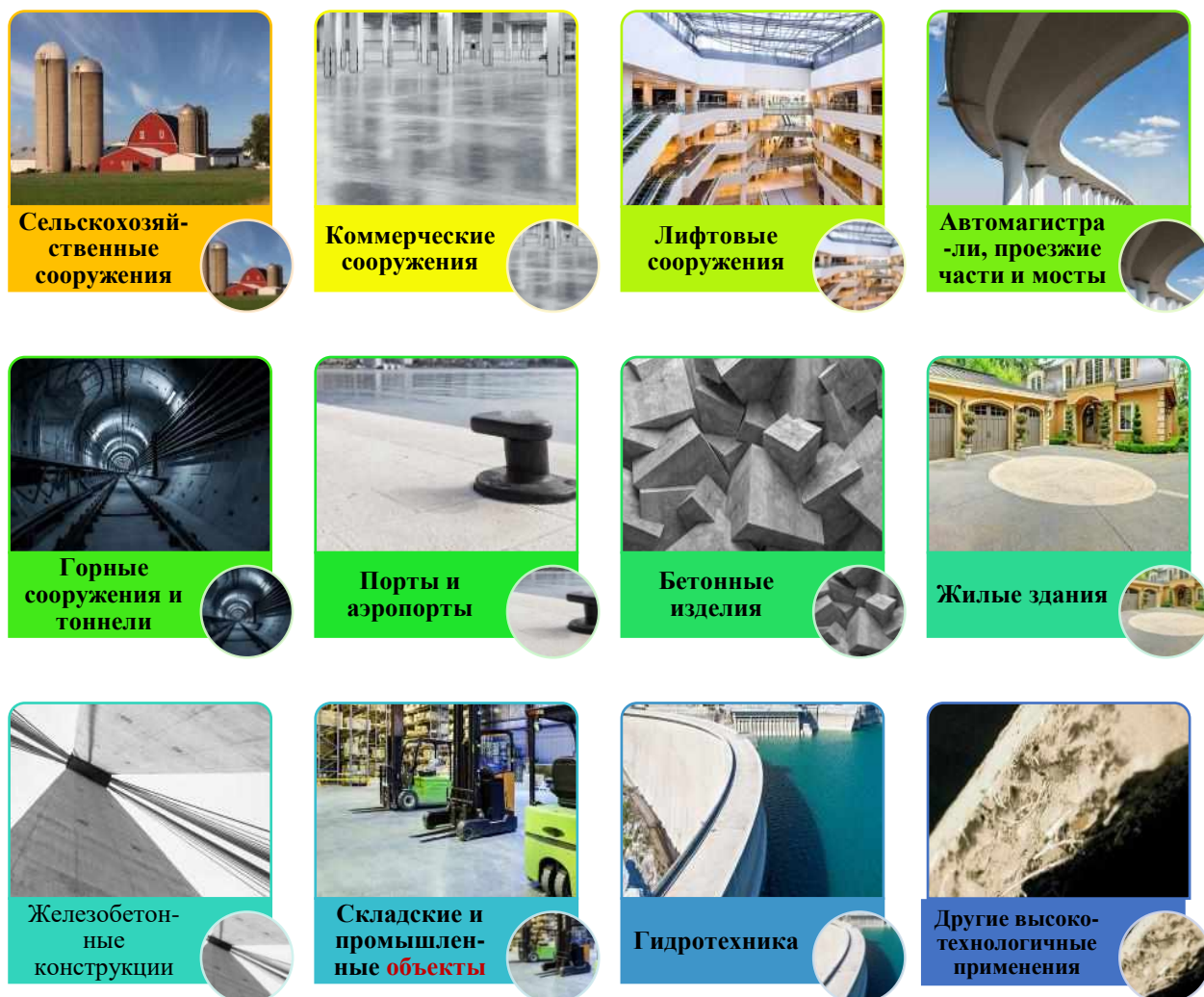


Рисунок 3.1 – Области применения высокопрочных бетонов

Особую значимость и жизненную важность высокопрочные бетоны могут находить в системе сейсмостойкого строительства. На территории нашей страны находятся чрезвычайно опасные в сейсмическом отношении районы. Для России, являющейся высокоурбанизированной страной,

проблема сейсмической безопасности застройки и населения является важной и актуальной.

Согласно данным Института физики Земли РАН [336], в стране насчитывается семь сейсмически активных зон (в скобках приведены крупные землетрясения и их магнитуды):

1. Северный Кавказ – Респ. Дагестан (1971 г., 8–9 б.), Чечня (1976 г., 8–9 б.).
2. Алтай и Саяны – Кош-Агачский р-н Респ. Алтай (2003 г., 9–10 б.).
3. Чукотка и Корякское нагорье – Хаилинское землетрясение (1991 г., 8–9 б.), в Корякском нагорье (2006 г., 9–10 б.).
4. Курило-Камчатская зона (1737, 1780, 1792, 1841, 1918, 1923, 1952, 1958, 1963, 1969, 1994, 1997 гг., 10–1 б.). Многие землетрясения сопровождались цунами высотой более 10–5 м.
5. Сахалин - Нефтегорск (1995 г., 9–10 б.), Могнерон (1971 г., 7 б.), Углегорск (2000 г., 9 б.).
6. Приамурье и Приморье – север Амурской обл. (1967 г., 9 б.).
7. Байкальская рифтовая зона – Мондинское (1950 г., 9 б.), Муйское (1957 г., 10 б.), Среднебайкальское (1959 г., 9 б.).

В этой связи разработка высокопрочных бетонов, позволяющих возводить устойчивые и долговечные объекты, в составе которых используются техногенные компоненты, приобретает весьма актуальное значение. 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.

Эффективное уплотнение и упрочнение структуры достигается оптимальным соотношением компонентов состава цементного камня при минимальном В/Ц, при этом серьезное влияние оказывает мелкий заполнитель, в частности его генезис (рисунок 3.2, таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Зависимость свойств мелкозернистого бетона от количества заполнителя

Вид вяжущего	Наименование показателя	Цементно-песчаное отношение			
		1:0	1:1	1:2	1:3
ПЦ	Водоцементное отношение	0,30	0,36	0,45	0,50
	28-суточная прочность при сжатии, МПа	85,3	64,5	50,2	40,2

К высокопрочным бетонам относятся материалы с В/Ц < 0,3, стабильностью состава, высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Целевые характеристики высокопрочных бетонов

В Кавказском регионе в настоящее время активно возводятся комплексы небоскребов в Грозном, Аргуне, Гудермесе, Шали и других городах. Данные уникальные высотные сооружения строятся с применением модифицированных бетонов с классами по прочности В60 – В100 и марками по удобоукладываемости П4 – П5 и Р5 – Р6. Учитывая высокую потребность

вяжущего компонента в бетонной смеси ($500\text{--}550\text{ кг/м}^3$), актуальным является разработка эффективных композиционных полиминеральных материалов.

В этом отношении применение современных расчетов и технологий на базе трансдисциплинарных принципов, а также химических модификаторов структуры способствует получению высокопрочных композитов для высотного строительства. При этом для строительства уникальных высотных объектов, в том числе в условиях их возведения в сейсмически опасных районах, необходимо обеспечение необходимых реологических характеристик бетонных смесей.

3.2 Зависимость седиментационных показателей цементно-водных систем от вида техногенного минерального наполнителя

Одной из проблем высокоподвижных бетонных смесей является опасность повышенного водоотделения и расслоения (седиментации). Решением данной проблемы может служить применение полиминерального активного наполнителя, полученного рециклингом отходов строительства и сноса, который предотвращает седиментационные явления.

При изучении указанных систем установлен потенциал стабилизации цементно-водных суспензий с применением минерального наполнителя техногенного происхождения (МНТП):

- из материалов, полученных рециклингом бетона;
- из материалов, полученных рециклингом кирпича - кирпичного керамического боя (ККБ);
- из отходов теплоэнергетики - золошлаковых смесей (ЗШС);
- из мелкодисперсных кварцевых заполнителей.

Применяемые полиминеральные наполнители имеют удельную поверхность $0,450\text{--}0,6$ тыс. $\text{м}^2/\text{кг}$, что почти на 100 % выше аналогичной характеристики портландцемента.

Изучение кинетики седиментации проводили на цементно-водных суспензиях в ходе сравнения с зарубежным высоководоудерживающим

модификатором Vermocoll (Akzonobel, Швеция) на основе неионогенных эфиров целлюлозы (рисунок 3.3). При этом оба применяемых портландцемента (производства ГУП «Чеченцемент» и ООО «Новоросцемент») показали одинаковые результаты, поэтому на рисунке не представлено условного разделения на виды цементов.

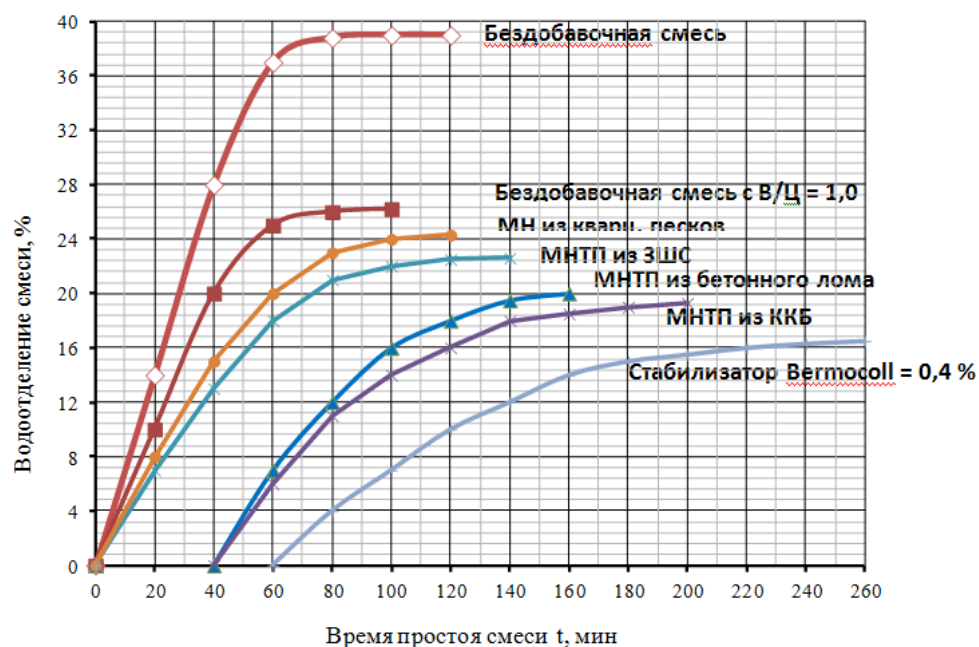


Рисунок 3.3 – Водоотделение смеси в зависимости от времени простоя для цементных суспензий при В/Ц = 1,6

В полученных суспензиях (водоцементное отношение равно 1,6) полиминеральный техногенный наполнитель использовался в количестве 15 % от массы цемента, при этом фильтруется около 40% воды, а осадок бездобавочного цементного геля составляет чуть более 60%.

При снижении В/Ц до единицы седиментационные процессы в суспензиях замедляются, заканчиваясь через 70–80 мин. Обращает на себя внимание равенство характеристик бетонного лома и боя керамического кирпича, при этом данные значения сопоставимы с результатами, полученными при применении модификатора Vermocoll. Количество осветлённой воды в 2 раза ниже, чем для контрольной цементной суспензии,

и составляет не более 18–20 %, а начало водоотделения наблюдается через 40 мин. Минеральные наполнители, полученные из золошлаковых смесей и отсевов мелкого кварцевого заполнителя, в большей степени имеют худшую водоудерживающую способность по сравнению с полиминеральными техногенными добавками, получаемыми рециклингом из бетона и кирпича. Причина данного различия кроется в их удельной поверхности и морфологии (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Водоудерживающая способность тонкомолотых наполнителей техногенного происхождения

Техногенная добавка	Связанной воды, % по массе наполнителя	Удельная поверхность, м ² /кг
Материал, полученный рециклингом бетона	18,03	560–580
Материал, полученный рециклингом кирпича	21,12	580–600
Материал, полученный рециклингом золошлаковой смеси	70,20	550–570
Материал, полученный рециклингом кварцевого песка	16,88	460–480

В исследованиях использовали метод центрифугирования. Выявлено, что все разработанные минеральные добавки, за исключением дорогостоящего модификатора Vertosoll, значительно стабилизируют цементные суспензии. Эти добавки уменьшают водоотделение суспензии даже при значительном водоцементном отношении на уровне 1,6. А использование минеральных наполнителей техногенного происхождения в комплексе с суперпластификатором показывает еще больший эффект по недопущению седиментации бетонных смесей.

Далее была изучена стабилизирующая функция разработанных минеральных наполнителей на тяжелых бетонных смесях при расходе

компонентов на 1 м³: портландцемент – 520 кг, песок Червленского месторождения – 600 кг, тяжелый гранитно-диабазовый щебень плотностью 2600 кг/м³ – 1200 кг, при В/Ц = 0,39.

В бетонные смеси добавлялся суперпластификатор «Динамикс ПК» в количестве 1,1 % и минеральные наполнители в количестве 15 % (таблица 3.3). Из полученных смесей формировались цилиндрические образцы диаметром 10 см и высотой 100 см.

Таблица 3.3 – Зависимость плотности и прочности бетона от состава при расслоении смесей

№ п/п	Добавка		Плотность, кг/м ³		Разница в плотности, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа		Разница в прочности, МПа
	минеральная	химическая	нижний слой	верхний слой		нижний слой	верхний слой	
1	–	–	2558	2360	198	47,8	40,3	7,5
2	Материал от рециклинга бетона	–	2470	2398	72	46,9	42,8	4,1
3	То же	Динамикс ПК	2468	2425	43	49,9	48,0	1,9
4	Материал от рециклинга кирпича	–	2466	2390	76	44,9	41,0	3,9
5	То же	Динамикс ПК	2450	2407	43	48,8	47,3	1,5
6	Материал от рециклинга золошлаковой смеси	–	2491	2399	92	48,7	44,5	4,2
7	То же	Динамикс ПК	2485	2423	62	50,2	47,9	2,3
8	Отсев кварцевых песков	–	2498	2390	108	48,9	45,0	3,9
9	Материал от рециклинга бетона	Динамикс ПК	2489	2435	54	51,3	46,8	4,5

Анализ результатов выявил, что разница в плотности слоев контрольного бездобавочного образца по высоте достигает до 200 кг/м³, т.е. 8–

12 %. Применение в смесях минерального наполнителя техногенного происхождения позволяет снизить разницу в плотности до 72 кг/м^3 (не более 3 % от плотности бетона) и в прочности – до 4 МПа. При этом поверхность в верхней части образца в отличие от контрольного состава не имела рыхлой структуры. Химическая добавка «Динамикс ПК» в количестве 1,1 % также оказалась достаточно эффективной. При ее введении в бетонную смесь совместно с минеральным наполнителем разница в плотности уменьшилась до 43 кг/м^3 (не более 2 % от плотности бетона) и прочности – менее 2 МПа.

Исходя из вышеизложенного, для снижения седиментационных эффектов в высокоподвижных бетонных смесях перспективным является использование в составе композита минеральных наполнителей из строительного лома (как кирпичного, так и бетонного). Соответственно, необходимо провести комплексные исследования как генезиса самих минеральных добавок, так и их влияния на физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики композитов (с учетом реакционной способности).

3.3 Реакционная способность минеральных наполнителей техногенного происхождения

Условно минеральные наполнители (МН) можно разделить на разбавители (с удельной поверхностью как у портландцемента – $250\text{--}450 \text{ м}^2/\text{кг}$) и уплотнители (в 100 раз более тонкие частицы с удельной поверхностью 20–30 тыс. $\text{м}^2/\text{кг}$). Известно, что уплотнители, помимо заполнения мелких пор в композите, являются более активными.

С целью исследования гидравлической активности различных техногенных наполнителей, изучались тонкомолотые частицы бетонного лома, боя керамического кирпича, золошлаковых смесей и кварцевого песка при взаимодействии их с гидроксидом кальция. Для этого данные добавки диспергировались 5 мин в измельчителе вибрационного типа МВ-20-ЭКС с достижением удельной поверхности в диапазоне от 450 до $600 \text{ м}^2/\text{кг}$, после

чего смешивались с гидроксидом кальция в пропорции 70:30 при водоцементном отношении равном 0,3. Из полученных паст формовались кубические образцы размером 20×20×20 мм, которые отвердевали 90 суток во влажных условиях с недопущением контакта с углекислым газом, приводящим к карбонизации извести (таблица 3.4).

Установлена максимальная прочность наполнителей из бетонного лома - почти в 30 раз выше, чем для тонкомолотого кварцевого песка и боя керамического кирпича. Это связано с тем, что поверхностные слои частиц гидроксида кальция и карбоната кальция активизируются благодаря диффузии ионов Ca^{2+} , OH^- , CO_3^{3-} в составе CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и H_2O . В результате формируются изоморфные смеси, состоящие из твердой фазы гидроксида кальция и карбоната кальция, что приводит к созданию прочной микроструктуры. В образцах с тонкомолотым кварцевым песком и боем керамического кирпича, кристаллическая упорядоченная структура кварца значительно затрудняет процесс аморфизации, соответственно, частицы в этих образцах обладают меньшей активностью по сравнению с другими минеральными наполнителями техногенного происхождения.

Таблица 3.4 – Зависимость прочности при сжатии минеральных наполнителей с $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Минеральные наполнители	Соотношение МНТП:гидроксид кальция	Прочность при сжатии в возрасте 90 суток, МПа
Материал от рециклинга бетона	70:30	3,85
Материал от рециклинга кирпича		0,11
Материал от рециклинга золошлаковой смеси		1,21
Отсев кварцевых песков		0,14

Подтверждением реакционной активности МНТП служит активность 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 3.5).

Таблица 3.5 – Прочностные свойства разработанных композитов в разном возрасте

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

Выявлено, что техногенный материал от рециклинга бетона позволяет достичь максимальной прочности для всех пропорций и всех возрастов.

Составы с минеральными добавками других видов в той же пропорции имели примерно равные прочностные результаты прочности – до 20 МПа. При этом ранняя прочность в возрасте 1 суток составила 4 МПа, а для наполнителя из бетонного лома была на 20 % выше и достигла практически 5 МПа.

Выявлено также, что некоторая доля цементных частиц в составе тонкомолотого бетонного лома осталась непрогидратированной и, соответственно, может быть повторно использована в результате применения в вяжущем.

Рентгенофазовый анализ минеральных добавок из тонкомолотого бетонного лома продемонстрировал наличие кварца (51 %), кальцита (32 %), CSH (почти 6 %), непрогидратированного портландцемента (почти 4 %), что составляет 20–25 % от массы цемента (рисунок 3.4).

Расшифровка рисунка 3.4 приведена в таблице 3.6.

Таким образом, установлен большой потенциал материала от рециклинга строительства и сноса, позволяющий применять их для синтеза высокоэффективных композиционных вяжущих. При этом реакционная

способность тонкомолотого бетонного лома в 30 раз выше, чем для 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.

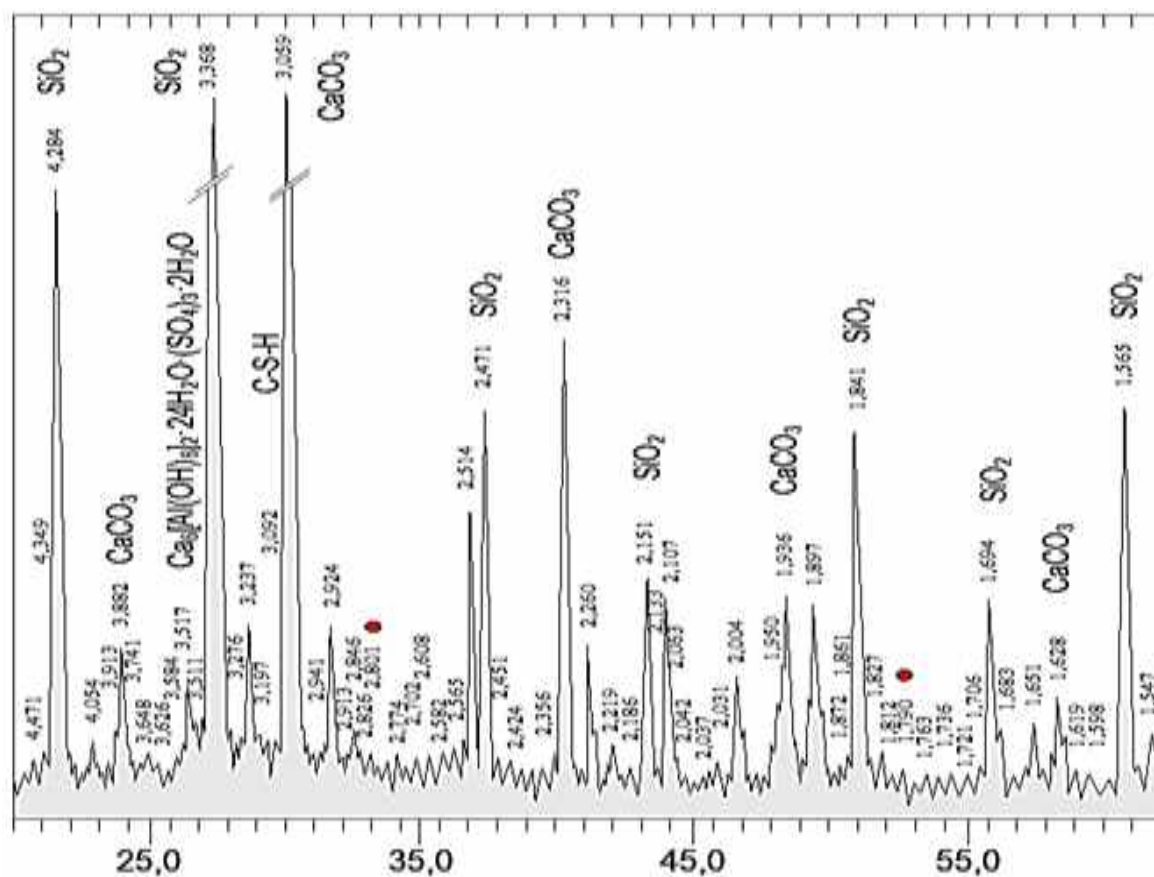


Рисунок 3.4 – Результаты РФА материала от рециклинга бетона

Таблица 3.6 – Выявленное минеральное содержание в материале от рециклинга бетона

Выявленные минералы	Количество, %	Межплоскостное расстояние d, Å	Минерал
SiO ₂	51,1	4,284; 3,368; 1,841	Кварц
CaCO ₃	32,2	3,882; 3,059; 2,514; 2,316	Кальцит

$\mu\text{-CaCO}_3$	1,4	3,584; 3,311; 2,774; 2,042	Фатерит (ватерит)
$\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O} \cdot (\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,9	3,913; 3,517	Этtringит
Портландцемент негидратированный	3,5	2,780–2,732; 2,587; 1,769	–
$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}; [\text{C-S-H}]$	5,1	3,092; 2,846; 1,872	Гидросиликаты кальция
$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}; [\text{C}_2\text{AH}_8]$	0,6	2,891; 2,565	Двухкальциевый алюминат 8-водный
$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}; [\text{C}_3\text{AH}_6]$	2,3	2,826; 2,321; 2,063	Трехкальциевый алюминат гексагидрат
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}; [\text{C}_3(\text{AF})\text{H}_6]$	2,4	2,451; 2,031; 1,530	Четырехкальциевый алюмоферрит гексагидрат
Другие минералы	0,5	–	–

3.4 Роль минерального наполнителя из техногенного сырья в технологии получения смесей для высокопрочных бетонов

Для исследования влияния минеральных техногенных добавок на характеристики цементных композитов, они были введены в количестве 5–25 % от массы портландцемента. Сравнение проводилось с контрольным составом бетона класса В40 следующего состава на 1 м³: цемент – 460 кг, щебень фракции 5–20 мм – 960 кг, песок – 780 кг, суперпластификатор – 5 кг, вода – 170 л.

Выявлено, что высокодисперсные МНТП приводят к росту технологических свойств бетонной смеси. В частности, подвижность смеси увеличивается за счет применения плотных минеральных добавок с пониженной водопотребностью (из ЗШС и кварцевых песков) (рисунок 3.5).

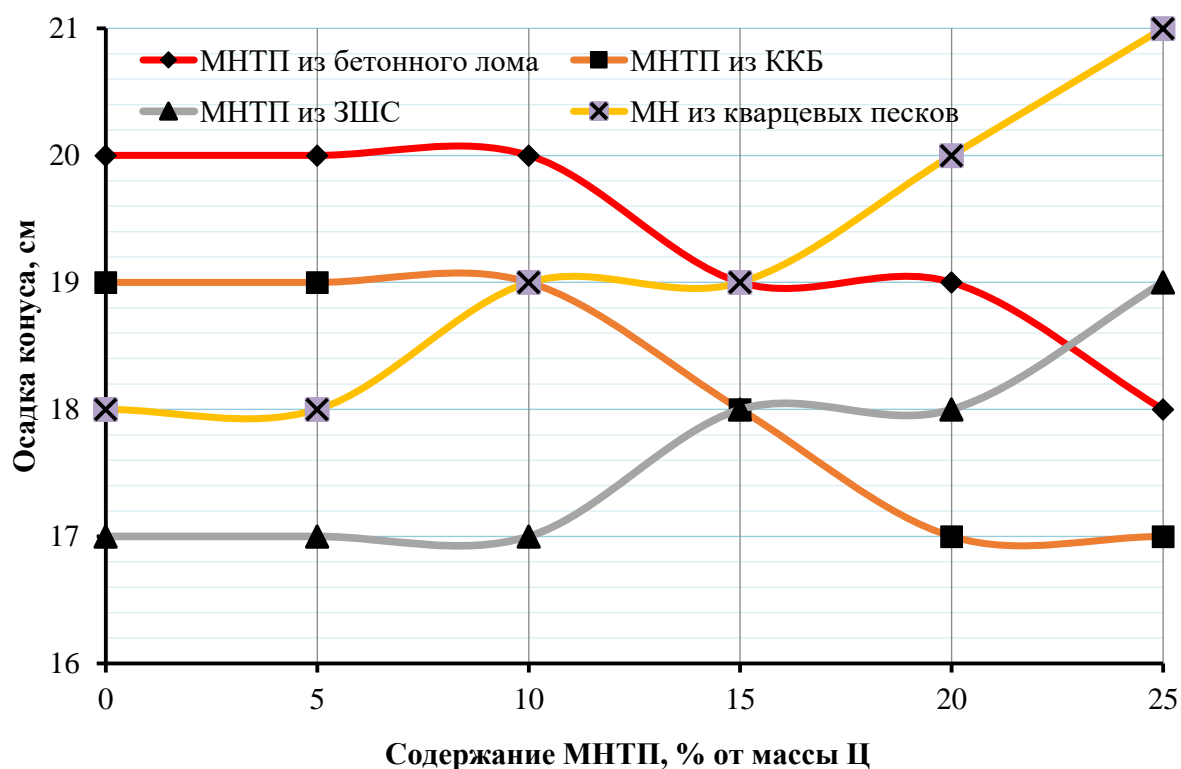


Рисунок 3.5 – Влияние минеральных наполнителей техногенного происхождения на осадку конуса

МНТП из бетонного лома и боя керамического кирпича в равной степени снижают подвижность смеси за счет повышения водопотребности.

Водоотделение бетонной смеси (Π_B) определяли после ее отстаивания в мерном сосуде, согласно п. 7 ГОСТ 10181–2014 [349], по формуле:

$$\Pi_B = \frac{m_B}{\rho_B \cdot V_{Б.СМ}} 100, \quad (3.1)$$

где m_B – масса отделившейся воды, г; ρ_B – плотность воды; $V_{Б.СМ}$ – объем уплотненной смеси в мерном сосуде, см³.

Влияние минеральных наполнителей техногенного происхождения на водоотделение бетонной смеси представлено на рисунке 3.6.

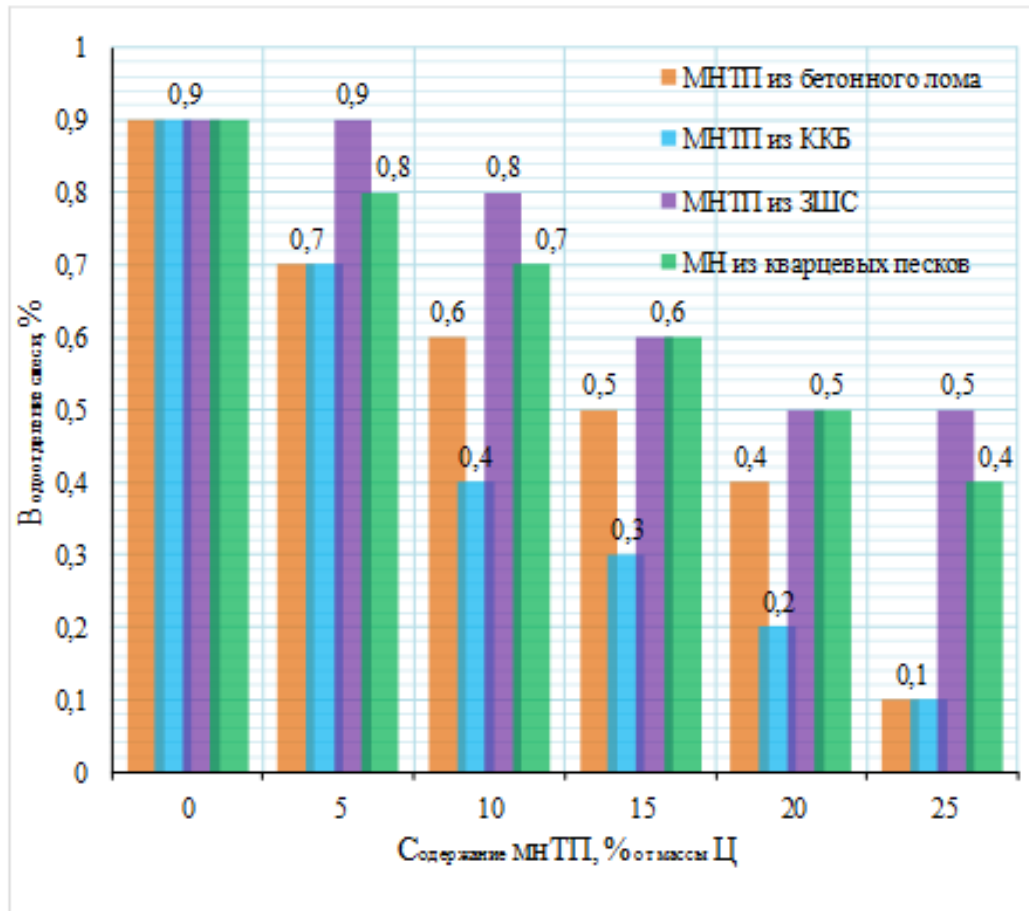


Рисунок 3.6 – Влияние минеральных наполнителей техногенного происхождения на водоотделение бетонной смеси

Выявлено, что максимальное снижение водоотделения смеси обеспечивает МНТП из боя керамического кирпича (снижение в 9 раз). Подобные характеристики демонстрирует добавка тонкомолотого бетонного лома, уступая кирпичному бою лишь в диапазоне 10–20 % от массы портландцемента. МНТП из золошлаковой смеси и кварцевых песков показывают схожие между собой результаты, обеспечивая снижение водоотделения в 2 раза по сравнению с контрольным составом.

Добавка МНТП способствует росту прочности и плотности композита. Наибольшая эффективность отмечается для тонкомолотого бетонного лома, а наименьшая – для боя керамического кирпича (рисунок 3.7).

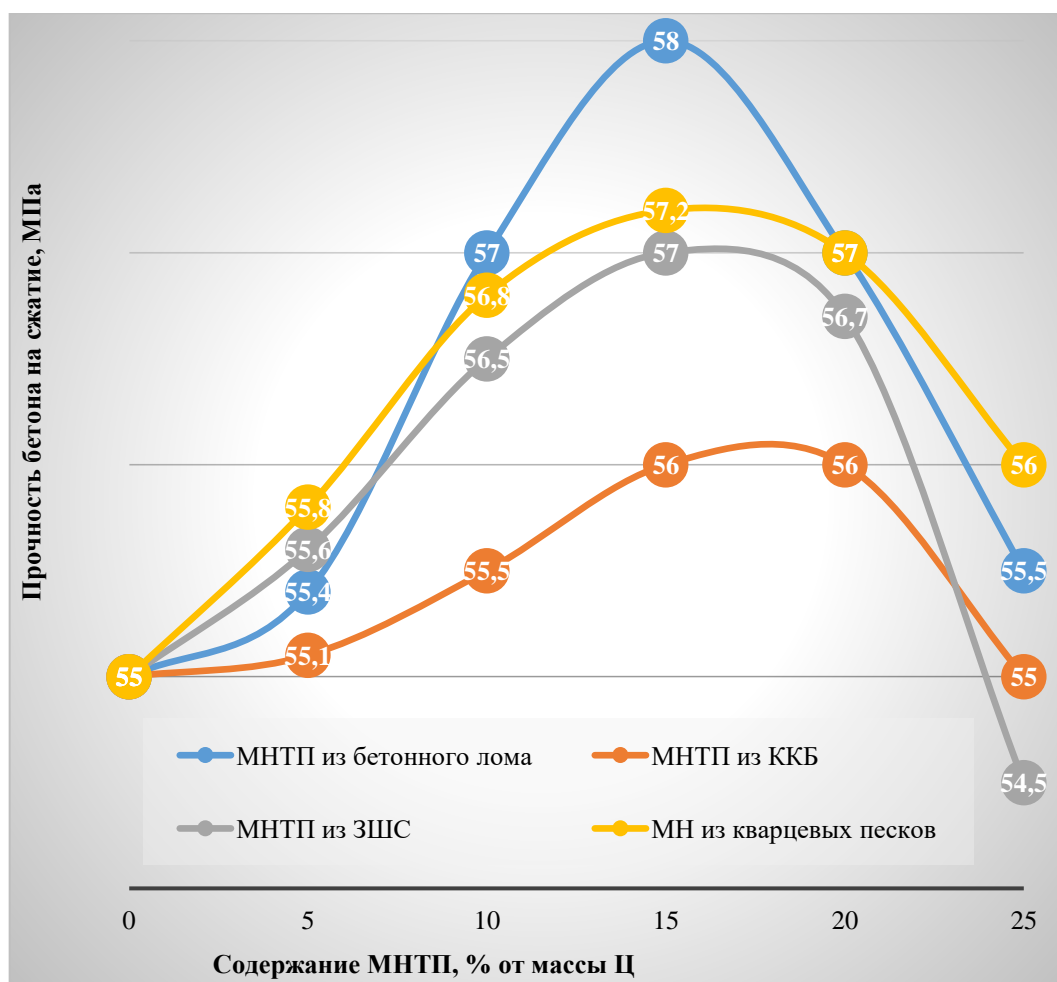


Рисунок 3.7 – Влияние МНТП на прочность бетона

При этом максимальный рост прочности достигается при МНТП до 15 % по массе портландцемента (70 кг на 1 м³). Дальнейшее повышение количества минеральной добавки приводит к снижению прочностных свойств композита в результате того, что повышение количества наполнителя сверх оптимума, разупрочняет трещеющую вяжущую матрицу из-за того, что плотно упакованный вторичный щебень разбавляется и раздвигается.

Повышение прочностных свойств композита, наполненного бетонным ломом, связано с тем, что в минеральном наполнителе содержится до 20–25 % негидратированных цементных частиц, проявляющих вяжущие свойства при повторном измельчении минеральной добавки. Эта особенность МНТП из бетонного лома позволяет отнести его к категории гидравлически активных наполнителей для цементных композитов (рисунок 3.8).

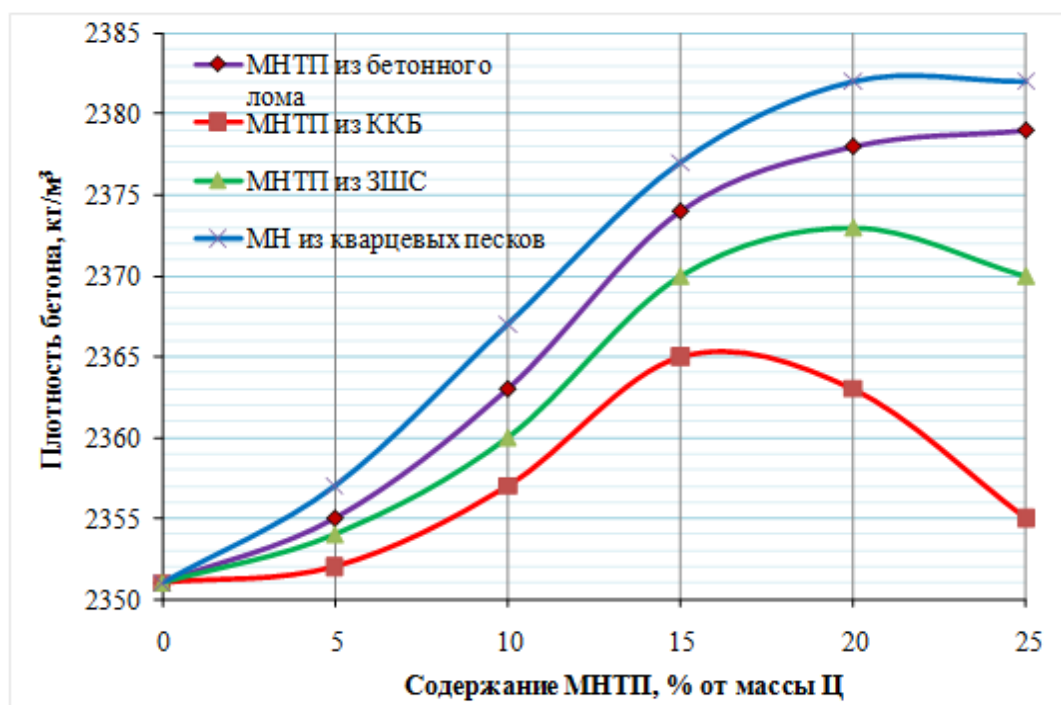


Рисунок 3.8 – Влияние минерального наполнителя техногенного происхождения на плотность бетона

По итогам анализа выявлен ряд факторов, способствующих повышению эффективности наполненных бетонных смесей и композитов из них в результате роста объемной концентрации минерального наполнителя техногенного происхождения:

- снижение водоотделения смесей;
- уменьшение водопотребности и пористости композитов при одновременном росте плотности;
- повышение прочности искусственного камня за счет смещения пористой структуры исходной водоцементной массы в сторону меньших по размеру пор.

3.5 Подбор и обоснование химических модификаторов для получения высокопрочных бетонных смесей повышенной сохраняемости

Для создания смесей с необходимыми технологическими характеристиками были использованы суперпластификаторы «Динамикс ПК»

и «Sika ViscoCrete 5-600 SK», «MC-PowerFlow» и замедлитель твердения «Линамикс РС».

Важным параметром бетонных смесей, необходимым для монолитного бетонирования, в том числе и при 3D-печати, является жизнеспособность, характеризующаяся сохранением заданных реологических и технологических показателей бетонных смесей на протяжении необходимого промежутка времени (рисунок 3.9).

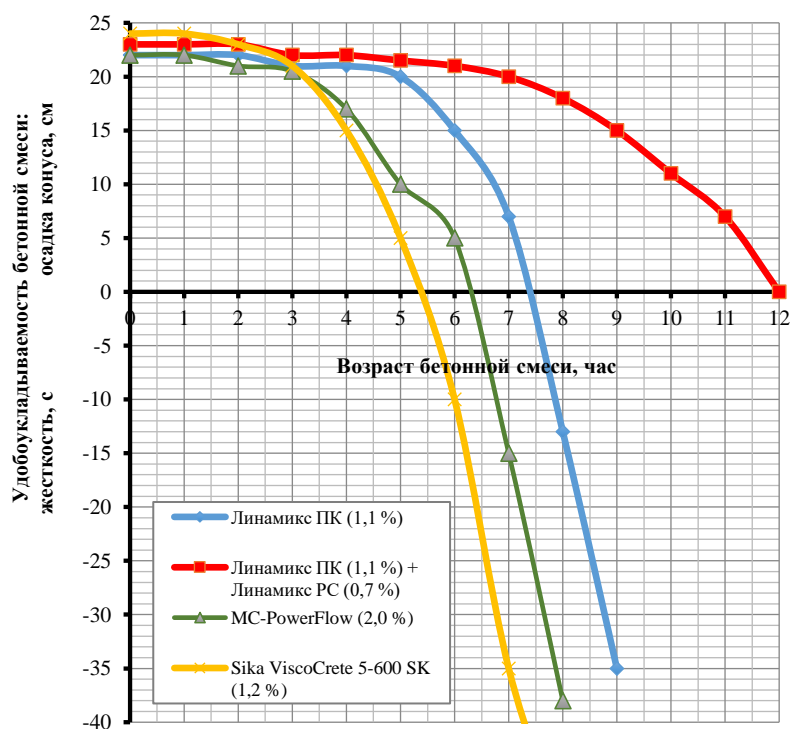


Рисунок 3.9 – Влияние химических модификаторов на удобукладываемость бетонной смеси в различном возрасте

Установлено, что химический модификатор пластифицирующего действия марки «Линамикс ПК» с минимальным расходом в районе 1,1 % по массе портландцемента позволяет достичь оптимальной сохраняемости смесей. Целевая подвижность смеси (П5) сохраняется на протяжении 4–5 ч, при этом начало схватывания наступает через 7 ч, в отличие от немодифицированных смесей, теряющих характеристики, соответствующие указанной марке через 3 ч.

Дальнейшего увеличения характеристик сохраняемости смесей до 8–10 ч можно достичь в результате применения суперпластификатора «Линамикс РС» в комплексе с модификатором «Линамикс ПК», что замедляет срок твердения смеси в 2 раза. Достигнутые результаты позволяют применять разработанные материалы для непрерывного монолитного бетонирования.

Механизм действия поверхностно-активных веществ на бетонную смесь связан с тем, что анионоактивные коллоидные органические вещества, характеризующиеся большим количеством полярных групп в цепи, адсорбируясь на частицах вяжущего, создают физический отталкивающий эффект. Данный эффект действует только в первые 3–4 ч с момента введения суперпластификатора, что связано с последующим активным ростом гидратных новообразований в твердеющей вяжущей матрице (рисунок 3.10).

С одной стороны, бетонные смеси при введении химических модификаторов имеют повышенную стоимость, с другой стороны, повышается эффективность, в том числе и за счет экономии цемента на уровне 40–60 кг на 1 м³ композита.

Таким образом, выявлено, что совместное действие комплекса химических модификаторов (пластификатор и замедлитель) позволяет снизить скорость твердения смеси более чем в 2 раза с одновременным повышением сохраняемости смесей до 8–10 ч, что дает возможность применять материалы при непрерывном монолитном бетонировании несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений. Это приводит к созданию высокоподвижных (литых, самоуплотняющихся и др.) смесей, соответственно, значительно снижающих трудовые затраты.

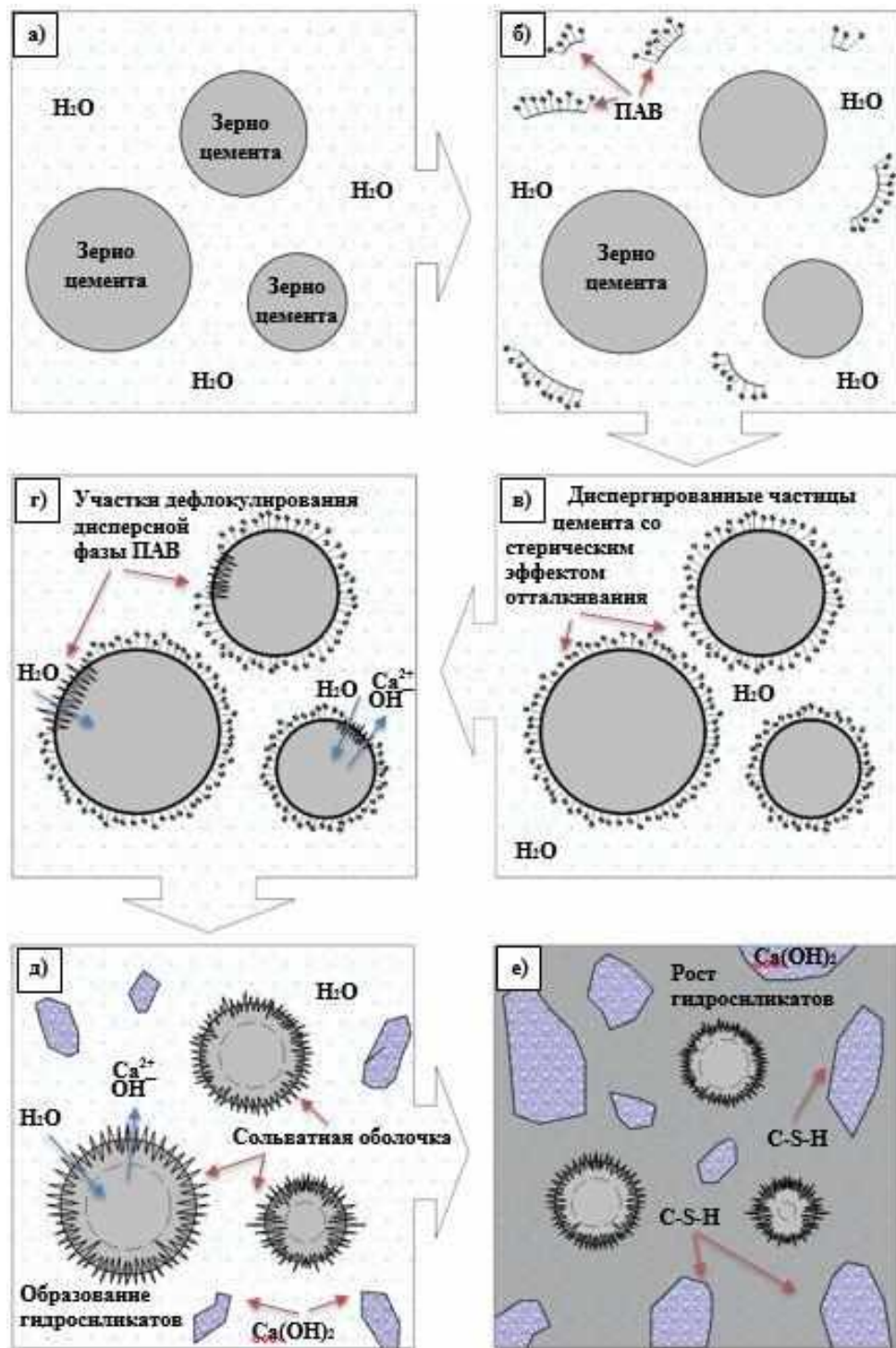


Рисунок 3.10 Механизм действия суперпластификаторов: C-S-H – новообразование в бетонной смеси – гидросиликаты $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и другие минералы:

- а) в первые минуты после затворения; б) начало процесса диспергирования цементных частиц; в) период действия стерического эффекта частиц смеси в течение 2–4 ч после затворения; г) дефлокулирующее действие суперпластификатора; д) послышная гидратация цемента; е) рост гидросиликатов кальция

3.6 Разработка композиционных вяжущих с применением техногенного сырья

Решение задачи разработки эффективных полиминеральных вяжущих осуществлялось в результате применения гидравлически активной добавки тонкомолотого бетонного лома. Большой потенциал при этом имеет утилизация строительных отходов, образованных в ходе проведения контртеррористической операции в Чеченской Республике. Исходный посыл использования этих материалов заключается в активации этих материалов при взрывных разрушениях: кратковременное действие высоких температур в момент взрыва изменяет химический состав бетонного лома. А последующая механоактивация в ходе получения тонкомолотых порошков позволяет получить доступ к ранее непрореагировавшим цементным зернам в этом техногенном сырье.

Полученное вяжущее за счет применения гидравлически активных техногенных компонентов, обладающих значительно низкой степенью водопотребности, приводит к существенному уменьшению расхода клинкерной составляющей при синтезе композита с заданными прочностными характеристиками.

Наполненные вяжущие, включающие материал от рециклинга бетона, портландцемент и комплексную химическую добавку Д-5, полученные их совместным измельчением до 550 – 580 м²/кг, перечислены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Составы наполненных 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

Разработанная технологическая схема изготовления полиминерального

вяжущего представлена на рисунке 3.11.

<p>Этап 1:</p> 	<p>ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ: бетонный лом, цемент, добавки</p>
<p>Этап 2:</p> 	<p>ДОЗИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ: весовые дозаторы</p>
<p>Этап 3:</p>  <p>Цемент-наполнитель-ПАВ</p>	<p>МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ: совместный помол сырьевых материалов в вибрационной шаровой мельнице в течение 5 минут: - ПЦ М500 Д0; - МНТП из бетонного лома; - МНТП из ККБ; - Добавка Д-5</p>
<p>Этап 4:</p> 	<p>УПАКОВКА ВЯЖУЩЕГО: возможна расфасовка в мешки и Биг-Бэги</p>
<p>Этап 5:</p> 	<p>ВЫДАЧА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЮ</p>

Рисунок 3.11 – Технологическая схема изготовления разработанного полиминерального вяжущего

В таблице 3.8 приведены результаты исследования поровой размерности разработанных композитов.

Таблица 3.8 – Распределение поровой структуры для разработанных вяжущих

Разработанное вяжущее	Пористость, %	Диаметр пор, мкм, и их содержание, %			
		> 2	2–0,2	0,2–0,02	0,02–0,004
100% ПЦ (Чеченцемент)	14,0	1,1	9,0	2,6	1,3
100% ПЦ (Новоросцемент)	12,4	1,1	8,0	2,1	1,3
КВ М750+Д20	8,9	0,5	2,0	5,2	1,4
КВ М600+Д40	9,2	0,6	2,5	4,8	1,4

Для наполненного вяжущего выявлено практически двукратное снижение количества крупных пор (> 2 мкм), четырехкратное – капиллярных

пор (2,0–0,2 мкм), происходит смещение размерности пор в сторону непроницаемой для воды гелевой пористости (рисунок 3.12).

Выявлено, что общая пористость композита на полиминеральном вяжущем на 40–60% ниже, чем для контрольных цементных образцов (независимо от производителя портландцемента).

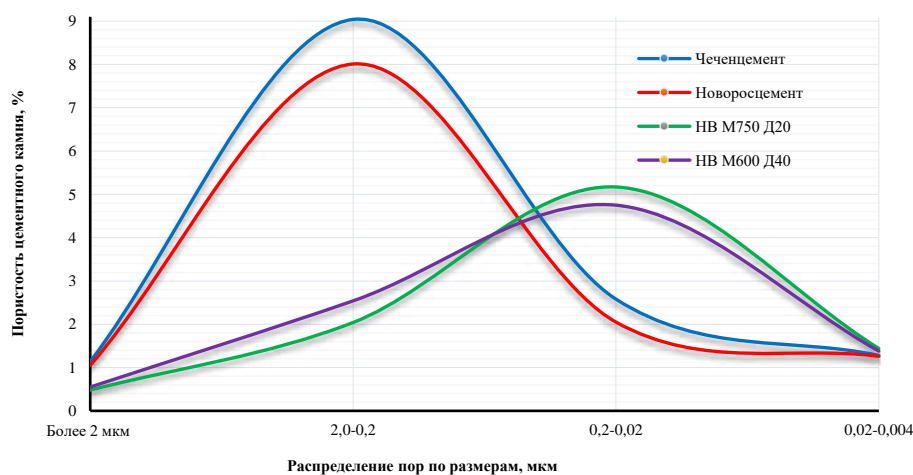


Рисунок 3.12 – Зависимость распределения размерности пор от вида вяжущего

Это же подтверждается исследованием микроструктуры: композит на наполненном вяжущем характеризуется уплотнением структуры по сравнению с традиционным цементным камнем (рисунок 3.13).

Выявлено точечное (избирательное) распределение суперпластификатора на вяжущих частицах, что замедляет гидратационные процессы на протяжении первых двух-трех часов. Этот эффект осуществляется из-за сопротивления «пленки» ПАВ на вяжущих частицах, сквозь эту пленку осуществляется диффузионное проникновение молекул воды к дефектам структуры зерен портландцемента. На данном первоначальном этапе, помимо диффузионных процессов, проникновение жидкой фазы к клинкерным минералам практически не происходит, но затем за счет дефлокулирования частиц ПАВ происходит водной среды с поверхностью зерна цемента, из-за чего кинетика гидратационной значительно повышается, вызывая, соответственно, ускоренное упрочнение цементного материала.

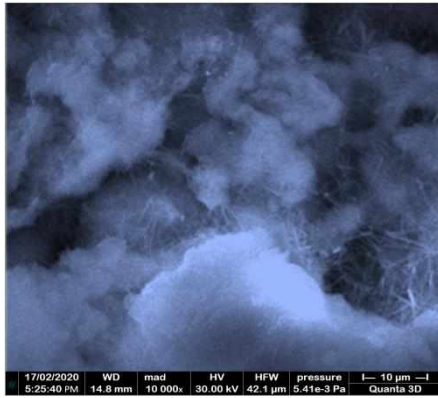
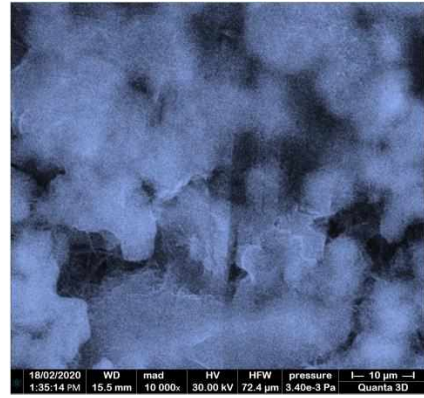
*a**б**в*

Рисунок 3.13 – Микроструктура цементного камня из КВ М750 Д20 (*a*), КВ М600 Д40 (*б*) и ПЦ (*в*): стрелками обозначена пористая структура

В ходе изучения тепловыделения во время гидратации (рисунок 3.14), графически прослеживаются этапы быстрого роста тепловыделения клинкерной составляющей, характеризующей окончание схватывания.

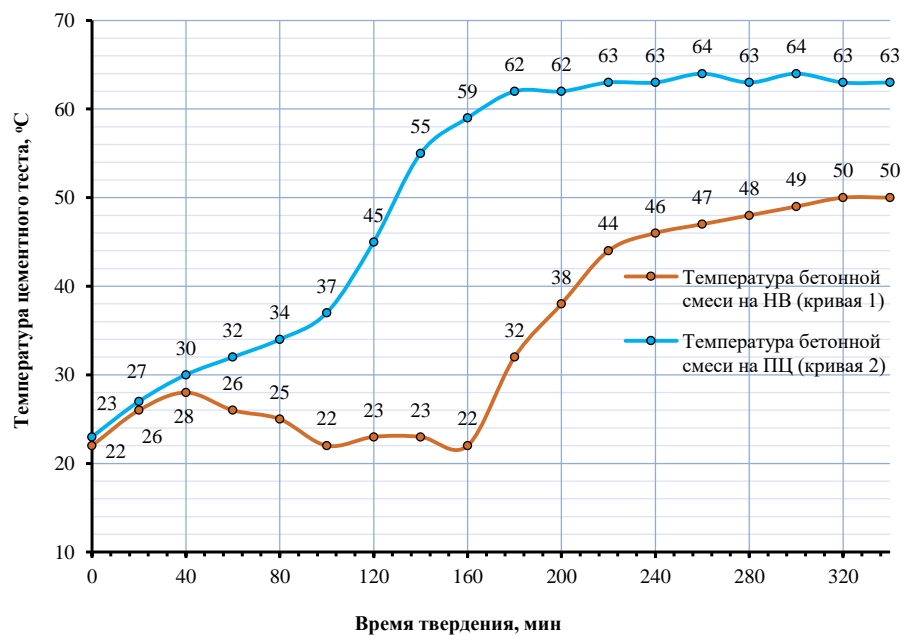


Рисунок 3.14 – Кинетика тепловыделения цементного теста из вяжущего КВ М600 Д40 (кривая 1) и ЦЕМ I 42,5 Н (кривая 2)

Установлено, что тепловыделение наполненного вяжущего на 20 % ниже, чем цементного теста на ЦЕМ I 42,5 Н, и наступает значительно позже (через 3 ч после затворения водой).

В результате влияния поверхностно-активных веществ создается эффект «вязкофазного микрокапсулирования» частиц вяжущего, предотвращая их контакт с водой, вследствие чего этап протекания экзотермических реакций гидратации у полиминерального вяжущего значительно растянут во времени. «Оболочка» вокруг вяжущих частиц дефлокулирует стадийно, а не одновременно для всех цементных зерен, как в бездобавочной смеси.

Кривая удельной поверхности при совместной механоактивации разработанного вяжущего носит нелинейный характер. Увеличение времени измельчения выше удельной поверхности 550 м²/кг является экономически не эффективным (рисунок 3.15).

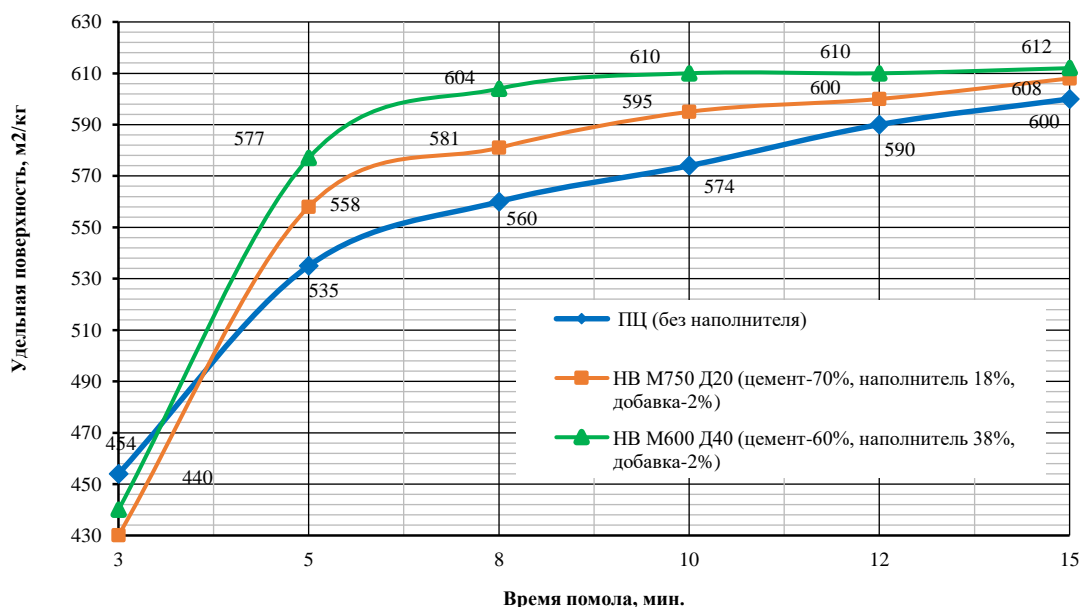


Рисунок 3.15 – Влияние продолжительности измельчения на достигаемую удельную поверхность вяжущего

Установлена эффективность совместного измельчения полиминеральных компонентов вяжущего с применением активных добавок из частиц строительного лома и суперпластификатора, что упрощает технологию получения наполненного вяжущего, снижает энергетические и трудовые затраты, а также и длительность измельчения сырья.

Максимальный эффект достигается при увеличении количества наполнителя в вяжущем, он может достигать в сравнении с активностью традиционно применяемого цемента ЦЕМ I 42,5Н до 80 % (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Характеристики разработанных смесей

Разработанные составы	Нормальная густота, %	Удельная поверхность, м ² /кг	Истинная плотность, кг/м ³	Водоотделение, %	Сроки схватывания, ч – мин		Активность, МПа
					начало	конец	
КВ М750 Д20	17	558	2986	15,5	3–40	5–30	75,8
КВ М600 Д40	19	577	2905	14,7	3–55	5–35	60,7
ЦЕМ I 42,5Н (Чеченцемент)	26	325	3115	18,0	2–15	3–40	52,6

При частичной замене цемента техногенным наполнителем снижается плотность полиминерального вяжущего с 3115 кг/м³ до 2905–2986 кг/м³. При этом нормальная густота составов М750 Д20 и М600 Д40 уменьшается с 26 % для контрольного состава до 17 и 19 % соответственно (с учетом снижения водопотребности на 30%). Таким же образом сокращается и водоотделение (на 15–20 %), позитивно влияя на стабильность свойств цементных суспензий в самоуплотняющихся смесях.

На основе полученных результатов созданы и всесторонне изучены полиминеральные композиты с использованием материалов от рециклинга отходов с активностью в диапазоне от 60 до 75 МПа. Количество вторичной полиминеральной добавки в разработанных композитах КВ М750 Д20 и КВ М600 Д40 составляет 20 и 40 % от общей массы вяжущего соответственно.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния заполнителя в композите. При правильном подборе заполнителя «жесткий каркас» значительно снижает ползучесть с одновременным повышением физико-механических характеристик, уменьшает усадку смеси и твердеющего

композита, а также позволяет экономить клинкерную составляющую.

При различных пропорциях вяжущего и заполнителя результирующая смесь может быть трех различных типов, представленных на рисунке 3.16.

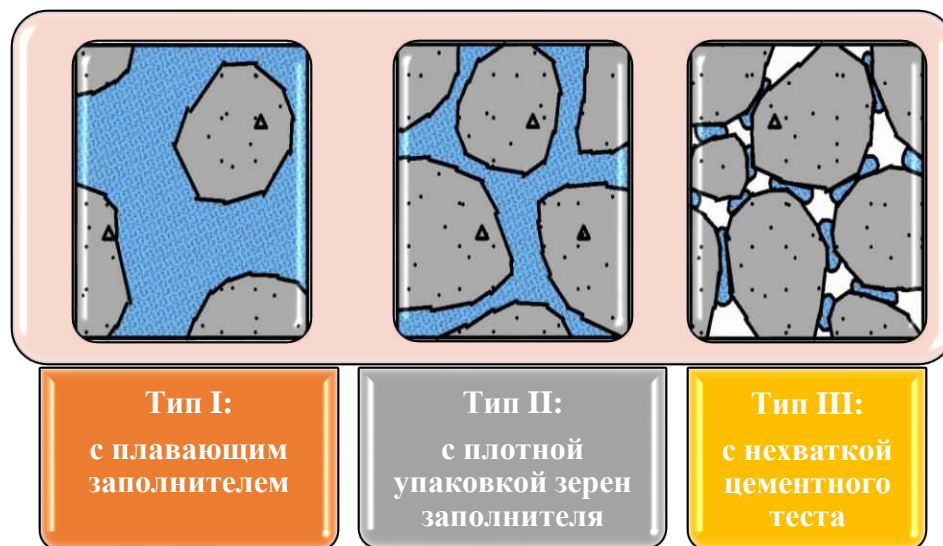


Рисунок 3.16 – Влияние соотношения цементного теста и заполнителя на структуру бетонной смеси

I тип характеризуется недостатком заполнителя в общем объеме композита, в результате образуется система с «плавающим заполнителем», которые приводит к значительному расслоению смеси и нестабильности ее свойств.

Лучшим является *II* тип: в упаковке такого типа происходит трение между зернами заполнителя, в результате чего снижается удобоукладываемость смеси. Данная проблема нивелируется путем корректировки водоцементного отношения и применением суперпластификаторов.

В *III* типе ощущается нехватка вяжущей части не только для раздвижки зерен заполнителя, но и для заполнения межзерновой пустотности последнего. В этом случае цементная паста лишь тонким слоем покрывает зерна заполнителя, а межзерновая пустотность остается с воздушными прослойками. Этот вид структуры показателен для композитов, созданных без

применения мелкого заполнителя и имеющих в составе крупные поры.

При создании высокоэффективных композитов необходимо стремиться к получению структуры II типа, что позволит, помимо достижения высоких целевых значений физико-механических характеристик, получать смеси нормативной подвижности и жизнеспособности с оптимальным расходом клинкерной составляющей.

Учитывая то, что традиционные методы исследований связаны с необходимостью осуществления большого количества экспериментов, сопряженных с большими затратами сил и средств, необходимо применение методов математического планирования эксперимента. Особо актуально это в тех случаях, когда традиционные методы являются «пассивными», т.е. связанными с поочередным варьированием переменных с тем условием, что остальные остаются константами.

Трехфакторное математическое планирование эксперимента было применено в ходе проектирования составов высокоэффективных композитов с учетом полученных промежуточных экспериментальных данных. В этом случае необходимое количество экспериментов было определено по следующей зависимости:

$$N = 2^k, \quad (3.2)$$

где k – количество переменных.

В частности, при выявлении общих зависимостей параметров удобоукладываемости разработанных смесей и прочностных характеристик затвердевших композитов в роли переменных выступают: водоцементное отношение, количество добавки (Д) и портландцемента (Ц) (таблицы 3.10 и 3.11).

Таблица 3.10 – Уровни варьирования переменных

Переменные		Уровни варьирования переменных			Интервал варьирования
		нижний	нулевой	верхний	
Натуральный вид	Кодовый вид	-1	0	+1	
Расход цемента, кг/м ³ (Ц)	X ₁	350	450	550	100
Водоцементное отношение	X ₂	0,3	0,35	0,4	0,05
Количество добавки, % (Д)	X ₃	0,5	0,8	1,1	0,3

В таблице 3.10 уровни переменных заданы как в натуральных, так и в кодированных величинах. При этом верхний уровень варьирования переменных обозначен +1, нижний –1, а средний (основной) кодируется как 0.

Таблица 3.11 – Матрица планирования эксперимента

№	Переменные						Прочность при сжатии, МПа	
	Натуральный вид			Кодовый вид				
	X ₁	X ₂	X ₃	Ц	В/Ц	Д		
1	+1	+1	+1	550	0,4	1,1	67,0	
2			-1			0,5	56,4	
3		-1	+1		0,3	1,1	68,8	
4			-1			0,5	58,2	
5	-1	+1	+1	350	0,4	1,1	32,7	
6			-1			0,5	28,2	
7		-1	+1		0,3	1,1	34,8	
8			-1			0,5	30,6	
9	+1	+1	0	550	0,4	0,8	59,5	
10	-1			350			30,8	
11	0	-1	0	450	0,3	1,1	39,9	
12							43,2	
13		0	+1		0,35		0,5	46,5
14			-1				0,5	38,0
15	0	0	0,8	41,2				

В результате обработки полученных данных выведены следующие уравнения регрессии для прочности при сжатии композиционного материала:

– кодовая запись:

$$Y = 41,2 + 15,3 X_1 - 1,1 X_2 + 3,8 X_3 + 4,1 X_1^2 + 0,5 X_2^2 + 1,2 X_3^2 + 0,1 X_1 X_2 + 1,6 X_1 X_3 \quad (3.3)$$

– натуральная запись:

$$R_{СЖ} = 41,2 + 15,3 Ц - 1,1 (В/Ц) + 3,8 Д + 4,1 Ц^2 + 0,5 (В/Ц)^2 + 1,2 Д^2 + 0,1 Ц(В/Ц) + 1,6 Ц \cdot Д \quad (3.4)$$

Согласно эти выражениям, при изменении количества применяемых компонентов, происходит довольно значительное варьирование физико-механических характеристик композита, поэтому возникает необходимость тщательного проектирования составов высокоэффективных бетонов.

В рецептурах наполненного вяжущего тонкомолотая минеральная добавка не использовалась, потому что она находилась в составе вяжущего (15-40 % от массы клинкерной части).

Составы и свойства композитов с использованием техногенных минеральных добавок приведены в таблице 3.12.

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 3.12 – 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

Продолжение таблицы 3.12

№ состава	Заданный класс бетона	Прочность при сжатии, МПа	Расход компонентов бетонной смеси, кг/м ³													Характеристики смеси				
			Щебень			Песок		Вязущее				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 «Новороцемент»	КВ М600 Д40	КВ М750 Д20	из бетонного лома	из ККБ		Динамик ПК (% от массы Ц)	Динамик РС (% от массы Ц)				
6.	В45	58,9	-	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

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

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

3.7 Физико-механические свойства высокоэффективных цементных композитов

Исследования последних лет [337-340] подтверждают, что на динамику изменения физико-механических свойств цементного композита влияют вид вяжущего, компоненты, пропорции и технология приготовления смеси, условий твердения и т.д.

Настоящее диссертационное исследование представляет результаты исследования физико-механических свойств композита при относительной влажности 90–100 % и температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. При этом исключается влияние внешних факторов на гидратационные процессы в твердеющей системе, сопоставлены потенциальные возможности роста показателей физико-механических свойств стандартных и разработанных высокоэффективных композитов в зависимости от их заданных характеристик и целевого назначения.

Прочность при сжатии изучалась на кубах с ребром 10 см, а призменная прочность – на призмах-образцах 10x10x40 см. Установлено, что упрочнение разработанного композита во времени отличается от контрольного образца (рисунок 3.17).

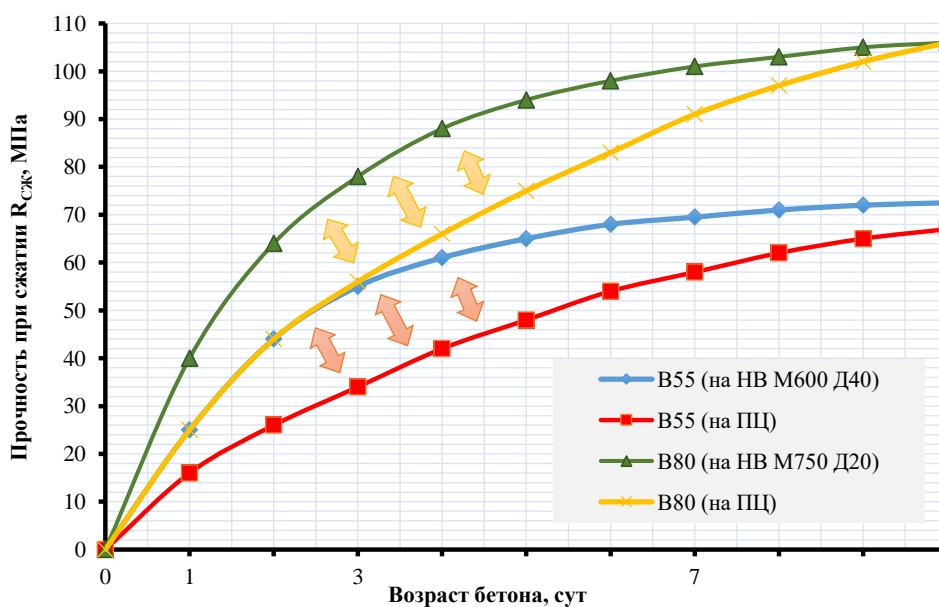


Рисунок 3.17 – Упрочнение наполненных композитов во времени

Согласно рисунку 3.17, скорость набора прочности (1-3 сутки) увеличивается. Ранний набор прочности композитов на композиционном вяжущем в раннем возрасте (24–72 ч) ускоряется на 50-100%. При этом, суточный образец уже обладает 30-процентной марочной прочностью, 3-суточный характеризуется 70%-ным значением данного свойства, а 7-суточный – прочностью композита до 90 % от проектных значений, все эти показатели значительно превышают характеристики для традиционных бетонов. В данном случае твердение ускоряется, в том числе и за счет действия комплексной добавки, которая к тому же эффективно повышает подвижность смесей в первые часы после затворения. Соответственно, эту химическую добавку можно отнести к полифункциональным модификаторам.

В результате проведенных исследований выявлено, что при применении полиминерального вяжущего обеспечивается большая однородность твердеющего композита в сравнении с контрольным бездобавочным составом, что подтверждается снижающейся разницей между кубиковой и призмочной прочностью при сжатии. У разработанных композитов отношение призмочной к кубиковой прочности варьируется в диапазоне от 0,82 до 0,86, тогда как у традиционных цементных бетонов данный коэффициент не превышает 0,78.

Очевидно, что этот показатель повышается одновременно с ростом активности полиминерального вяжущего и уменьшения в его составе количества техногенной добавки (рисунок 3.18).

В зарубежных нормативах, например в Еврокодах, для высокопрочных бетонов с классами В60–В80 и выше применяется постоянный коэффициент призмочной прочности – 0,8. В то же время, применение этой константы для всех случаев не дает реальной картины для всех случаев данного коэффициента.

Коэффициент $R_{\text{пР}}/R$ для композитов со средними классами по прочности, согласно [449], вычисляется в соответствии с выражением:

$$R_{\text{пР}} / R = (0,77 - 0,00125 R) \quad (3.5)$$

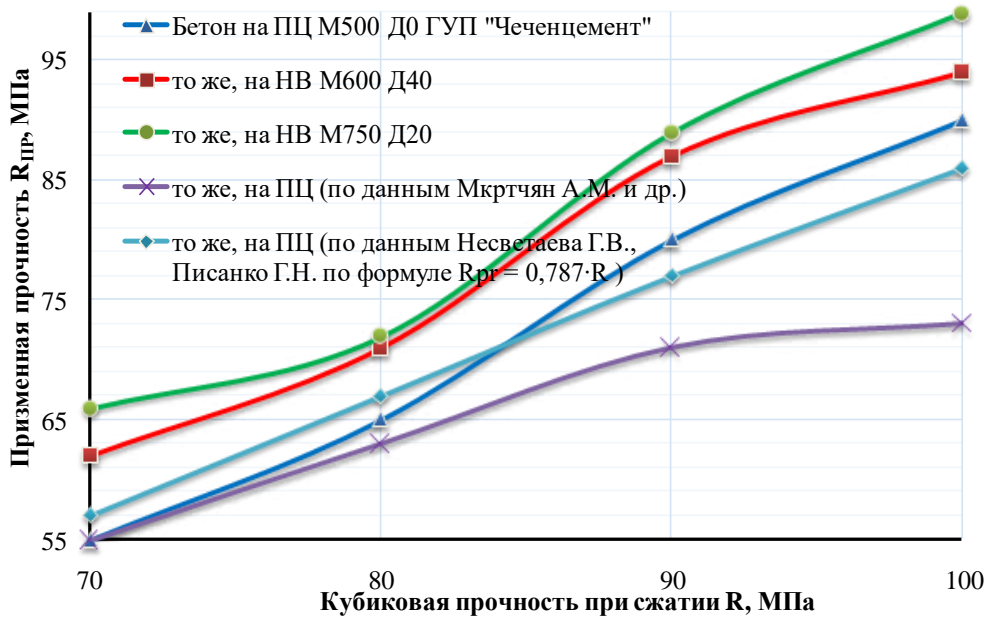


Рисунок 3.18 – Взаимосвязь различных характеристик прочности

Принимая во внимание экспериментальные результаты, полученные в диссертационном исследовании, проводим корректировку зависимости (3.5) в следующем виде:

$$R_{\text{пр}} = (0,77 \cdot b - 0,00125R) \cdot R, \quad (3.6)$$

здесь предлагаемый поправочный коэффициент b вычисляется следующим образом: $1,123 + 0,00115(R - 60)$; при $R \geq 60$ МПа.

На рисунке 3.19 продемонстрировано сравнение графиков зависимости коэффициента призмочной прочности от значений кубической прочности, $R_{\text{пр}}/R = f(R)$, на основе полученных экспериментальных данных, а также ранних исследований других авторов, полученных с применением зависимостей (3.5 и 3.6).

Таблица 3.13 перечисляет показатели наиболее важных физико-механических свойств разработанных высокопрочных композитов.

Выявлено, что коэффициент призмочной прочности у разработанных композитов гораздо выше, чем у равнопрочных традиционных портландцементных бетонов. Полученные результаты подтверждают более высокую степень гомогенности композитной смеси. Как было выявлено ранее,

полученные высокоэффективные композиты имеют повышенные значения сохраняемости (не менее 8–10 ч), что дает возможность ликвидировать формирование «холодных швов» при монолитном бетонировании. Как только заканчивается замедляющее действие модифицирующей добавки, ранний набор прочности интенсифицируется, что, соответственно, повышает оборачиваемость опалубки и ускоряет возведение монолитных зданий и сооружений.

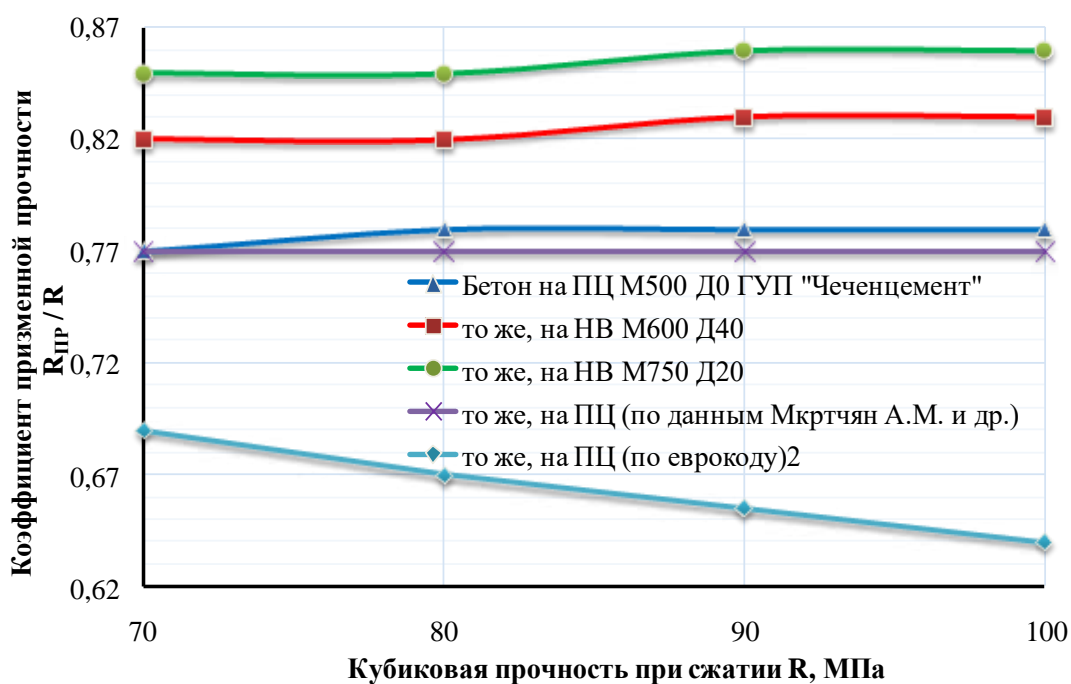


Рисунок 3.19 – Влияние кубиковой прочности на коэффициент призмной прочности для разработанных составов

Данное преимущество является важным не только для монолитного, но и для сборного строительства. Организации строительной индустрии (заводы крупнопанельного домостроения и железобетонных изделий) за счет высокой оборачиваемости форм, ускоряют производство, в том числе и с учетом отказа от тепловлажностной обработки цементного композита.

Таблица 3.13 – Показатели наиболее важных физико-механических свойств разработанных высокопрочных композитов

№ состава	Проектный класс бетона	$\rho_{\text{б}}, \text{кг/м}^3$	Прочность на сжатие в возрасте, сут, МПа					$R_{\text{пр}} / R$	Прочность при изгибе, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация ε , мм/м		Коэф. Пуассона μ	Усадка бетона, мм/м	Водопоглощение по массе, %	марка бетона по водонепрониц.	Марка по морозостойк.
			кубиковая				призм.				продольная ε_1	поперечная ε_2					
			1	3	7	28	28										
1.	B30	2334	9,5	15,5	31,8	43,0	31,4	0,73	4,4	40,2	2,32	0,66	0,285	0,93	8,9	W6	F200
2.		2338	10,7	16,7	34,9	46,5	33,9	0,73	4,6	40,9	2,33	0,66	0,285	0,90	8,8	W6	F200
3.	B40	2345	12,7	20,0	41,9	55,2	40,1	0,74	5,5	42,2	2,22	0,61	0,275	0,83	7,8	W8	F200
4.		2347	13,5	20,8	43,5	57,8	43,4	0,75	5,6	43,8	2,20	0,60	0,274	0,84	7,5	W8	F200
5.	B45	2352	15,1	23,2	48,3	62,8	47,7	0,76	6,4	45,6	2,14	0,56	0,262	0,70	6,8	W8	F300
6.		2355	14,8	23,9	49,8	64,7	49,2	0,76	6,7	45,8	2,18	0,56	0,255	0,70	6,9	W8	F300
7.	B55	2362	25,2	53,5	68,9	76,5	62,7	0,82	7,1	48,2	1,98	0,46	0,231	0,42	2,5	W16	F500
8.		2356	18,6	28,8	58,1	74,5	57,4	0,77	7,3	47,4	2,25	0,60	0,265	0,68	6,6	W10	F300
9.	B60	2359	30,5	59,3	76,2	84,7	71,1	0,84	8,4	51,1	1,96	0,45	0,228	0,38	2,5	W18	F600
10.		2368	23,2	37,5	69,2	89,2	69,6	0,78	8,2	52,3	2,23	0,61	0,272	0,63	6,5	W10	F300

Продолжение таблицы 3.13

№ состава	Проектный класс бетона	$\rho_{\text{б}}$, кг/м ³	Прочность на сжатие в возрасте, сут, МПа					$R_{\text{пр}} / R$	Прочность при изгибе, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация ε , мм/м		Коэф. Пуассона μ	Усадка бетона, мм/м	Водопоглощение по массе, %	марка бетона по водонепрониц.	Марка по морозостойк.
			кубиковая				призм.				продольная ε_1	поперечная ε_2					
			1	3	7	28	28										
11.	В80)	2370	40,4	78,5	100,9	112,2	94,2	0,84	9,5	54,3	1,95	0,43	0,218	0,33	2,3	W20	F600
12.		2390	32,6	48,8	90,8	116,4	90,7	0,78	9,8	54,1	2,20	0,61	0,278	0,60	6,2	W12	F400
13.	В30	2336	14,3	31,7	41,1	46,7	38,3	0,82	4,8	43,5	2,08	0,49	0,237	0,62	2,7	W14	F400
14.	В40	2352	17,8	38,9	51,7	58,1	47,6	0,82	5,7	44,8	1,99	0,47	0,235	0,60	2,7	W14	F400
15.	В45	2358	22,3	45,5	59,9	65,8	54,6	0,83	6,4	46,2	1,96	0,46	0,234	0,55	2,5	W16	F500
16.	В55	2365	26,4	54,1	69,6	77,3	65,7	0,85	8,2	47,5	1,96	0,45	0,228	0,40	2,4	W18	F500
17.	В60	2383	29,5	59,8	75,3	85,4	72,6	0,85	8,6	52,4	1,95	0,43	0,222	0,36	2,4	W20	F600
18.	В80	2408	40,9	81,8	106,1	115,3	99,2	0,86	9,7	54,5	1,90	0,40	0,210	0,31	2,2	W20	F600

Для исследования температурных полей крупных ж/б конструкций (например, гидротехнических объектов) применяются такие показатели материала, как удельная теплоемкость, теплопроводность, тепловыделение клинкерной составляющей в процессе гидратации в раннем возрасте. Характеристики экзотермии значительно влияют на технологический процесс при монолитной заливке бетона в объемные конструкции, потому что высокое тепловыделение в заливаемой смеси и в затвердевшем бетоне приводит к перепаду температур между различными слоями уложенной бетонной смеси.

Например, рисунок 3.20 демонстрирует картину температурных полей массивной бетонной конструкции на примере фундаментной плиты небоскреба «Ахмат-Тауэр» (г. Грозный), построенному в соответствии с действующими строительными нормами [450].

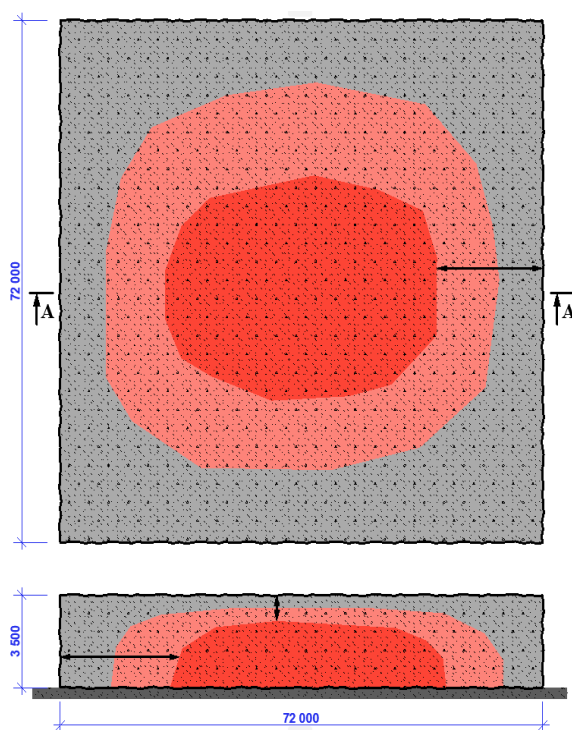


Рисунок 3.20 – Картина температурных полей массивной бетонной конструкции

В массивных конструктивных элементах теплота гидратации клинкерных минералов значительно медленнее выделяется в окружающую среду или в прилегающие конструктивные элементы по причине своих

масштабных габаритов, в результате чего ядро монолитной конструкции нагревается значительно интенсивнее и больше, чем оболочка. Поэтому внутри поперечного сечения монолитной конструкции возникшая разница температур ΔT приводит к образованию напряжения сжатия, а по краям образуются усилия растяжения (рисунок 3.21).

Усилия растяжения напряжения могут образовываться между различными ж/б конструкциями, если между монолитно бетонными элементами имеется перерыв в производстве работ. В частности, свежеслитая бетонная смесь на традиционном цементе ЦЕМ I 42,5Н характеризуется экзотермической реакцией (около 0,5 МДж/кг). Поэтому при охлаждении свежего слоя бетонной смеси происходит контракция, которой препятствует сила адгезии с ранее уложенным слоем бетонной смеси.

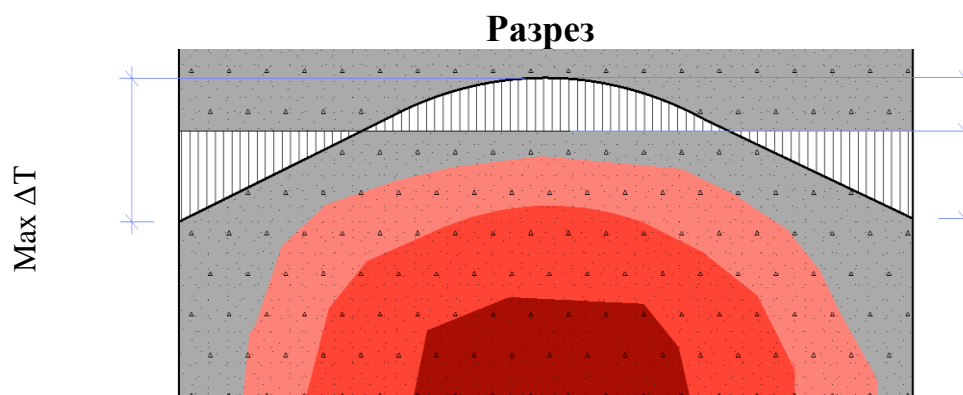


Рисунок 3.21 – Влияние реакции тепловыделения на внутренние сжимающие $\sigma_{сж}$ и растягивающие $\sigma_{раст}$ усилия

Рисунок 3.22 характеризует зависимость напряжения от температуры и внешнего давления, возникающего при данной технологии укладки монолитной смеси.

Согласно расчетным результатам [450], разница в температурах между верхним слоем залитой смеси плиты и наружным воздухом ΔT_1 должна быть менее 20 °С, а перепад температур между залитыми бетонными слоями ΔT_2 – менее 30 °С.

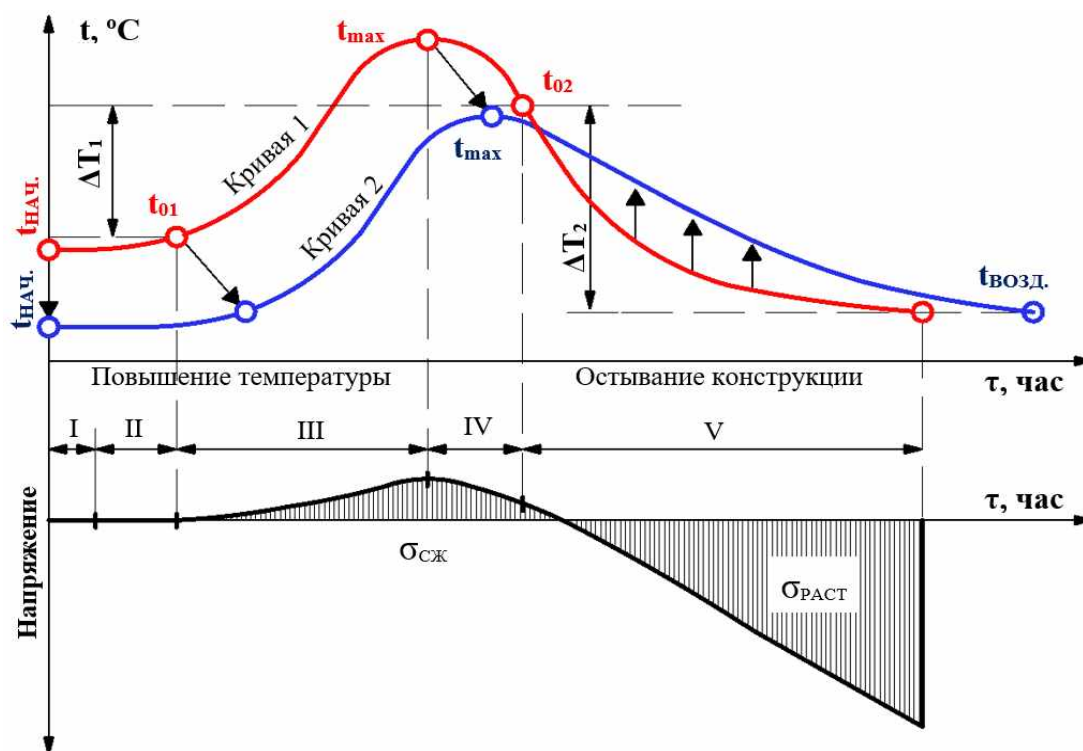


Рисунок 3.22 – Зависимость напряжений деформации и температуры в свежеуложенной бетонной смеси от условий окружающей среды:
 $\sigma_{сж}$ и $\sigma_{раст}$ – внутренние сжимающие и растягивающие напряжения; $t_{нач}$ и t_{max} – начальная и максимальная температура бетонной смеси; $t_{возд.}$ – температура воздушной среды; I, II, ... V – экзотермические периоды бетонной смеси; 1 и 2 – экзотермия портландцементного бетона и разработанного композита состава № 15.

Пять периодов экзотермии бетонных смесей перечислены в таблице 3.14.

Для регулирования процесса теплового обмена свежеуложенной бетонной смеси в массивную конструкцию фундамента класса по прочности В75 необходимо осуществить ряд требований к бетонным смесям по материалам и технологии [450]:

- композиты должны обладать малым энергопотенциалом, обеспечивающим в результате снижения количества вяжущей составляющей замедление твердения в течение первых 24 ч;
- после заливки в опалубку должны иметь относительно высокую тиксотропию, позволяющую в возрасте 24 ч при вибрирующем уплотнении иметь способность снова разжижаться;
- нормальная густота цементного теста не должна превышать 26 % при

наличии в исходном портландцементе минеральных добавок около 5 % и алит в пределах 8 %;

– температура смесей на строительной площадке должна варьироваться в пределах от +2 до +28 °С.

В этом случае расчетный прирост температуры уложенной смеси в ядре конструктивного элемента не должен превышать 45 °С.

Таблица 3.14 – Пять периодов экзотермии бетонных смесей

Период	Длительность, час		Характеристика
	на ЦЕМ I 42,5Н	на КВ	
Период № 1	от 0 до 2	от 0 до 8	Первый этап не сопровождается ростом температуры смеси. Период покоя может возрастать в результате применения в составе вяжущего ПАВ, замедлителей твердения и др. химических модификаторов
Период № 2	от 2 до 6	от 8 до 15	Рост температуры в результате гидратационных процессов, при этом напряжения не возникает, в еще пластичной твердеющей смеси тепловые расширения переходят в относительное сжатие. Окончание данного периода происходит при «первой температуре при нулевом напряжении» t_{01}
Период № 3	от 6 до 13	от 15 до 24	Последующее нагревание твердеющей смеси, при этом наблюдается рост физико-механических свойств с одновременным формированием сжимающих напряжений, частично снижающихся в результате релаксации. Окончание периода наблюдается при достижении предельной температуры t_{max} .
Период № 4	от 13 до 24	от 24 до 72	Превалирует теплоотдача: при этом температура и внутреннее напряжение уменьшаются. «Вторая температура при нулевом напряжении» t_{02} гораздо выше температуры второго периода t_{01}
Период № 5	от 24 до 72	от 72 до 144	Окончательный процесс охлаждения и возрастающее напряжение растяжения, частично уменьшающиеся в результате релаксации. При достижении растягивающего предела прочности ($\Delta T_{крит.}$), образуются трещины сквозного типа.

В результате проведенных комплексных исследований выявлено, что пик

максимального экзотермического эффекта t_{\max} от тепловыделения портландцемента у массивных конструктивных элементов, залитых бетонными смесями на КВ уменьшается на треть по сравнению со стандартными цементными бетонами (с 70–75 °С до 50–55 °С). Это можно обосновать синергетическим действием поверхностно-активных веществ и замедлителя твердения, входящих в состав полиминерального вяжущего, приводящих к поэтапному доступу поверхности частиц цемента для воды затворения при гидратационных процессах, а не одномоментно, как в чистых цементных составах. В результате пролонгированного действия стерического эффекта поверхностно-активных веществ в затворенных композитах значительно уменьшается тепловыделение ее клинкерной составляющей. Дополнительно к этому, экзотермия и так достаточно низка в результате равновеликого замещения ее части тонкомолотыми минеральными техногенными добавками.

3.8 Эксплуатационные характеристики высокопрочных бетонов на основе местного природного и техногенного сырья

В процессе эксплуатации высокопрочных бетонных и железобетонных конструкций большое значение имеют деформационные характеристики материала, такие как модуль упругости E_0 , модуль деформации E , коэффициент упругости ν , являющийся отношением упругих деформаций к общим.

Призмленную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона определяли по нормативной методике ГОСТ 24452-80 при испытании призматических образцов с квадратным основанием размером 10x10 см и высотой 40 см (рисунок 3.23).

При этом призмленная прочность $R_{\text{ПР}}$ вычислялась по формуле:

$$R_{\text{ПР}} = \frac{P_P}{F} \quad (3.7)$$

где P_P – нагрузка при разрушении образца, Н; F – площадь поперечного

сечения призмы, мм².



Рисунок 3.23 – Исследование деформационных характеристик образцов

Модуль упругости бетона E_b вычислялась по следующему выражению:

$$E_b = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}} \quad (3.8)$$

где $\sigma_1 = P_1/F$ – приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от P_P ; P_1 – соответствующее приращение внешней нагрузки; ε_{1y} – приращение упруго-мгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_P$ и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

Коэффициент Пуассона бетона μ определялся для каждого образца при уровне нагрузки $0,3P_P$ по следующей формуле:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}} \quad (3.9)$$

где ε_{2y} – приращение упруго-мгновенной относительной поперечной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки, равной 30% от разрушающей нагрузки.

Величины ε_{1y} вычислялись следующим образом:

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \sum \varepsilon_{1n} \quad (3.10)$$

где ε_1 – увеличение полных относительных продольных и поперечных деформаций образца, соответствующие уровню нагрузки $P_1 = 0,3P_P$, замеренные в конце ступени ее приложения; $\sum \varepsilon_{1n}$ – увеличение относительных продольных и поперечных деформаций быстронатекающей ползучести, полученные при выдержках нагрузки на ступенях нагружения до уровня нагрузки $P_1 = 0,3P_P$.

Величины деформаций ε_1 по следующему выражению:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1} \quad (3.11)$$

здесь Δl_1 – абсолютные приращения продольной и поперечной деформаций образца, вызванные соответствующим приращением напряжений; l_1 – фиксированные базы измерения продольной и поперечной деформации.

Экспериментально определено, что модуль упругости разработанных композитов варьируется в диапазоне от 40,2 до 54,5 ГПа и развивается по одному закону с прочностью при сжатии: чем выше прочность, тем выше и модуль упругости.

Деформации (продольные ε_1 и поперечные ε_2) разработанных композитов варьируются в пределах 1,93–2,32 мм/м и 0,41–0,66 мм/м, соответственно. А у контрольного цементного бетона они подходят к величинам $\varepsilon_1 = 3,2$ –3,6 мм/м и $\varepsilon_2 = 1,9$ –2,0 мм/м. В частности, с ростом

прочностных характеристик композита как продольные, так и поперечные деформации снижаются.

Коэффициент Пуассона μ у разработанного композита варьируется в пределах 0,210–0,285. В частности, доказано, что с повышением прочностных свойств бетона μ у разработанных композитов снижается.

Это подтверждается диаграммами деформирования разработанных высокоэффективных композитов, модифицированных тонкомолотым минеральным техногенным при статистическом нагружении, как это продемонстрировано на рисунках 3.24 и 3.25.

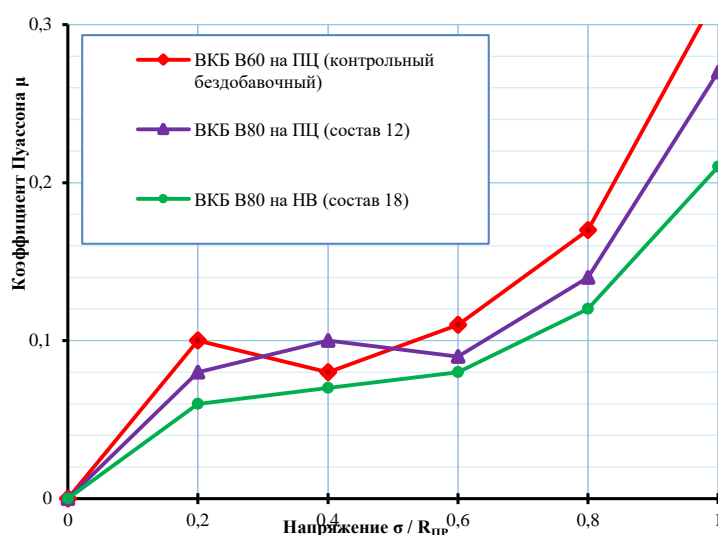


Рисунок 3.24 – Диаграмма изменений продольных ε_1 и поперечных ε_2 деформаций разработанных композитов (№ составов по таблицам 3.13 и 3.14)

Для разработанного материала деформационные характеристики, как правило, имеют прямолинейную зависимость. Выявлено, что первые пластические деформации у модифицированного композита отмечаются при напряжениях $\sigma = (0,48–0,52) R_{пр}$, однако, как и у традиционного бетона, этот параметр снижается и составляет $\sigma = 0,3R_{пр}$. Остаточные пластические деформации у контрольного образца бетона варьируются в диапазоне 0,12 – 0,14 мм/м, что практически на четверть больше, чем для разработанного композита (не более 0,11 мм/м). Малое изменение модуля деформации (не

более 12–20 %) вплоть до внешнего напряжения $\sigma = 0,9R_{PP}$ подтверждает упругий характер работы полученного высокоэффективного композита.

Согласно диаграммам деформирования традиционных образцов, отмечаем заметное снижение модуля деформации, начиная с первоначальных периодов приложения нагрузки – при $\sigma = 0,5R_{PP}$. В этом случае, модуль деформации уменьшается практически наполовину.

Изучая и анализируя приведенные выше кривые продольного деформирования, приходим к выводу о высокой степени упругости разработанных композитов, что доказывается большим значением коэффициента упругости (Гука) k (в частности, для образца ВКБ $k = 0,91–0,93$). Верхние R^v_T и нижние R^o_T – параметрические точки микротрещинообразования – практически не определяются характером деформирования образцов при осевом сжатии в соответствии с методикой, разработанной О. Я. Бергом. Данный факт доказывает, что структура исследуемых композитов вплоть до значения нагрузки $0,93–0,95R_{PP}$ подвергается лишь объемному уплотнению.

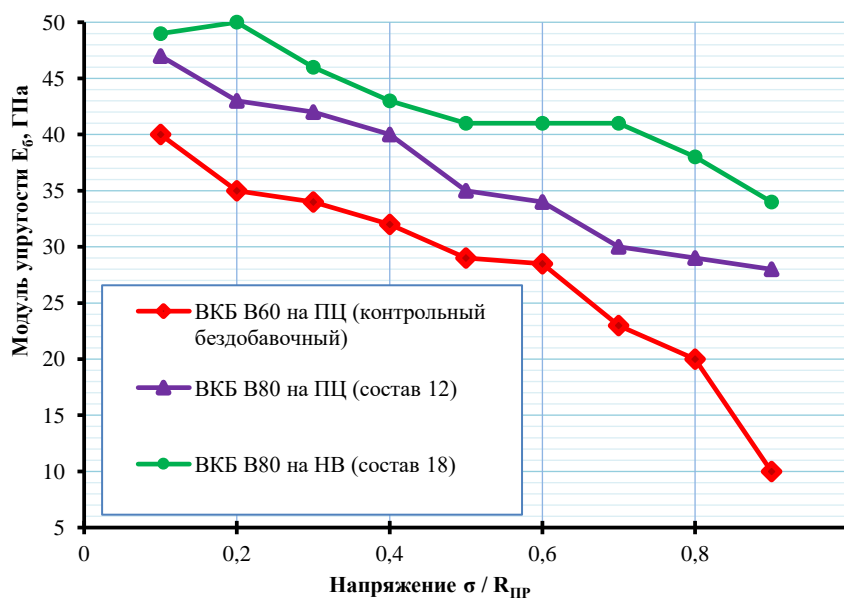


Рисунок 3.25 – Зависимость модуля упругости разработанного композиционного материала от внутренних напряжений (№ составов по таблицам 3.13 и 3.14)

Полученные результаты экспериментальных исследований деформативных характеристик разработанных композитов доказывают относительно высокие характеристики упругости, что подтверждает то, что при управлении процессами структурообразования цементных материалов обеспечивается достаточно вязкая микроструктура (отличающаяся от упругой структуры бетона), значительно отодвигая границы зоны образования микротрещин.

Дальнейшие исследования деформативных характеристик были направлены на усадочные деформации. При этом, в зависимости от водоцементного отношения и расхода портландцемента величина деформации усадки вычисляется по следующей формуле:

$$\varepsilon_y \cdot 10^6 = 0,25 \left[(C + 275) + 6,9(C - 75) \cdot \left(\frac{B}{C} \right)^2 \right] \quad (3.12)$$

Рисунок 3.26 демонстрирует влияние состава и класса композита на значение усадки, выявленное в ходе экспериментальных исследований.

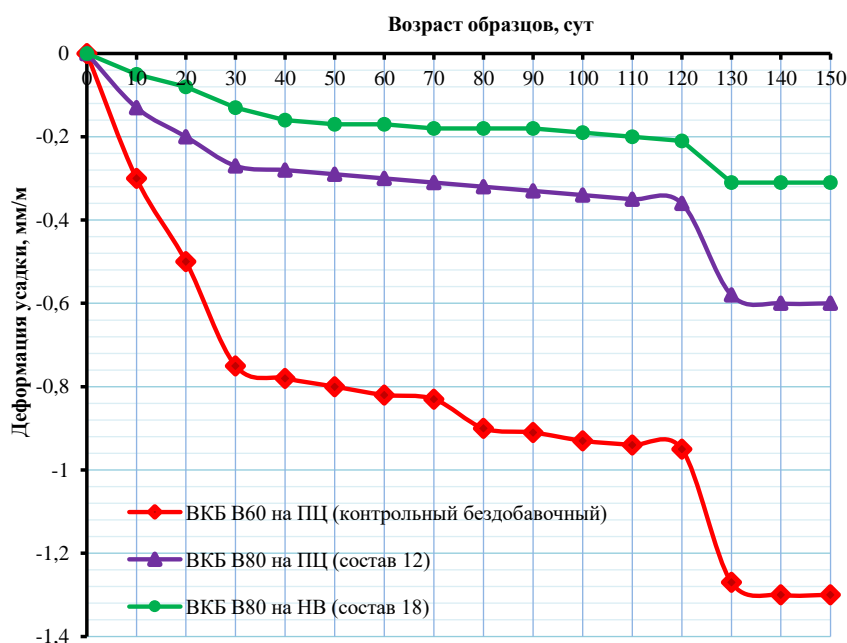


Рисунок 3.26 – Влияние состава и класса композита на значение усадки (№ составов по таблицам 3.13 и 3.14)

Достигнутые результаты показали малые значения усадки при сушке разработанных композитов, варьирующейся в диапазоне 0,2–0,4 мм в

естественных условиях. При этом во влажных условиях предельные усадочные деформации для композита класса В80 составляют 0,31–0,35 мм/м.

Выявлено снижение μ значений 0,21–0,285 при росте прочности композита, что подтверждает их более вязкую микроструктуру.

Выявлено снижение коэффициента Пуассона (коэффициент поперечной деформации) до значений $\mu = 0,21–0,285$ при росте прочности композита, что подтверждает их более хрупкую микроструктуру.

Изучение водопоглощения по массе разработанных композитов осуществлялось согласно нормативной методике ГОСТ 12730.3-78.

Полученные в результате графики зависимостей «водопоглощение – время насыщения» аппроксимировались по формуле:

$$W_t = W_M [1 - e^{-(\lambda t)^\alpha}] \quad (3.13)$$

где W_t – массовое количество воды, впитанное образцом за время t ; W_M – то же, рассчитанное по ГОСТ 12730.3-78; $e = 2,718$; λ – показатель размерности капиллярной пористости; α – показатель однородности размеров пор.

Морозостойкость и водонепроницаемость разработанных композитов проводилась на образцах 10×10×10 см по нормативным методикам государственных стандартов, соответственно (рисунок 3.24).

Экспериментальные результаты, приведенные на рисунке 3.27, свидетельствуют, что водопоглощение разработанных композитов в меньшей степени зависит от водоцементного отношения по сравнению с традиционными портландцементными тяжелыми бетонами. На основании этих выводов можно судить о сниженных характеристиках макроскопической и капиллярной пористости и, соответственно, водопроницаемости полученного высокопрочного модифицированного бетона.

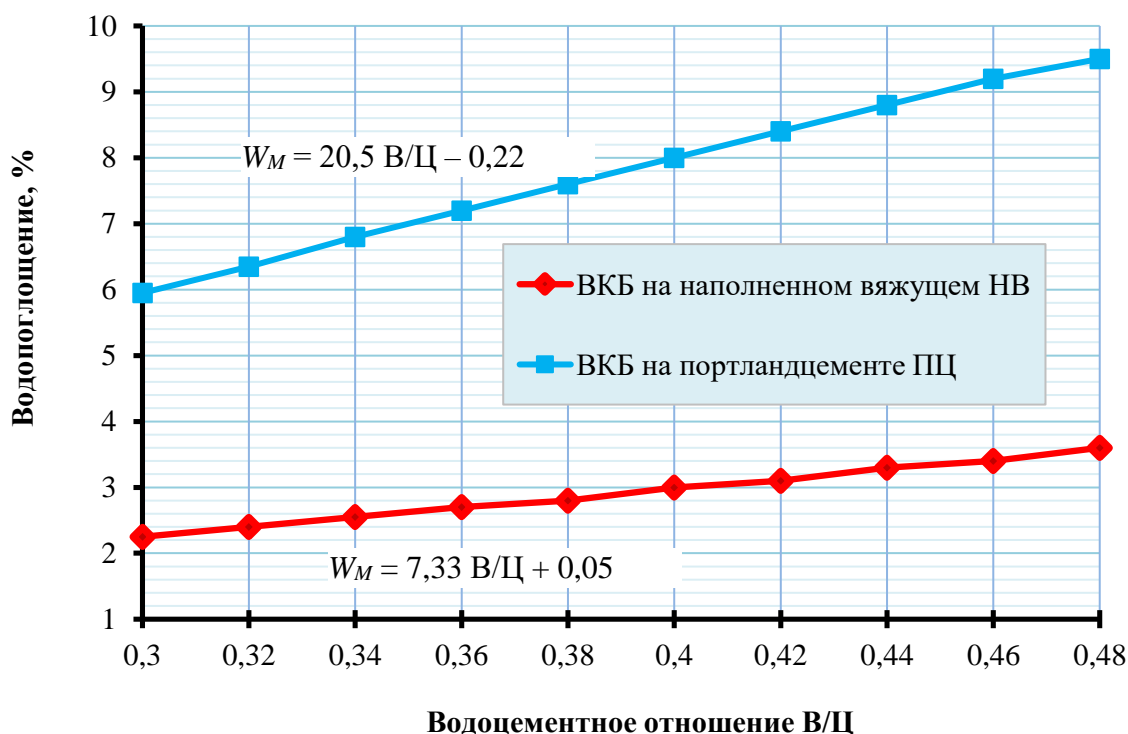


Рисунок 3.27 – Зависимость водопоглощения (по массе) от водоцементного отношения для разработанных композитов

В таблице 3.16 приведены значения пористости высокопрочных бетонов (средний размер λ , однородность α и удельная поверхность пор S_0).

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 (λ от 0,6 от 0,8) с достаточно однородной размерностью (α от 0,4 0,5).

Согласно результатам, приведенным в таблице 3.15, у разработанных композитов отмечается повышенная удельная поверхность пор по сравнению с контрольным бездобавочным тяжелым бетоном. Несмотря на это, закрытые поры с малым радиусом являются непроницаемыми для воды, что, соответственно, приводит к повышению морозостойкости материала.

Таблица 3.15 – Взаимосвязь физико-механических свойств, поровой структуры и водопоглощения разработанных композитов в возрасте 28 сут

№ смеси	Класс бетона	Плотность, т/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Показатели пористости			W _м , % по массе
				λ	α	S ₀	
1.	B55	2,4	77	0,8	0,5	8,4	2,5
2.		2,4	75	1,0	0,5	6,0	6,6
3.	B60	2,4	85	0,6	0,5	8,3	2,5
4.		2,4	89	0,9	0,5	5,9	6,5
5.	B80	2,4	112	0,6	0,4	8,2	2,3
6.		2,4	116	0,9	0,5	5,6	6,2
7.	B30	2,3	47	0,8	0,5	9,3	2,7
8.	B40	2,4	58	0,8	0,5	9,0	2,7
9.	B45	2,4	66	0,8	0,5	8,6	2,5
10.	B55	2,4	77	0,8	0,5	8,4	2,4
11.	B60	2,4	85	0,6	0,4	8,3	2,4
12.	B80	2,4	115	0,6	0,4	8,2	2,2

Согласно показателям пористости, перечисленным в таблице 3.16, удельная внутренняя поверхность поровой сети у разработанных композитов больше, чем у традиционных бездобавочных бетонов, а средний размер пор - меньше. Данный позитивный результат был достигнут за счет управления процессами структурообразования, с формированием в вяжущей матрице системы закрытых пор (рисунок 3.28).

Дальнейшие экспериментальные исследования и были направлены на изучение характеристик морозостойкости композитов (рисунок 3.29). Видно, что высокоэффективные композиты на наполненном вяжущем способны обеспечить в 2 раза большее количество пройденных циклов замораживания-оттаивания по сравнению с традиционными составами.

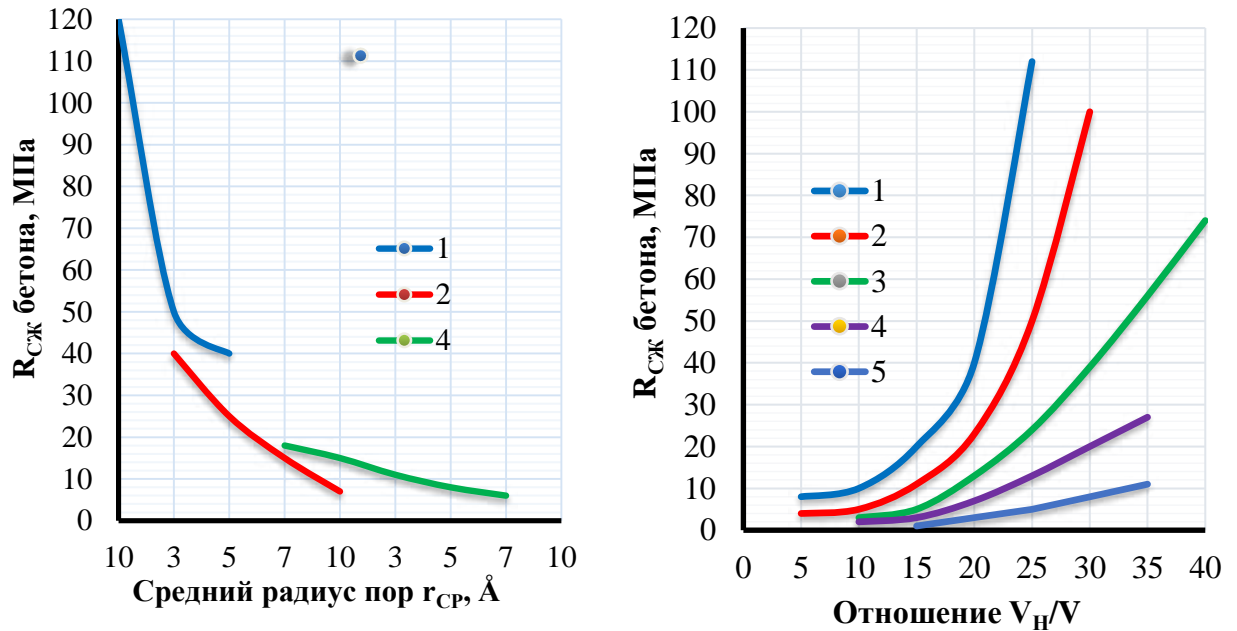


Рисунок 3.28 – Зависимость прочности цементного камня от пористости (а) и объема новообразований (б):

1 – тоберморит; 2 – низкоосновные гидросиликаты кальция; 3 – 70–80 % геленита и 20–30% низкоосновных гидросиликатов кальция; 4 – те же пропорции гидрограната и низкоосновных гидросиликатов кальция; 5 – C_3AH_6 и гидрогранаты.

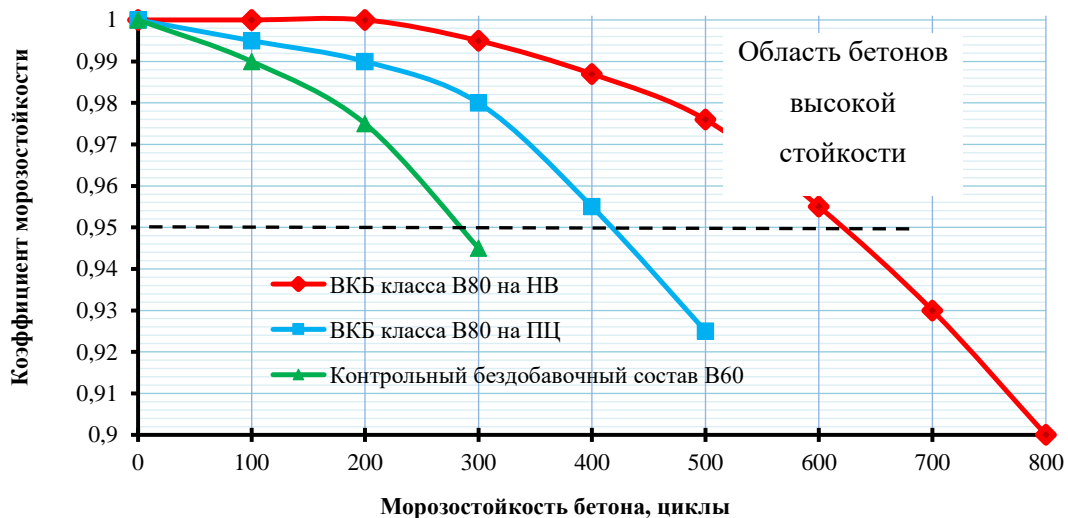


Рисунок 3.29 – Зависимость морозостойкости от состава вяжущего

Экспериментальные исследования по ускоренной методике характеристик морозостойкости разработанных композитов при водоцементном отношении, равном 0,45, показали значения, соответствующие классам F300 до F500 в зависимости от класса бетона.

Полученные значения морозостойкости подтверждают высокую долговечность разработанных композитов.

Следует отметить, что в действующих нормах и рекомендациях отсутствуют способы исследования способности цементного материала к самовосстановлению трещин. Наиболее адекватной и дающей максимально точные результаты (как было установлено независимыми авторами и нашими предварительными исследованиями) представляется методика, предложенная доц. О.К. Базовым. Согласно этой методике, через специально созданную трещину осуществляют фильтрацию воды и производят замер скорости ее прохождения (рисунки 3.30, 3.31).

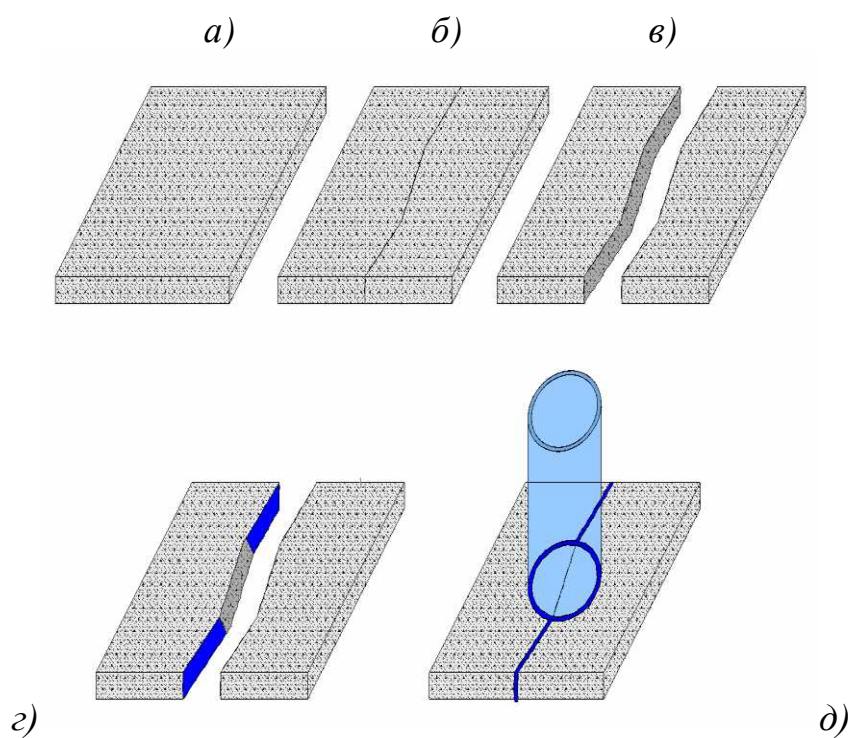


Рисунок 3.30 – Последовательность подготовки бетонной плиты для исследования механизма самовосстановления трещин:

a – исходная бетонная плита; *б* и *в* – создание трещины в ней с разделением половинок; *г* – обратное соединение с применением герметика; *д* – герметическое присоединение испытательной трубы

На рисунке 3.32 приведены результаты экспериментальных исследований в виде кривых зависимостей скорости фильтрации воды сквозь трещины от времени.

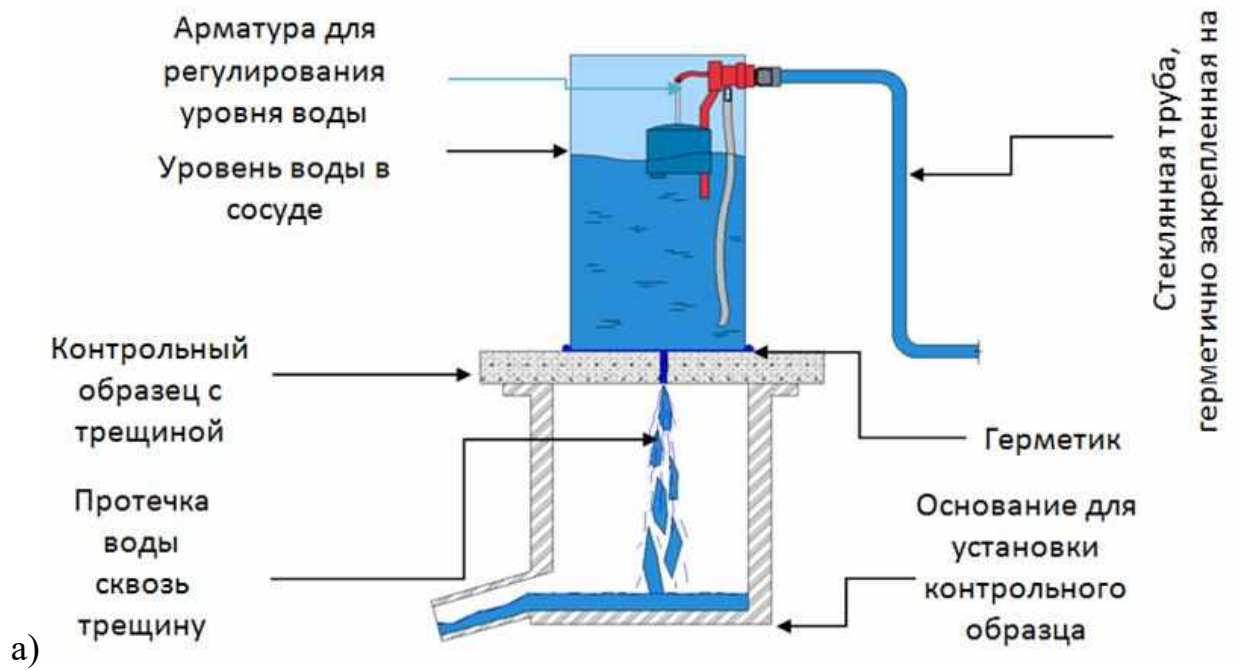


Рисунок 3.31 – Установки для определения скорости самовосстановления трещины в образце:
а – схема установки; б – подготовка образца с искусственной трещиной;
в - общий вид установки.

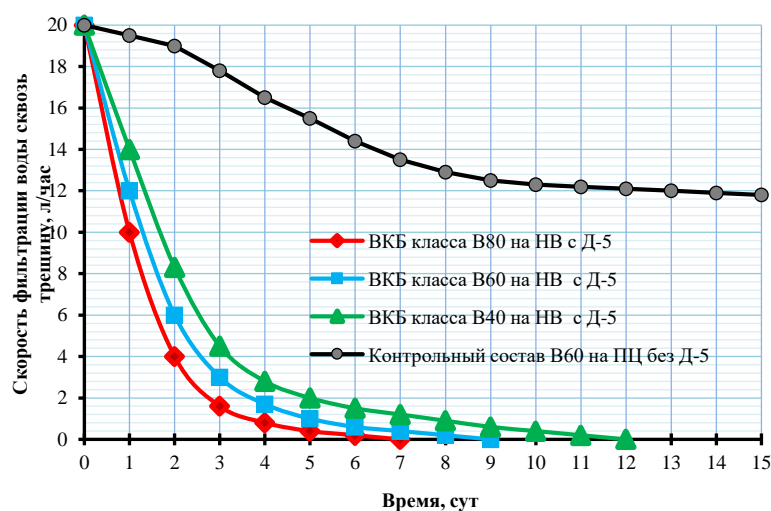


Рисунок 3.32 – Кривые зависимостей скорости фильтрации воды сквозь трещины от времени

Это подтверждается исследованием микроструктуры, в частности прослеживаются игольчатые новообразования кристаллогидратов, образующиеся в результате гидратации непрогидратированных ранее частиц портландцемента в образце (рисунок 3.33).

а)

б)

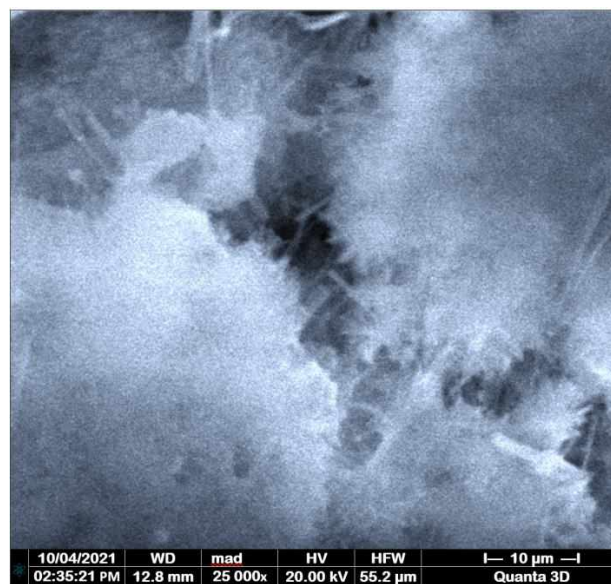
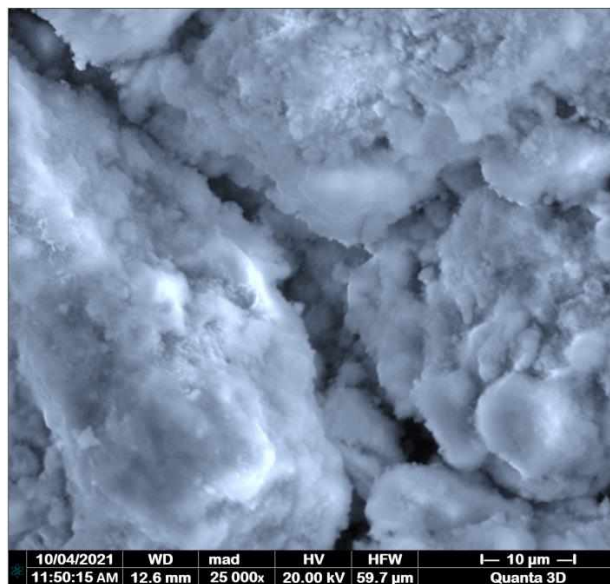


Рисунок 3.33 – Микроструктура самовосстанавливающейся области: а) до начала самовосстановления; б) после самовосстановления

Экспериментально было достигнуто самовосстановление дефектов структуры шириной до 0,6–0,8 мм, что является перспективным направлением

современного строительного материаловедения, в том числе и для эксплуатации зданий и сооружений в сейсмически активных районах.

Здесь надо отметить, что необходимое условие самозалечивания трещин – это фильтрация воды сквозь них, что приводит к гидратации ранее негидратировавших зерен портландцемента и росту новообразований в микроструктуре композитной матрицы. Свойство самозалечивания может применяться и для бездефектных цементных материалов, уложенных по монолитной послойной технологии.

Эмпирическим путем установлено, что «холодные» стыки в разработанных композитах с химическим модификатором Д-5 не фильтруют жидкую фазу даже при долгих промежутках в технологическом процессе заливки смеси.

Таким образом, разработанный в диссертации комплекс организационно-технологических мероприятий, предусматривающих значительное уменьшение водоцементного отношения, повышение плотности упаковки обогащенного и фракционированного заполнителя, двухэтапное введение воды, использование техногенных полиминеральных тонкодисперсных добавок, минимизирующих поровое пространство композита, позволяет синергетически получить малоусадочную бетонную смесь для широкого функционального назначения.

Выводы по 3 главе

1. Выявлено влияние состава и технологии изготовления 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.

2. Установлены технологические параметры стабилизации седиментационных показателей цементно-водных суспензий с использованием тонкомолотых минеральных техногенных добавок. Подтверждена эффективность применения этих материалов от рециклинга бетона и кирпича в затворенных композициях для управления формированием микроструктуры, предотвращения процесса водоотделения и расслоения смеси.

3. Исследованы механизмы влияния пластифицирующих химических модификаторов на процессы структурообразования вяжущей матрицы в разработанных композитах. В частности, установлено, что сохраняемость полученных смесей увеличивается до десяти часов в результате применения химических модификаторов «Динамикс РС» и «Динамикс ПК». Этим достигается двукратное снижение скорости твердения цементного композита, что очень важно для ликвидации «холодных швов» в технологии монолитного бетонирования.

4. Созданы составы полиминеральных вяжущих для высокоэффективных композитов, обладающих активностью в диапазоне 60–71 МПа за счет наличия в составе техногенных молотых минеральных добавок (материала от рециклинга бетона и кирпича в соотношении 70:30 соответственно) в количестве 25-40 % по массе вяжущего, что позволяет применять этот материал для монолитного возведения высотных зданий.

5. Разработаны энергоэффективные технологические приемы обогащения крупного гравийного заполнителя для повышения его марки по дробимости до М1000-М1200, при этом рациональные вяжущие составы имеют марку по осадке конуса П5, а также сохраняемость выше восьми часов, что позволяет считать такие композиты высокоэффективными.

6. Установлена динамика упрочнения композитов в возрасте 24–72 ч – рост в 1,5–2 раза. Выявлено, что коэффициент призмочной прочности (представляющий собой отношение $R_{ПР} / R$) у разработанных композитов варьируется в диапазоне 0,82–0,86, в то время как у стандартных бетонов –

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 «Линамикс РС», присутствующих в состав КВ и способствующих поэтапному доступу поверхности частиц портландцемента для воды затворения.

7. 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.

8. 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 ($\alpha=0,4-0,5$).

9. Установлено, что высококачественные бетоны на основе композиционного вяжущего с тонкомолотыми минеральными наполнителями техногенного происхождения обладают повышенной долговечностью (марки выше F500 и W14 и выше).

10. Предложен метод самовосстановления дефектов структуры цементного материала с шириной до 0,6–0,8 мм, проявляющегося в результате смачивания внутренних поверхностей, образующихся в конструкциях в ходе эксплуатации при динамических нагрузках, в т.ч. сейсмической активности.

4. МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

4.1 Влияние малых архитектурных форм на улучшение среды обитания человека

Малые архитектурные формы (МАФ) служат для создания комфортной среды обитания людей за счет рационального дополнения ландшафтных условий небольшими эстетическими объектами архитектуры.

К малым архитектурным формам относятся: строения парковых культурных центров и детских площадок, арки, беседки, ограды, стенды, цветники, различные лотки и т.д. (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Виды конструкций малых архитектурных форм

Малые архитектурные формы прочно интегрированы в среду обитания человека, создавая комфортные условия для его жизнедеятельности. МАФ выполняют не только декоративные и развлекательные функции, но нередко используются и в различных практических целях.

Классификация малых архитектурных форм приведена на рисунке 4.2.

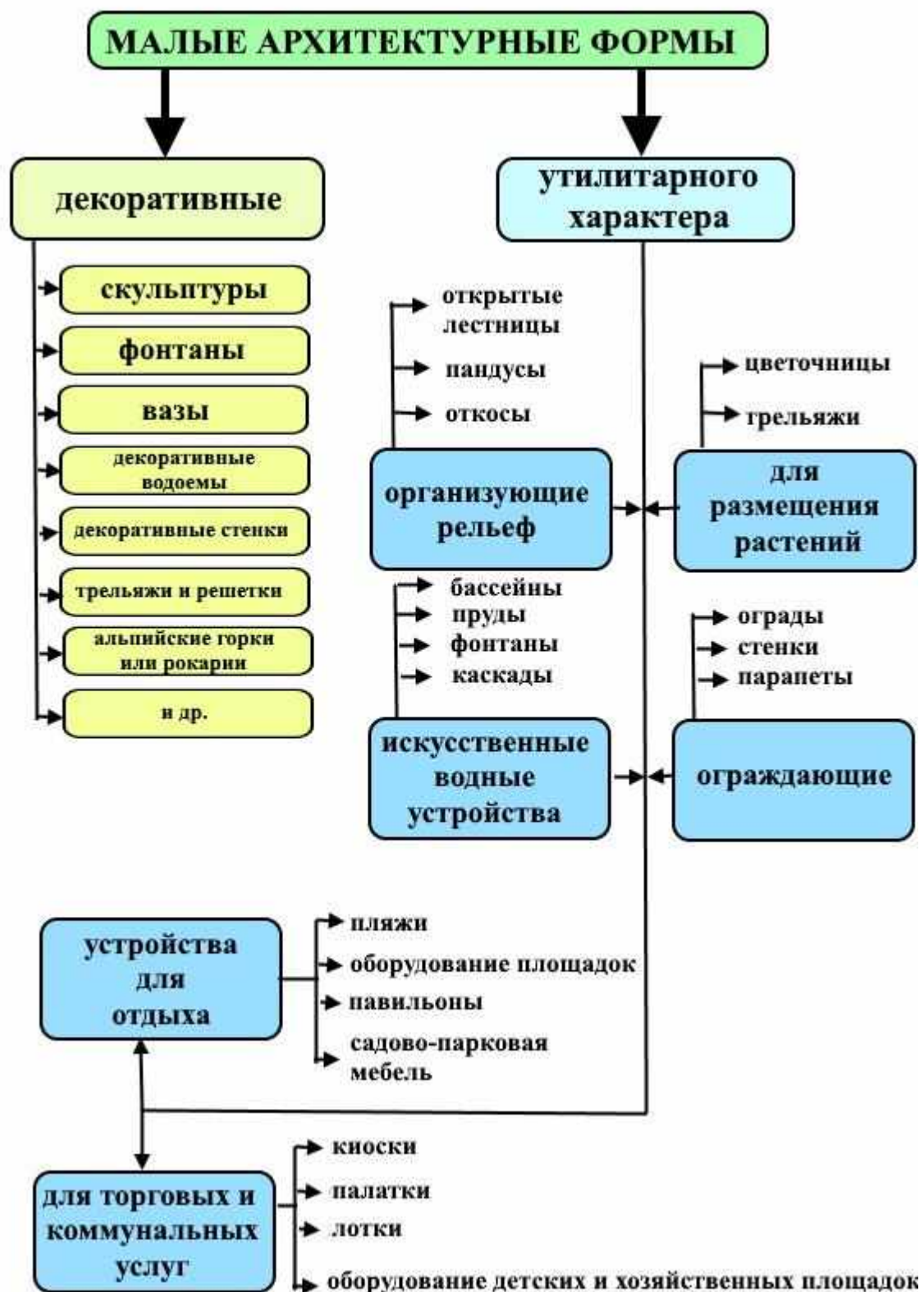


Рисунок 4.2 – Классификация малых архитектурных форм

Таким образом, композиты для малых архитектурных форм являются необходимыми и востребованными в современном мире. Однако для их создания необходима разработка и совершенствования составов композитов,

отличающихся от традиционных цементных и гипсовых материалов.

4.2 Принципы получения мелкозернистых бетонов на основе техногенного сырья

Важнейшей задачей строительной промышленности является изготовление строительных материалов, изделий и конструкций с применением экономичного, экологичного некондиционного сырья как природного, так и техногенного, включая отходы строительства и сноса (ОСС), после соответствующей переработки.

Перспективным направлением строительной промышленности является производство композитов с применением вяжущих органического и неорганического состава. Изготовление полиминеральных вяжущих с применением предварительно подготовленных отходов производства является эффективным и с экологической точки зрения (утилизация побочных продуктов), и с экономической (широкая местная сырьевая база). При этом, дальнейшее совершенствование технологии производства строительных композитов должно развиваться в направлении снижения энергетической емкости. Важнейшим шагом на этом пути может стать изучение возможности применения дробленого бетонного лома и отсевов кремнеземсодержащих горных пород.

Изучению вопросов применения техногенных вяжущих для производства высокоэффективных цементных материалов посвящены труды научных школ Ю.М. Баженова, П.П. Будникова, В.Д. Глуховского, Г.Р. Гоуда, В.Т. Ерофеева, П.Г. Комохова, В.С. Лесовика, Т.М. Петровой, Ю.В. Пухаренко, Д.М. Роя, В.И. Соломатова, С.В. Федосова и др. [42,139,293,337,468–478].

Применение местных сырьевых ресурсов техногенного происхождения дает возможность значительно расширить сырьевую базу для изготовления строительных материалов, уменьшить себестоимость изделий из них за счет снижения транспортных затрат, связанных с доставкой этих сырьевых

ресурсов, и минимизации дополнительных энергозатрат при добыче и обогащении в специальных карьерах, а также в связи с уменьшенной стоимостью самого техногенного сырья [42,243,337,476,479]. В этом случае исключается вероятность остановки технологического процесса из-за возможных перебоев с поставкой сырья готовых материалов и полуфабрикатов.

Весьма актуальными в настоящее время являются вопросы повторного применения строительных отходов, а также многотоннажных отходов переработки горных пород в качестве крупного заполнителя. Особую важность это приобретает для строительства в условиях крупных мегаполисов, в связи с нехваткой полигонов для накопления ОСС, особенно учитывая их экологическую опасность. Статистика [337–339, 480] гласит, что в Российской Федерации ежегодно формируются сотни миллионов тонн отходов строительства и сноса, из которых шестьдесят процентов составляет кирпичный бой и ж/б лом. Ежегодно темпы роста ОСС повышаются на 25%.

В среднем, в результате переработки ОСС образуется крупный и мелкий заполнитель в отношении 7:3. Полученный таким образом крупный заполнитель имеет огромный потенциал для применения в бетонах различных классов [480], а также и для других строительных применений (например, для подсыпки автодорог). Мелкий заполнитель характеризуется значительным наличием пылевидной фракции, что сужает область его применения, но, в частности, может быть использован для производства газо- и пенобетонных композитов [481].

Следует иметь в виду, что на отечественных бутощебеночных заводах ежегодно формируется не менее 50 млн м³ отсева [469,482]. Например, только на предприятиях строительной индустрии Чеченской Республики в результате переработки одного миллиона кубических метров горной породы ежегодно попутно формируется 300 тыс. м³ некондиционного отсева.

При этом, в современной отечественной строительной индустрии отходы камнедробления применяются в незначительном количестве из-за

отсутствия теоретической базы. В результате они накапливаются на отвалах дробильно-сортировочных предприятий, что приводит к росту запыленности атмосферы из-за наличия в его составе около трети каменной муки с размерами менее 0,16 мм.

Современные мировые научные тенденции вторичной переработки отходов предлагают ряд технологий их обогащения, фракционирования с целью отделения пылевидного отсева дробления путем отдельного использования полученных фракций [90,140, 340-341,483]. В частности, работы [59,90] доказывают, что полученный отсев имеет потенциал для применения в мелкозернистых бетонах не только как заполнитель, но и как наполнитель, обладающий вяжущими свойствами. В европейских странах при производстве строительных материалов используют десятки миллионов тонн отходов, в США – более 100 миллионов (таблица 4.1). При этом, ежегодно объем ОСС в мире увеличивается и составляет более 2 млрд т.

Таблица 4.1 – Рециклинг отходов строительства в европейских странах

Страна	ОСС, млн т	Повторно применяется, %
Германия	59	17
Великобритания	30	45
Франция	24	15
Нидерланды	11	90
Бельгия	7	87

В России повторно ОСС мало используется по той причине, что относительно незначительно изучены их составы и свойства. При этом, потенциал изготовления вторичных материалов растет ускоренными темпами, делая их серьезной альтернативой традиционным строительным материалам.

В трудах [90,488] перечислены варианты использования крупного заполнителя из переработанных фрагментов зданий и сооружений:

- основания полов и фундаментов;

- элементы дорожных покрытий, в т.ч. отсыпка дорожных одежд постоянных и временных дорог;
- монолитное бетонирование;
- при производстве бетонных и железобетонных изделий;
- подсыпка под пешеходные дорожки, автомобильные стоянки и различные асфальтированные площадки;
- ландшафтный дизайн;
- малые архитектурные формы.

В настоящее время мелкий заполнитель из переработанных фрагментов зданий и сооружений имеет достаточно ограниченные области использования для приготовления бетонов, вследствие наличия значительной части пылевидной фракции размерами не более 0,16 мм в его общем объеме. Эти отсеvy являются малоизученными, что отражается в скудной нормативно-регламентирующей документации.

В то же время использование некондиционного сырья такого типа, как техногенного, так и природного происхождения, имеет потенциал для применения в технологии бетонов, что позволяет снизить себестоимость готовой строительной продукции на 10 % с одновременным улучшением экологической обстановки и освобождением площади полигонов для хранения отходов строительства и сноса.

Перспективным направлением на пути решения этой проблемы, как полагает ряд исследователей [140,489], является обогащение некондиционных отходов дробления каменных материалов. Более того, согласно [90], отсев камнедробления даже без обогащения, в ряде случаев, может быть применен в бетонах и в растворах в качестве мелкого заполнителя, а также для изготовления полиминеральных вяжущих как наполнителя.

По мнению авторов, можно выделить следующие перспективные области применения мелкодисперсных смесей из отходов дробления горных пород [140]:

- компоненты вяжущего для изготовления цементных бетонов,

полимербетонов и полимерсиликатных материалов;

- изготовление полиминеральных вяжущих различной основы.

Авторы [489] предлагают обогащение отсеков камнедробления производить двумя методами – мокрым и сухим.

В технологии обогащения некондиционных отходов камнедробления «мокрым» способом выделяют следующие технологические операции:

- промывку исходных отсеков камнедробления на виброгрохоте с отделением частиц крупнее 0,5 см;
- удаление воды из некондиционных отходов в ковшовом классификаторе-обезвоживателе или в другом подобном механизме;
- поставку полученного крупного и мелкого заполнителя на песчано-щебеночный склад.

Технологические этапы установки для «сухого» обогащения некондиционных отходов камнедробления включает следующие этапы:

- высушивание отсеков дробления горных пород;
- отделение из данных отходов камнедробления частиц размером более 0,5 см;
- сухое извлечение мельчайших частичек из фракции размерностью < 5 мм;
- подачу полученных материалов в бункеры.

Для создания коммерчески эффективной технологической линии необходимым является возможность фракционирования мелкого заполнителя, что может быть осуществлено на основе действующей нормативно-технической документации [489,490]. Раздельное дозирование фракций при производстве бетонной смеси способно обеспечить постоянство зернового состава заполнителя. При этом в ряде случаев может происходить неоднородность фракций, что относит мелкий заполнитель данного генезиса к различным модулям крупности, а данные мелкие заполнители могут значительно отличаться пустотностью и удельной поверхностью (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Гранулометрический состав некондиционного сырья

Вид мелкого заполнителя	Модуль крупности	Полный остаток на сите с ячейками 0,63 мм, %
Повышенной крупности	3 – 3,5	65 – 75
Крупный	2,5 – 3	45 – 65
Средний	2 – 2,5	30 – 45
Мелкий	1,5 – 2	10 – 30
Очень мелкий	1 – 1,5	Менее 10

Полидисперсный обычный небогащенный отсев переработки горных пород при пересыпке, извлечении из бункеров, из-за осыпания откосов, при перемещении ленточными конвейерами расслаивается в соответствии с гранулометрией, лишая заполнитель товарных характеристик. Это подтверждает важность фракционирования отходов дробления и их отдельную транспортировку до конечных потребителей [140].

Эффективное фракционирование песка, позволяющее повысить качество композита и снизить расход портландцемента, включает в себя:

- 1) определение оптимальной технологии фракционирования;
- 2) создание условий эффективного использования отсевов из отходов переработки горных пород;
- 3) минимизация затрат за счет отдельного приема, складирования и дозирования различных фракций мелкого заполнителя.

Эта проблема может быть решена за счет разделения фракций в водной среде. Данная технология гидравлической классификации полидисперсных зерен основана на различной скорости оседания частиц с применением различных агрегатов [287]: гравитационных и центробежных.

Классификация отходов бетонных конструкций имеет важное значение для совершенствования технологии получения сырья и изготовления из него крупных и мелких заполнителей, и прежде всего, вторичного щебня и сопутствующего материала – мелкого отхода дробления, составляющего до трети, в зависимости от состава исходного бетона и его физико-механических свойств, вида измельчителя и т.д. Известный факт, что для создания

архитектурной выразительности строительных объектов большой потенциал имеют декоративные бетоны и другие виды отделочных строительных материалов с применением различных по цвету вяжущих, для применения в изготовлении малых архитектурных форм. В качестве заполнителей в бетонах таких типов могут использоваться специально произведенные декоративные мелкие и крупные заполнители из природного камня, и важно отметить, что в последние годы вместе с ними находят применение и отходы камнедробления.

Декоративные элементы, изготовленные с применением отходов дробления горных пород на вяжущем различного генезиса, находят широкое применение в ходе возведения и реконструкции различных культурных и общественных комплексов за счет того, что обладают набором улучшенных свойств: эстетической выразительностью и долговечностью, при этом, их изготовление не влечет за собой применения особого технологического оборудования и значительных энергозатрат.

В результате всестороннего анализа опыта применения природных и техногенных отходов (камнедробления и фрагментов разрушенных зданий) в производстве цементных композитов для малых архитектурных форм выявлено, что применение этих отсеков в промышленности строительных материалов с использованием энергетически эффективных технологий и особых приемов остается не до конца изученной областью в современной строительной индустрии.

4.3 Взаимосвязь компонентов состава мелкозернистых бетонов с их свойствами

Бетоны различной микроструктуры с применением цементных вяжущих и заполнителей из прочных горных пород на протяжении нескольких тысячелетий используются для изготовления армоцементных конструкций [500], растворов для закрепления грунтов [501] и для целого спектра применения в гражданском и специальном строительстве [502].

В ходе всестороннего обзора мировой научно-технической литературы

и проведения собственных экспериментальных исследований выявлено, что тонкодисперсные частицы различных отходов камнедробления формируют в цементном камне прочную структуру мелкозернистого конгломерата в результате снижения водовяжущего отношения и ускорения гидратационных процессов действием химических модификаторов. За счет рациональной технологической обработки оптимально подобранного состава на основе этих техногенных ресурсов разработаны мелкозернистые бетоны, обладающие необходимым набором физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик.

Как было установлено выше, до настоящего времени не полностью исследованы вопросы производства бетонов с применением отходов камнедробления и фрагментов разрушенных зданий. В немалой степени это связано с непостоянством состава и зависимостью от вида исходного сырья, его химического и минералогического состава, микроструктуры, загрязненности примесями (глина, ил и т.д.), содержащимися в некоторых отходах в большом количестве (до 7 %) и др. Современный технологический процесс отсевов камнедробления включает: отделение мелкодисперсных частиц; рассев отсевов на отдельные фракции, имеющие различные области применения; обогащение; промывка и т.д. Все эти процессы влекут за собой большую долю энергетических и трудовых затрат и капитальных вложений.

Результатами настоящей работы доказана возможность производства эффективных цементных материалов с применением некондиционных фракций, получаемых дроблением горных пород, которая не требует значительных затрат на их механоактивацию.

В работе проведено изучение бетонов, изготовленных с применением отходов камнедробления песчаника и известняка (рисунок 4.3), а также фрагментов разрушенных зданий.

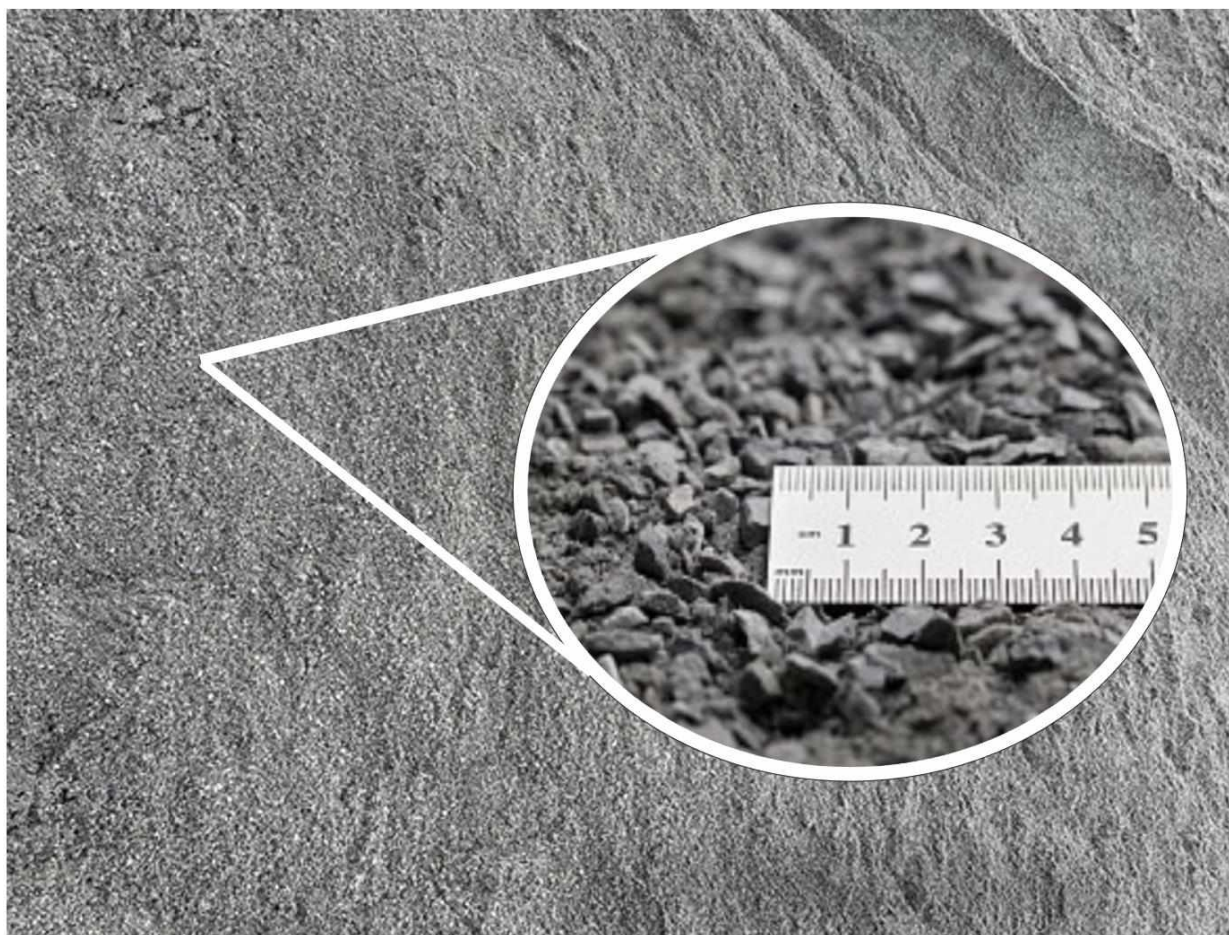


Рисунок 4.3 – Применяемые отсевы

На первом этапе решался вопрос о создании рецептуры равноподвижной бетонной смеси. Это связано с тем, что песчаная и пылеватая фракции в некоторой степени снижают подвижность. При этом, необходима оценка водоудерживающей способности, в том числе и для щебенистых фракций. В частности, в составах различных отсевов находится следующее количество частиц размерностью 5–10 мм: песчаника – 17,5%; известняка – 22 %; бетонного лома – 19 %.

Установлено, что столь высокое наличие фракции размерностью более 0,5 мм в обязательном порядке требует определения количества жидкой фазы, повышающегося за счет того, что мелкие техногенные частицы обладают повышенным водопоглощением, в том числе и за счет увеличившейся удельной поверхности заполнителя (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Характеристики щебеночной фракции из отходов дробления

Исходное сырье	Истинная плотность, $\rho_{ис}$, кг/м ³	Насыпная плотность, $\rho_{нас}$, кг/м ³	Пустотность, %	Водопоглощение, % по массе	Масса связанной воды, г/г	Количество несвязанной воды, г/г
Бетонный лом	2390	1310	46	0,100	0,120	0,020
Песчаник	2510	1330	47	0,124	0,145	0,021
Известняк	2380	1310	45	0,085	0,106	0,021

В результате доказано, что для одного и того же сырья водоудерживающая способность щебенистой фракции выше для мелкой, это связано с тем, что поры и микротрещины зерен щебня также впитывают определенную долю воды. Выявленная разница между массой жидкой фазы, связанной крупной фракцией, и ее водопоглощением является значением водоудерживающей способности мелкого заполнителя (таблица 4.3).

Экспериментально установлена следующая зависимость для расчета потребности в воде затворения мелкозернистых бетонных смесей с применением отсевов камнедробления:

$$V = V_{МДФ} \cdot МД^{\Phi} + V_{П} \cdot П + V_{Щ} \cdot Щ + НГ \cdot Ц; \quad (4.1)$$

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

С учетом зависимости (4.1) и данных таблицы 4.4 были получены бетонные экспериментальные композиты (таблица 4.5). При их изготовлении использовали отсевы вместе с отмучиваемыми составляющими. Выявлено, что их водоудерживающая способность практически достигает характеристик пылеватой фракции.

Таблица 4.4 – Характеристики исследуемых отсевов, имеющих потенциал применения для МАФ

Техногенный отсев	Водоудерживающая способность, г/г		
	$V_{МДФ}$	$V_{П}$	$V_{Щ}$
бетон	0,175	0,0140	0,120
песчаник	0,217	0,0185	0,145
известняк	0,154	0,0073	0,106

Установленная зависимость (4.1) была экспериментально проверена с применением стандартной методики определения удобоукладываемости смесей по ГОСТ 10181-2000. Определены параметры удобоукладываемости бетонных смесей, которые варьируются в небольшом диапазоне; смеси отвечают требованиям марок по удобоукладываемости от П1 до Ж1.

Это подтверждает практическую значимость и достоверность зависимости (4.1), которая может найти применение в ходе вычисления необходимого количества жидкой фазы при производстве бетонных смесей с применением отходов дробления природных и техногенных материалов без их обогащения и фракционирования.

Прочностные характеристики изучали на образцах-кубах с ребром 7,07 см (таблица 4.5).

Предел прочности композитов при сжатии резко уменьшается при росте относительного содержания отходов дробления. Данный факт объясняется увеличением в их составе количества пылеватых частиц, что влечет за собой рост водоцементного отношения и снижение процентного содержания вяжущего (рисунок 4.4).

Таблица 4.5 – Составы свойства разработанных композитов для МАФ

№ п/п	Применяемый отсев дробления (ОД)	Пропорция «цемент:отсев дробления»	Содержание в отсеке пылевидной, песчаной и щебеночной фракций			В/Ц	Удобоукладываемость бетонной смеси			Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут
			МД ^Ф	П _с	Щ		ОК, см	Ж, сек.	Марка	
1	Бетонный лом	1:1	0,16	0,65	0,19	0,355	–	8–10	Ж1	30,2
2		1:2				0,412	–	6–8	Ж1	25,1
3		1:3				0,475	1–3	–	П1	17,5
4		1:4				0,508	2–4	–	П1	12,4
5	Песчаник	1:1	0,18	0,63	0,19	0,376	1–2	–	П1	28,1
6		1:2				0,482	2–3	–	П1	21,8
7		1:3				0,578	2–4	–	П1	16,6
8		1:4				0,628	4–5	–	П1–П2	10,6
9	Известняк	1:1	0,15	0,64	0,21	0,334	–	8–10	Ж1	29,6
10		1:2				0,396	–	6–8	Ж1	23,8
11		1:3				0,453	1–3	–	П1	17,3
12		1:4				0,485	2–4	–	П1	11,3

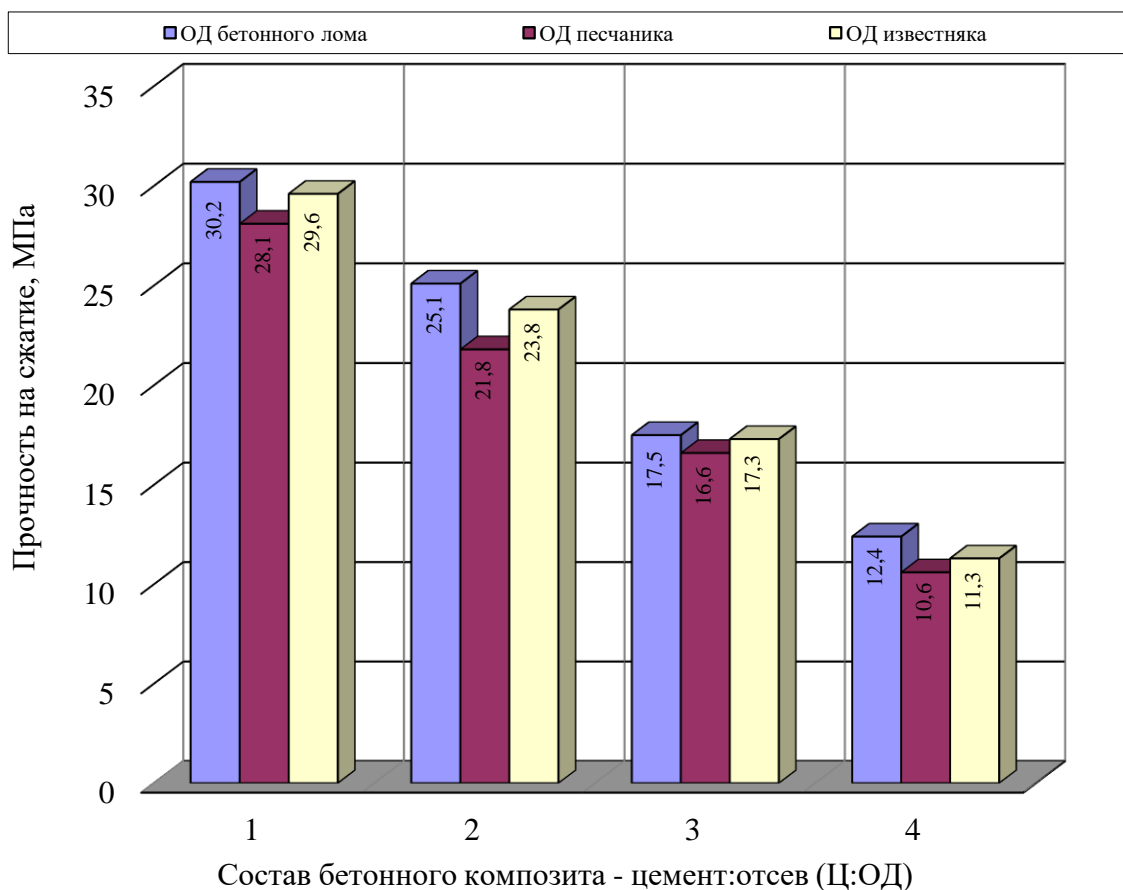


Рисунок 4.4 – Влияние содержания отсева дробления на прочность при сжатии композита

Выявлено, что прочность цементного камня с пылеватой фракцией песчаника и известняка с замещением до трети по массе практически одинаково низка, сопровождаясь при этом малоподвижностью исходных бетонных смесей. Соответственно, было запланировано добиться получения цементных материалов с улучшенными физико-механическими свойствами классов В25 – В30 с применением отходов дробления горных пород с соотношением компонентов Ц:ОД (цемент : отход камнедробления) 1:2 и 1:3 без предварительных операций по обогащению и разделению отсева на фракции, удаления отмучиваемой пылеватой фракции. В результате снижаются энергетическая емкость и трудовые затраты, и, естественно, себестоимость полученных материалов.

Это согласуется с ранее полученными результатами об экономической целесообразности применения бетонных композитов с соотношением

«портландцемент : мелкий заполнитель» в диапазоне 1:2 - 1:3 [157].

Проводилось изучение технологических этапов механической активации поверхности полученного заполнителя и бетонной смеси, не влекущих за собой существенных энергетических и трудовых затрат, а также влияния химических модификаторов (суперпластификаторов «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» и «БИО-НМ»).

Оптимизация и управление технологическими свойствами бетонных смесей возможны только при правильном проектировании реологических характеристик. Смесь исходных составляющих для малых архитектурных форм должна после затворения водой иметь максимальную водоудерживающую способность с одновременным обеспечением оптимальной вязкости, которая будет препятствовать относительно крупным частицам заполнителя оседать в вязущем растворе, приводя к его деформации. Образующаяся при этом седиментация частиц приведет к расслоению смеси и созданию в ней неоднородности [491].

В разработанных некондиционных заполнителях присутствует 13–19 % тонкомолотых частиц, представляющих собой песок мелкодисперсной фракции с размерами диаметром ниже 0,16 мм, который не выделяется в ходе процесса отмучивания.

Как было установлено ранее, водоудерживающая способность частиц смеси (в нашем случае, отхода дробления различного генезиса), влияет на ее водопотребность. При этом частицы размерностью в диапазоне 0,16–5,0 мм способны удержать только пленочную воду, а зерна меньшего размера – как пленочную, так и капиллярную жидкую фазу. Исследования свойств бетонных смесей проводились с использованием методик, применяющихся в почвоведении и механике грунтов [131,132], позволяющих определить количество связанной воды в дисперсных структурах. В частности, перспективными методами, способными дать ответы на поставленные вопросы, являются прессование и центрифугирование. В диссертации использовалась центрифуга с максимальной скоростью в районе 10000 мин⁻¹.

Исследуемые образцы изготавливались с применением песчаных фракций размерностью в диапазоне 0,16–5 мм, а также более тонких частиц и мелкодисперсных компонентов из отходов дробления бетонного лома, песчаника, известняка, гранита и кварцита. Значения удельной поверхности определялись для всех отсевов с применением стандартной методики.

При проведении экспериментальных испытаний исследуемые образцы размещались в закрытые стеклянные трубки диаметром 1,5 см. После чего их насыщали водой и фиксировали на центрифуге. Сам процесс центрифугирования характеризуется критерием Фруда по следующему выражению (4.2):

$$F = \frac{\pi^2 n^2 R}{g}, \quad (4.2)$$

в котором R – радиус барабана центрифуги (0,25 м); g – ускорение свободного падения, м/с²; n – частота центрифуги, Гц.

Выявлено изменение в широком интервале массы связанной воды в результате центрифугирования песчаными частицами (0,0073–0,0185 г/г). При этом, пустотность исследуемых отходов дробления варьируется в диапазоне 42–51 %, а удельная поверхность – 10,4–14,6 м²/кг (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Водоудерживающая способность различных отсевов дробления

Исходное сырье	Фракция отсева	Истинная плотность, $\rho_{ис}$, кг/м ³	Насыпная плотность, $\rho_{нас}$, кг/м ³	Пустотность, %	Масса связанной воды, г/г	Удельная поверхность S_0 , м ² /кг
Бетонный лом	песчаная	2400	1480	43	0,0140	12,1
	пылеватая	2320	1800	18	0,1750	151
Песчаник	песчаная	2530	1470	42	0,0185	14,6
	пылеватая	2410	2010	17	0,2170	154
Известняк	песчаная	2390	1170	51	0,0073	10,4
	пылеватая	2270	1790	21	0,1540	131

Максимальное количество пылеватых частиц (0,08–0,2 частей в единице массы отсева) отмечается для композитов с применением отсевов камнедробления из смесей с соотношением компонентов цемент: отход дробления = 1:2; 1:2,5 и 1:3.

Известно, что введение в состав наполненного композита тонкомолотых минеральных частиц различного генезиса и размерности приводит к улучшению его прочностных свойств. Это связано с тем, что применение тонкомолотых минеральных компонентов приводит к синергетическому эффекту: образованию дополнительных центров кристаллизации и росту физико-механических свойств твердеющего цементного материала за счет высвобождения дополнительной энергии на поверхностях мелких частиц отсева дробления [492,493].

В диссертации изучение влияния пылевидной фракции ($MД^Ф$) отсевов в количестве 0–30 % от массы цемента на свойства композита для малых архитектурных форм проводилось на образцах 40×40×160 мм. При этом консистенция цементной пасты определялась в соответствии с ГОСТ 6139 при В/Ц = 0,4. Данное водоцементное отношение для исследуемой смеси с содержанием пылевидной фракции отсевов позволило достичь значения расплыва конуса в диапазоне 106–115 мм. Смешивание сырьевых компонентов осуществлялось в лабораторной растворной мешалке ЛРМ-15 на протяжении 60 сек. Отформованные образцы уплотнялись по стандартной методике на виброплощадке СМЖ-739 ($A = 0,35–0,5$ мм) на протяжении трех минут. При этом, в ходе уплотнения бетонной смеси водоотделение визуально не наблюдалось. Твердение изготовленных образцов осуществлялось в ваннах с гидрозатвором в нормальных температурно-влажностных условиях (таблица 4.7).

Установлено отсутствие значительных различий в скорости упрочнения цементного материала с использованием отсева дробления горных пород в нормальных условиях для различного сырья отсева. Повышение содержания пылеватого отсева снижает прочность цементного камня, из-за того, что

значение В/Ц превосходит значение нормальной густоты цементного теста, даже если В/Т смеси ниже, чем НГ. В частности, в смеси с 20 % пылеватой фракции от массы вяжущего водотвердое отношение составляет 0,10 (нормальная густота вяжущего – 0,25), а водоцементное отношение этой смеси составляет 0,44. Это приводит при росте количества тонких частиц размерностью < 0,16 мм в цементном камне к снижению прочностных свойств (рисунок 4.5).

Таблица 4.7 – Результаты динамики упрочнения разработанных композитов

Соотношение сырья вяжущего			$B/C/V/T$	Прочность $R_{СЖ} / R_{ИЗГ.}$ (МПа) образцов в возрасте (сут.)				
Ц	$MД^Ф$			1	3	7	14	28
	Отход	Содержание						
1,0	-	-	0,40/0,10	11,7/1,5	24,2/4,0	31,3/5,2	39,9/7,3	52,6/8,4
1,0	бетона	0,1	0,42/0,10	9,2/-	22,0/3,6	28,9/4,8	36,8/6,1	48,3/8,2
		0,2	0,44/0,10	8,0/-	21,6/3,1	25,4/4,2	31,9/5,2	43,0/7,5
		0,3	0,46/0,11	6,8/-	18,4/2,5	22,2/3,6	28,8/4,7	40,1/6,1
1,0	песчаника	0,1	0,42/0,10	8,1/-	21,0/3,0	27,1/4,1	34,0/4,9	45,1/7,8
		0,2	0,44/0,10	6,4/-	19,2/2,4	23,1/3,0	28,6/4,1	39,8/6,8
		0,3	0,46/0,11	4,8/-	15,0/1,5	19,8/2,2	24,5/3,0	34,6/5,5
1,0	известняка	0,1	0,42/0,10	8,1/-	18,8/3,0	26,4/3,9	30,0/4,7	43,3/6,9
		0,2	0,44/0,10	6,1/-	17,6/2,3	21,4/3,3	27,3/4,3	36,2/5,2
		0,3	0,46/0,11	5,5/-	14,2/1,8	17,4/2,6	24,1/3,3	32,6/4,3

При равном содержании различных пылевидных отсеков марочная прочность цементного камня максимально повышается с введением известняковых материалов к цементу, а минимально – материалов от рециклинга бетона.

Полученные результаты объясняются составом отсева дробления отходов сноса. Его химическая неоднородность способствует замедлению реакций взаимодействия с клинкерными минералами. В таблице 4.8

приведены результаты химического анализа исследуемых отсевов.

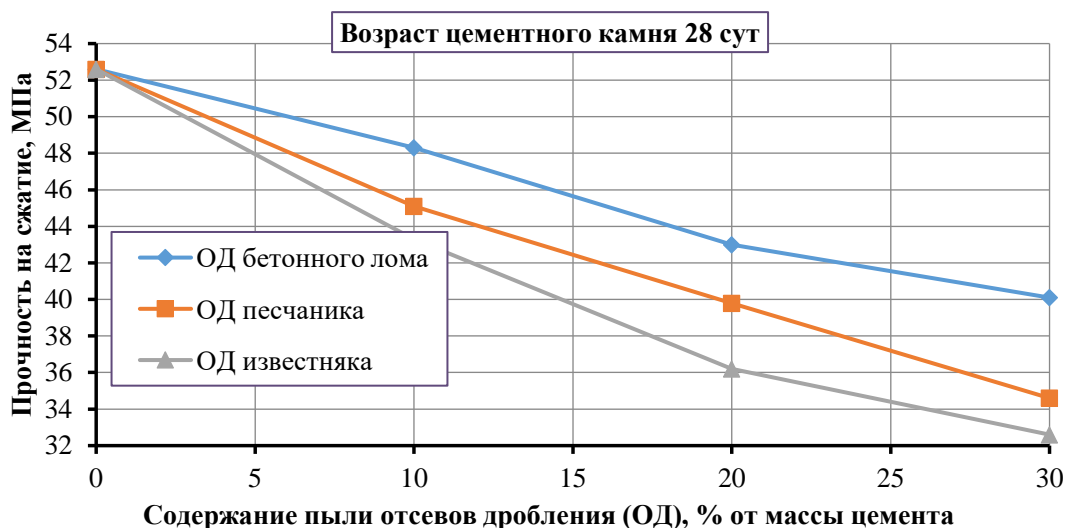


Рисунок 4.5 – Влияние содержания пылевидной фракции отсева на прочность при сжатии цементного камня

Таблица 4.8 – Химический состав отсева дробления

Оксидный состав	Содержание, %		
	песчаника	известняка	молотого бетона
Диоксид кремния	98,250	0,560	51,400
Оксид кальция	0,025	55,600	35,230
Оксид алюминия	0,340	0,920	5,010
Оксид железа	0,200	0,230	3,720
Оксид калия	0,057	–	1,500
Оксид магния	0,017	1,110	1,250
Оксид серы	–	–	0,600
Оксид натрия	0,130	–	0,510
Диоксид титана	0,017	–	0,310
Оксид марганца	–	–	0,087
Другое	0,832	0,778	0,291
Потери при прокаливании	0,130	40,800	0,100

Негидратированная часть исходного цемента в бетонном ломе составляет около 5–7 % по массе, что имеет перспективы повторного вовлечения в строительное производство в виде бетонной пыли для

производства композитов для малых архитектурных форм.

Исследование слабоявляющих свойств пылеватой фракции различных отсеков (бетонного лома и кварцита) подтвердило наличие высокого числа активных кислотных центров на поверхности вводимых полиминеральных добавок, в результате чего композит насыщается протонами H^+ , интенсифицирующими процесс гидратации клинкерных минералов. В дополнение к этому, увеличенная орбитальная электроотрицательность данных кислотных центров обеспечивает разнофазное сцепление и формирование высокопрочных кристаллогидратов.

Широко известный факт, что прочностные свойства, характеризующие сцепление плотных природных заполнителей с вяжущей матрицей, достаточно низки ($1/3 - 2/3$ от прочности цементного камня при растяжении). На данные свойства сцепления вяжущей матрицы с заполнителем влияет вид природного материала: для кварцитового или гранитного заполнителя прочность на отрыв гораздо больше, чем для композитов с известняковым или песчаниковым заполнителем, т.е. напрямую связана с прочностью самой горной породы [498,499].

Адгезия (сцепление) является важнейшим параметром, определяющим прочность контакта в системе «цементный камень – заполнитель». Межфазная переходная зона характеризуется сложнейшим комплексом, включающим диффузионные, адсорбционные и электрические процессы и явления, определяющие сцепление, а также химическое взаимодействие, приводящее к формированию новых веществ, увеличивающих адгезионные характеристики композита.

Кварцевые компоненты проявляют определенную активность по отношению к продуктам гидратации клинкерных минералов за счет потенциала адсорбировать $Ca(OH)_2$ с формированием кристаллогидратов CSH(I). Помимо этого, кремнеземсодержащие заполнители реагируют с гидросиликатными, алюминатными и ферритными клинкерными минералами с формированием гидрогранатов. На поверхности кварцевых частиц образуется, кроме того,

продукт реакции алита с гипсом – этtringит [496].

Таким образом, доказано, что процессы в межфазной переходной зоне «цементный камень – заполнитель» приводят к повышению прочности границы их сцепления.

Указанные предпосылки служат научным обоснованием упрочнения цементной матрицы, содержащей в твердеющей системе пылевидную фракцию бетонного лома и песчаника (оба отхода характеризуются наличием достаточно большого количества диоксида кремния). Цементная матрица, характеризующаяся добавлением пыли известняка, обладает пониженными прочностными показателями по сравнению с предыдущими двумя вариантами.

Мелкодисперсный мелкий известняковый заполнитель, добавляемый в цементные растворы, снижает их водоотделение, водопотребность и сегрегацию. Цементная матрица с содержанием до 20 % пыли мелкодисперсного карбонатсодержащего сырья не показывает значительного уменьшения прочности. Позитивный эффект известняковых добавок связан с их определенной активностью, что дает им возможность реагировать с портландцементом, участвуя в управлении процессами структурообразования цементной матрицы.

Экспериментальным путем выявлено, что карбонатсодержащая пыль имеет более низкий водоудерживающий потенциал, чем пылеватые отсеvy других горных пород, что влечет за собой снижение водотвердого отношения в равноподвижных наполненных цементных растворах. Позитивное влияние снижения водопотребности подтверждают результаты, приведенные в современных научных публикациях, например, в [494].

В то же время результаты, полученные в рамках настоящего диссертационного исследования по изучению физико-механических свойств цементного камня, содержащего пылеватую фракцию отсеvов дробления горных пород, не коррелируют с данными, приведенными в [494]. В частности, прочностные свойства всех разработанных композитов при добавлении в

цементные системы пылевидных отсеков различных горных пород в количестве до трети по массе заметно снижается. Это несоответствие может быть объяснено тем, что в исследовании [494] изучались тонкомолотые известняковые частицы, обладающие удельной поверхностью $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$, а в диссертации эмпирические результаты получены с применением пылевой фракции известняка с удельной поверхностью на уровне $130 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Таким образом, видя перспективность применения пылеватых частиц всех исследованных отсеков и учитывая, что эти тонкие фракции в определенной степени уменьшают значения прочностных свойств цементного камня, появляется необходимость создания методики улучшения физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик композитов с минимизацией энергетических и трудовых затрат.

В ходе проведения диссертационных исследований изучено влияние водоредуцирующих химических модификаторов на различные характеристики цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм.

Исследуемыми водопонизителями являлись:

– жидкий суперпластификатор «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ», изготовленный по техническим условиям ТУ 5745-001-63506120-2009 (ООО «Альянс - Строительные Технологии»);

– сухой минерально-химический модификатор «БИО-НМ», изготовленный по техническим условиям ТУ 58 7000-001-58690085-03 («БИОТЕХ», г. Москва).

Для данных добавок исследуемыми целевыми характеристиками были:

– водопонижающий потенциал при поддержании неизменной цементопотребности расхода цемента и равноподвижности смеси (фактически это определяется возможностью уменьшения значения В/Ц);

– потенциал пластифицирования с неизменным расходом цемента и воды;

– цементоемкость – потенциал уменьшения содержания клинкерной составляющей с поддержанием неизменных значений В/Ц и удобоукладываемости бетонной смеси.

Исследования осуществлялись по стандартной методике ГОСТ 30459-96.

Дозировка модификатора «БИО-НМ» принималась в массовой доле в диапазоне 1,5–3 % по портландцементу, а «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» –0,25 % от массы цемента.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы в эмпирических исследованиях применялся портландцемент Чири-Юртовского производства. Смешивание компонентов осуществлялось с применением лабораторного смесителя РМ-1А. При этом, осуществлялось дозирование воды затворения в соответствии с ГОСТ 23732 до достижения значения осадки конуса исследуемой бетонной смеси с пропорциями цемента и песка 1:3 на уровне 1–5 см (что соответствует марке П1). Твердение осуществлялось в естественных условиях.

Таблица 4.9 суммирует составы и свойства испытанных бетонных композитов.

Выявлено, что добавление химических модификаторов «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» и «БИО-НМ» в сырьевую смесь привело к уменьшению водосодержания в композитах из тонкомолотых фракций бетонного лома с 231 до 178 л/м³, т.е. практически на четверть. Одновременно с этим, прочностные свойства повышаются более, чем в два раза (с 8 до 17 МПа) в возрасте 7 сут и на треть (с 17 до 22 МПа) в возрасте 28 сут.

Таблица 4.9 – Составы и свойства испытанных бетонных композитов

№ состава	Отсев дробления	Содержание компонентов, кг/м ³			Содержание химических модификаторов, % от массы цемента		Водо-цементное отношение	Осадка конуса, см	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут			
		Ц	ОД	В	«АрмМикс СУПЕР-ПЛАСТ»	«БИО-НМ»			3	7	14	28
1	бетонного лома	480	1421	231	-	-	0,48	2	4,8	8,6	13,4	17,5
2		480	1480	217	0,1	-	0,45	2	5,5	13,3	15,8	18,7
3		480	1507	203	0,15	-	0,42	3	6,1	14,8	16,9	20,1
4		480	1528	182	0,25	-	0,38	3	6,8	16,1	18,5	22,1
5		480	1540	172	0,3	-	0,36	2	6,6	15,8	16,9	20,5
6		480	1485	215	-	1,5	0,45	1	5,5	13,2	16,3	19,9
7		480	1524	185	-	2	0,38	2	7,2	15,5	17,7	21,3
8		480	1539	178	-	3	0,37	1	5,0	13,8	17,5	20,5
9		480	1504	206	0,1	0,5	0,43	3	5,8	15,0	16,9	19,2
10		480	1543	173	0,1	1	0,36	1	6,2	15,9	19,2	23,3
11		480	1545	163	0,2	1	0,34	3	6,0	16,8	18,9	21,0
12	песчаника	480	1392	278	-	-	0,58	4	3,2	6,0	10,6	16,6
13		480	1456	230	0,25	-	0,48	3	4,6	11,5	15,5	20,1
14		480	1445	235	-	2	0,49	5	4,8	12,2	14,9	19,9
15		480	1457	233	0,1	1	0,48	4	4,4	11,4	16,1	18,6
16	известняка	480	1473	216	-	-	0,45	1	3,9	7,4	12,4	17,3
17		480	1518	175	0,25	-	0,36	4	5,1	14,1	16,6	20,5
18		480	1525	173	-	2	0,36	3	5,6	14,3	15,1	21,4
19		480	1521	170	0,1	1	0,35	3	5,2	15,2	17,7	21,3

Исследован эффект комплексных пластифицирующих химических модификаторов АрмМикс СУПЕРПЛАСТ + БИО-НМ в различных дозировках на физико-механические свойства цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм. В частности, самой эффективной стала смесь АрмМикс СУПЕРПЛАСТ + БИО-НМ = 0,1+1,0 % (рисунки 4.6, 4.7).

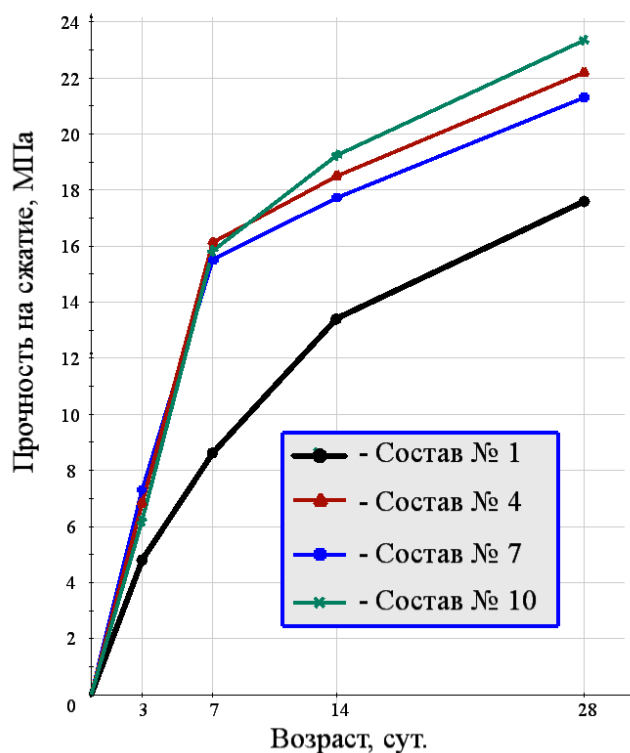


Рисунок 4.6 – Влияние вида водоредуцирующих химических модификаторов на прочностные свойства композиционных материалов (составы по таблице 4.9)

Рост дозировки обоих видов добавок уменьшает значения прочностных свойств и ускоряет схватывание цементного теста.

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 сут и 23 МПа в возрасте 28 сут, т.е. также на треть.

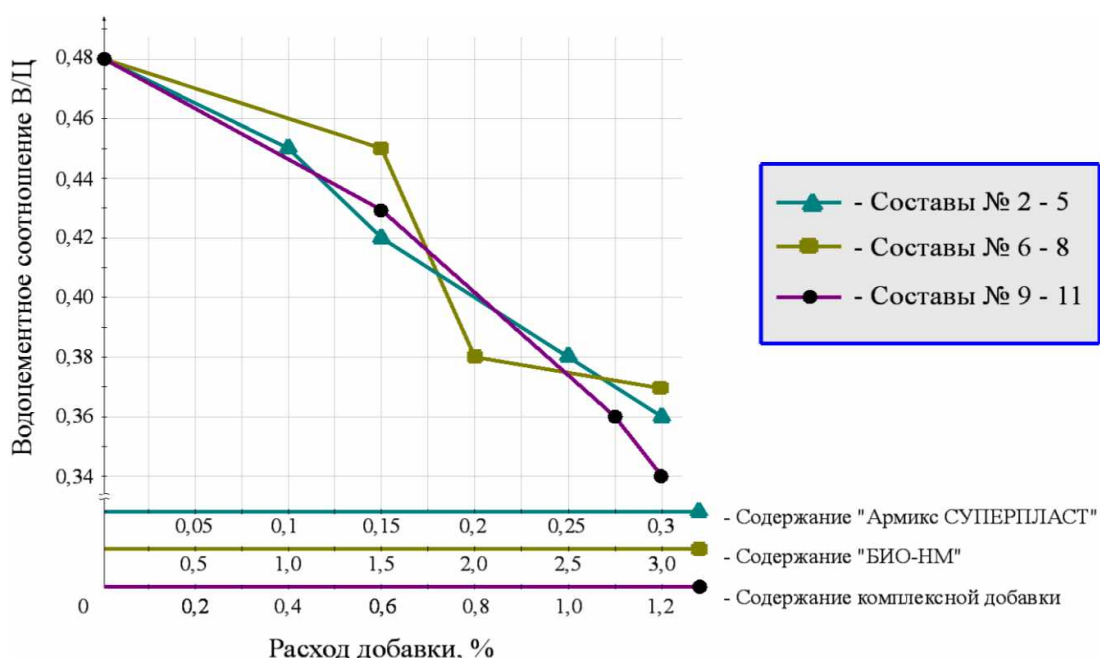


Рисунок 4.7 – Влияние дозировок химических водоуплотнителей на В/Ц (составы приняты по таблице 4.9)

Эмпирические исследования мелкозернистых композитов состава с соотношением 1:3 выявили, что прочность, в сравнении со стандартным тяжелым бетоном, растет до двух раз (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Зависимость вида и дозировки пластификаторов и механоактивации вяжущего на прочность при сжатии

№ состава	Материал мелкого заполнителя	Добавка, % от массы Ц		В/Ц	Прочность при сжатии, МПа (28 сут)	
		«АрмМикс СУПЕР-ПЛАСТ»	«БИО-НМ»		без механоактивации	при механоактивации
1	Отсев	–	–	0,48	17,5	25,8
2	дробления	0,25	–	0,38	22,1	28,7
3	бетонного	–	2	0,38	21,3	27,7
4	лома	0,1	1	0,36	23,2	28,3

Установлены как водоредуцирующий, так и клинкеросберегающий эффекты в образцах, использующих ОСС и химические модификаторы «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» и «БИО-НМ».

Максимальный эффект пластифицирования с сохранением заданных

целевых прочностных свойств выявлен за счет применения пластификатора «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» с осадкой конуса на уровне 22–23 см, в то время как «БИО-НМ» уменьшал ОК лишь до значений 18–20 см. Подобный эффект достигается благодаря механизму пластифицирования добавки «БИО-НМ», направленному на уплотнение и повышение прочностных свойств и характеристик долговечности модифицированных композитов для малых архитектурных форм (таблица 4.11).

Выявлено, что рост дозировки до 0,25–0,3 мас. % для «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» и 2–3 % по массе для «БИО-НМ» способствует малому увеличению осадки конуса с падением прочностных свойств затвердевшего материала, что говорит о нерациональности последующего повышения содержания пластифицирующих добавок (рисунок 4.8).

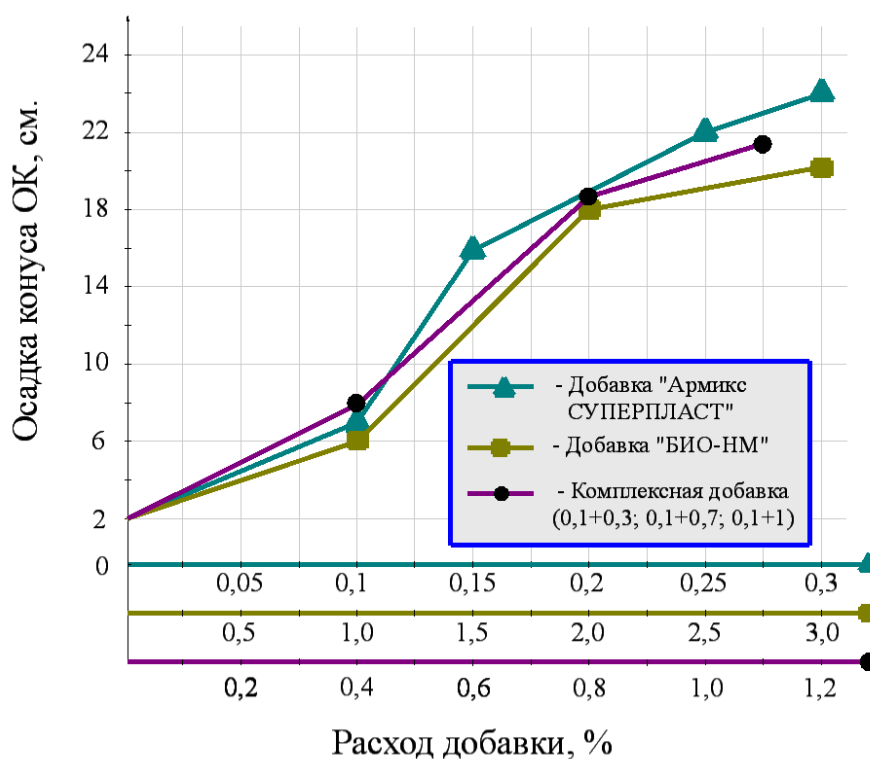


Рисунок 4.8 – Зависимость пластифицирующего эффекта от дозировки модификаторов

Таблица 4.11 – Водоредуцирующий и клинкеросберегающий эффекты в образцах, использующих ОСС и химические модификаторы

№ п/п	Заполнитель	Состав, кг/м ³			Химические модификаторы, % по массе цемента		Водоцементное отношение	Осадка конуса, см	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут,
		Ц	ОД	В	«АрмМикс СУПЕРПЛАСТ»	«БИО-НМ»			
Водоредуцирующий эффект									
1	Отсев дробления бетонного лома	480	1485	231	–	–	0,48	2	17,5
2					0,1	–		7	18,0
3					0,15	–		16	17,2
4					0,25	–		22	17,8
5					0,30	–		23	17,0
6					–	1		6	18,0
7					–	2		18	18,3
8					–	3		20	16,6
9					0,1	0,3		8	17,7
10					0,1	0,7		19	18,0
11					0,1	1		21	17,0

Продолжение таблицы 4.11

№ п/п	Заполнитель	Состав, кг/м ³			Химические модификаторы, % по массе цемента		Водоцементное отношение	Осадка конуса, см	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут,
		Ц	ОД	В	«АрмМикс СУПЕРПЛАСТ»	«БИО-НМ»			
Клинкеросберегающий эффект									
12	Отсев дробления бетонного лома	480	1485	231	–	–	0,48	2–4	17,5
13		473	1550	227	0,05	–			16,0
14		440	1590	211	0,15	–			17,2
15		425	1612	204	0,25	–			18,2
16		422	1618	202	0,30	–			16,8
17		471	1553	226	–	0,5			15,0
18		435	1600	209	–	1,5			16,7
19		415	1632	199	–	2,5			19,0
20		411	1635	197	–	3,0			18,5
21		470	1554	226	0,05	0,15			17,9
22		438	1605	210	0,1	0,5			16,0
23		419	1625	201	0,1	1,0			17,8
24		417	1630	200	0,2	1,0			18,0

Также установлено, что применение добавок данного типа дало возможность снизить расход вяжущего без падения прочностных свойств по сравнению с контрольным составом приблизительно на 20–30 %. Максимальный эффект экономии клинкерной составляющей достигается применением минерально-химического модификатора «БИО-НМ» (рисунок 4.9).

В результате установлено, что химические пластифицирующие модификаторы «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» и «БИО-НМ» являются эффективными для обеспечения водопонижающего действия и для создания «зеленых» материалов (экономия клинкерной составляющей).

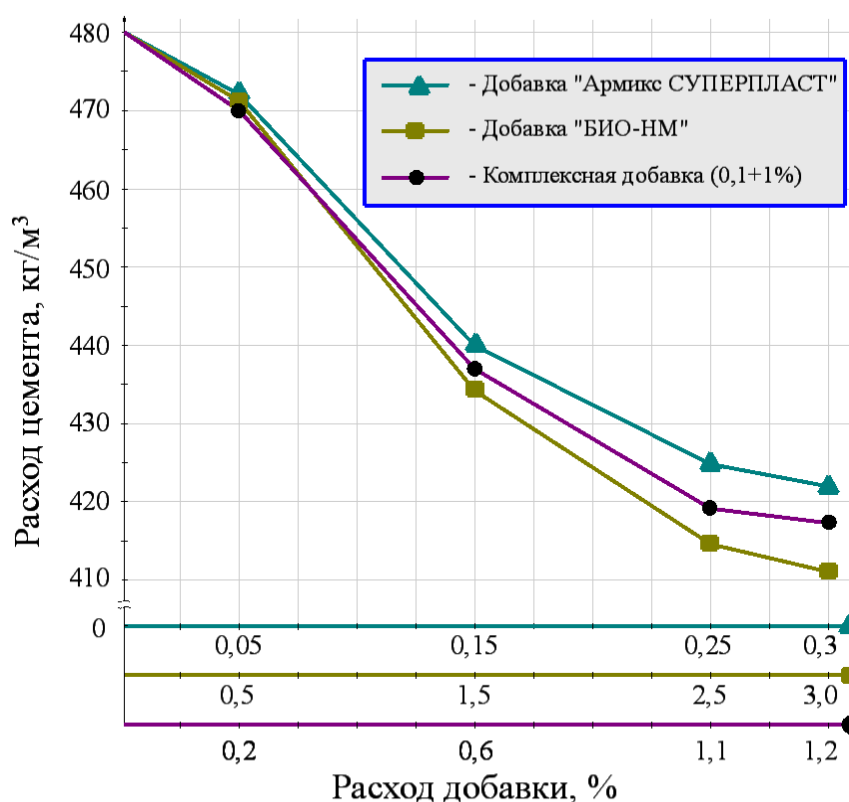


Рисунок 4.9 – Зависимость содержания портландцемента от расхода пластификаторов

Таким образом, оба химических модификатора (в том числе и при совместном применении) являются эффективными в позициях экономичности, экологичности, энергосбережения и ресурсосбережения с сохранением необходимых целевых характеристик цементных материалов, что делает их перспективными для монолитного и сборного бетонирования.

Главной причиной малой прочности цементных композиционных материалов на базе необогащенных отсевов служит большое наличие в них пылеватой фракции, как отмучиваемой, так и неотмучиваемой.

Пылевидные частицы, аккумулируясь на поверхностях отсева, отрицательно влияют на процессы, протекающие в контактной зоне между вяжущей частью и заполнителем.

В настоящей работе предлагается повысить эффект механической активации в результате двухэтапного перемешивания исходного сырья. В миксер грузилось определенная часть отсева дробления, выполняющего функцию мелкого заполнителя, а также потребное количество воды затворения. По истечении одноминутного смешивания в миксер добавлялась необходимая доля портландцемента и перемешивалась далее в течение одной минуты.

Полученная таким образом бетонная смесь использовалась для изготовления кубических образцов с ребром 70 мм, которые, в свою очередь, испытывались в возрасте 28 сут для изучения прочностных свойств. Отношение Ц:ОД принималось 1:2, 1:3 и 1:4.

В результате отдельного перемешивания компонентов удалось увеличить физико-механические свойства композитов почти на 25%. Установлено, что на этот рост влияет процентное соотношение мелкодисперсной фракции заполнителя и практически не влияет вид материала от рециклинга различного техногенного сырья.

Тонкозернистые композиционные материалы, изготовленные из смеси портландцемента с отсевом дробления в пропорции 1:3, показали повышение значений физико-механических свойств, в случае использования предлагаемого способа механоактивации (таблица 4.12):

– с материалом от рециклинга бетона (с массовой долей пылевидных частиц - 16 %) – на 23 %;

– с отходом дробления известняковых горных (с массовой долей пылевидных частиц - 10 %) – на 15 %.

Таблица 4.12 – Физико-механические свойства разработанных цементных композиционных материалов

№ состава	Материал от рециклинга	Пропорция «портланд-цемент: отсев дробления»	Водоцементное отношение	Прочность при сжатии (28 сут), МПа		Упрочнение в результате механической активации, %
				Без механоактивации	С механоактивацией (раздельное перемешивание компонентов)	
1	бетона	1:2	0,392	25,1	28,1	12
2		1:3	0,455	17,5	21,5	23
3		1:4	0,488	12,4	15,4	24
4	песчаника	1:2	0,482	21,8	24,2	11
5		1:3	0,578	16,6	20,6	24
6		1:4	0,628	10,6	13,0	23
7	известняка	1:2	0,396	23,8	25,7	8
8		1:3	0,453	17,3	19,9	15
9		1:4	0,485	11,3	12,5	11

Установлено, что при повышении отношения «портландцемент:отсев дробления» с 1:2 до 1:4 происходит упрочнение для всех видов отсевов дробления, т.е. решающим фактором на повышение физико-механических свойств разработанных цементных композитов здесь оказывается массовая доля пылеватых частиц. К примеру, у материалов от рециклинга бетона при повышении отношения «портландцемент : отсев дробления» с 1:2 до 1:4 происходит упрочнение от 12 % до 24 %, т.е. механоактивационный эффект возрастает с повышением количества пылеватой фракции.

Выявлено, что раздельное смешивание компонентов (механическая активация поверхности зерен отсева) при Ц: ОД = 1:3 повышает потенциал роста прочностных свойств цементного композиционного материала 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 с водой мелкофракционный отсев переходит во взвешенное состояние (рисунок 4.10).

Широко известный факт, что частица SiO_2 при формировании суспензий в водной среде образуют стабильные комплексы, в которых мелкие фракции медленно оседают на поверхностях твердых тел, т.е. в разработанных композитах на поверхности материалов от рециклинга бетона. При дальнейшем добавлении в эту систему вяжущих компонентов и последующем перемешивании вяжущие частицы переходят в жидкофазные взвеси. В связи с тем, что пылеватые фракции формируют агрегатные системы, осуществляется их перераспределение между вяжущими компонентами. Поэтому на поверхностях частиц заполнителя аккумулируются вяжущего компоненты с распределенными между ними пылеватыми частицами.

В результате реализации вышеприведенного механизма, пылеватая фракция включается в цементный камень, не допуская механически не связанных контактных переходных областей между цементной матрицей и зернами отсева, приводящих к падению прочностных свойств материала. Поэтому актуальной задачей является создание и использование особых

технологий уплотнения, что приведет к созданию композитов на небогатых отсевах дробления с прочностью при сжатии до 30 МПа.

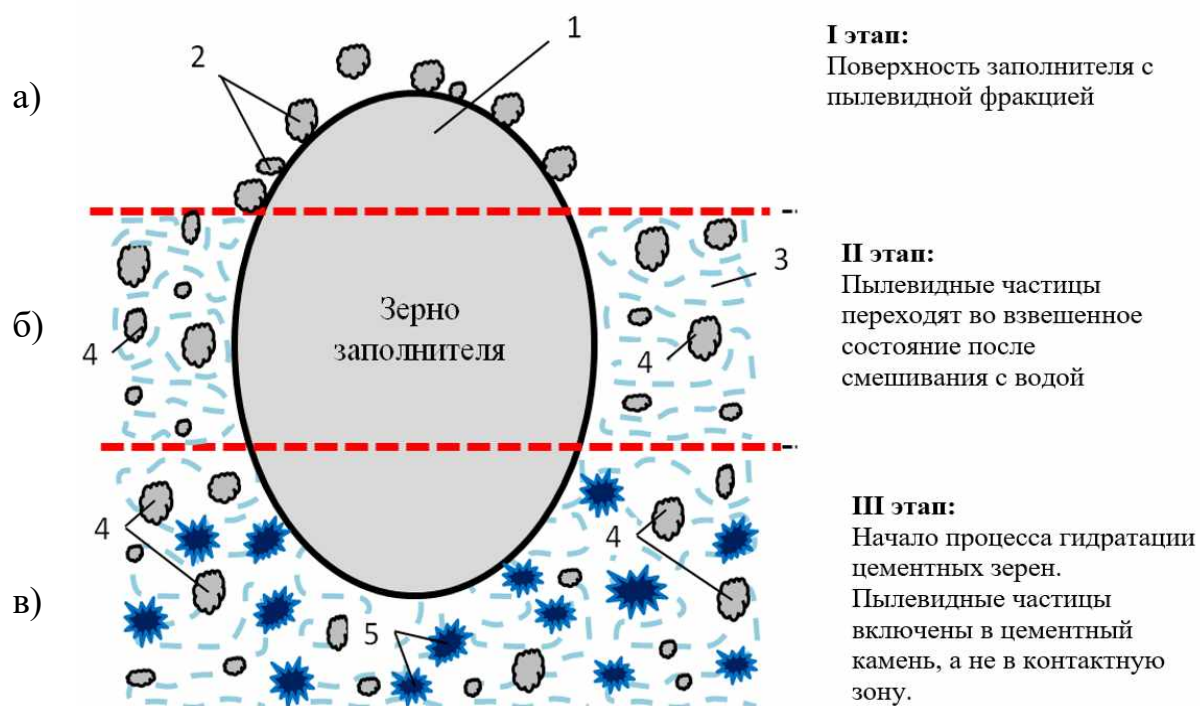


Рисунок 4.10 – Эффективность раздельной технологии перемешивания сырьевых компонентов бетонной смеси:

а – до смешивания с водой; б – после смешивания с водой; в – повторное смешивание с цементом; 1 – заполнитель; 2 – пылеватая фракция; 3 – вода; 4 – взвеси; 5 – цементные зерна

Решение поставленной задачи осуществлялось путем создания в соответствии с принципиальной схемой (рисунок 4.11) поличастотной вибрационной установки на основе лабораторной вибрационной площадки с дополнительным вибрационным возбудителем. Предлагаемая конструкция имеет отличия от аналога [503], так как в данном случае не предусмотрено создание дополнительного давления на уплотняемую смесь.

Из разработанных композиционных цементных материалов для малых архитектурных форм, изготовленных раздельным смешиванием компонентов, приготавливали экспериментальные кубические образцы с ребром 100 мм, уплотненные на модифицированной поливибрационной установке.

Преимущества усовершенствованной установки заключаются в том, что помимо вибрации лабораторной площадки с частотой 48 Гц и амплитудой $A=0,5$ мм, на бетонную смесь сверху оказывает механическое воздействие дополнительно установленный вибрационный возбудитель, создающий более высокую частоту колебаний - 133 Гц с амплитудой 0,35 мм. Время такого совместного уплотнения - 40–50 с.

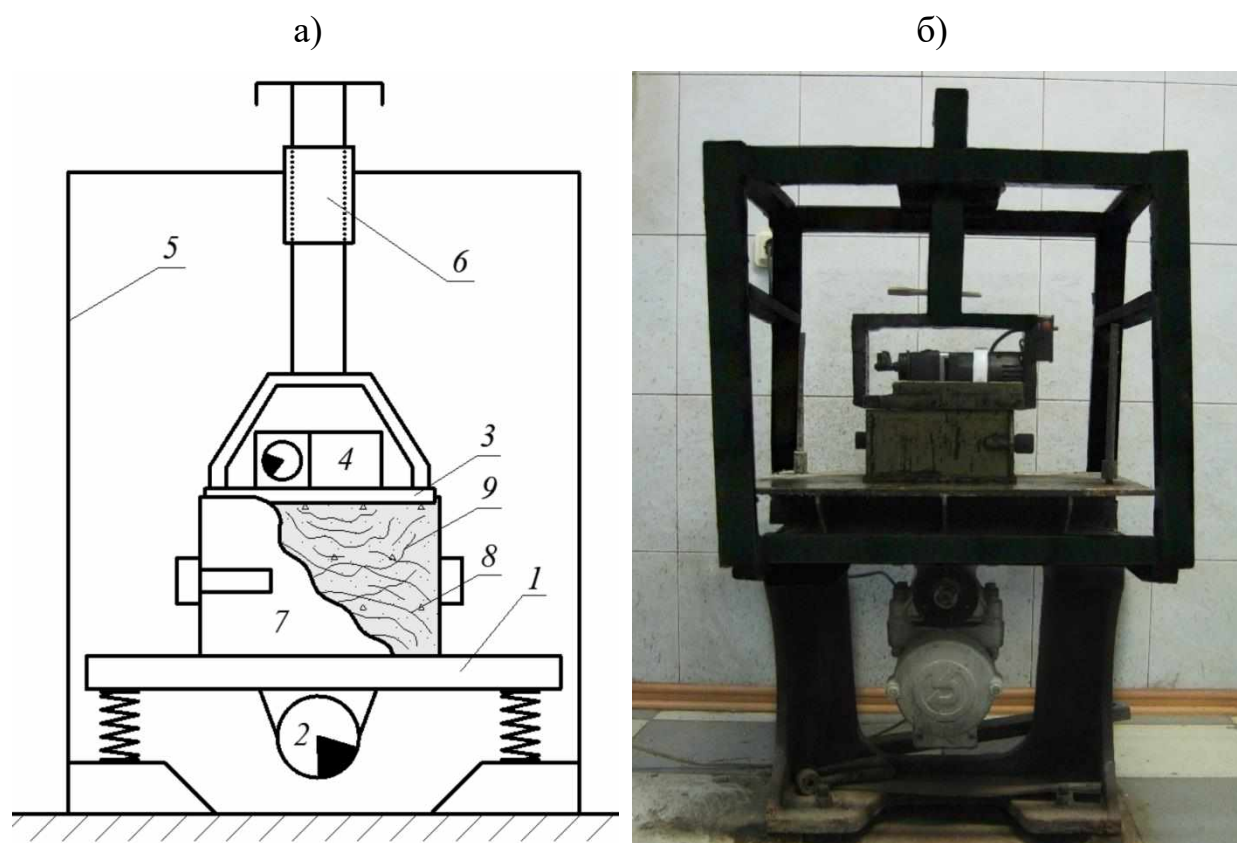


Рисунок 4.11– Разработанная поличастотная виброустановка:

а – схема конструкции; б – опытный образец установки; 1 – лабораторная виброплощадка; 2 – вибрационный возбудитель лабораторной площадки; 3 – вибропригруз; 4 – добавочный вибрационный возбудитель; 5 – рама; 6 – направляющая тулка; 7 – металлическая форма; 8 и 9 – эффект от поличастотного вибровоздействия

Доказано, что прочностные свойства цементных материалов с применением небогатенных отсевов при поливибрационном воздействии на смесь повышаются до 20 %, как это видно из таблицы 4.13.

Исследование морфологии поверхности разработанных материалов, осуществленное с увеличением в 3 тыс. раз за счет системы электронных и сфокусированных ионных пучков *Quanta 200 3D*, показало, что микроструктура

композиата вибрационного уплотнения без дополнительного вибровозбудителя по традиционной технологии (рисунок 4.12, а) характеризуется менее плотной упаковкой частиц, чем при поличастотном (рисунок 4.12, б).

Таблица 4.13 – Влияние механического воздействия (при отдельном перемешивании компонентов и поличастотном виброуплотнении бетонной смеси) на прочностные показатели мелкозернистого бетона

№ п/п	Техногенный отход	Пропорции Ц:ОД	В/Ц	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа
	бетона	1:2	0,392	34,9
1		1:3	0,455	25,8
2		1:4	0,488	19,0
3	песчаника	1:2	0,482	30,5
4		1:3	0,578	23,6
5		1:4	0,628	15,8
6	известняка	1:2	0,396	33,9
7		1:3	0,453	24,7
8		1:4	0,485	16,5

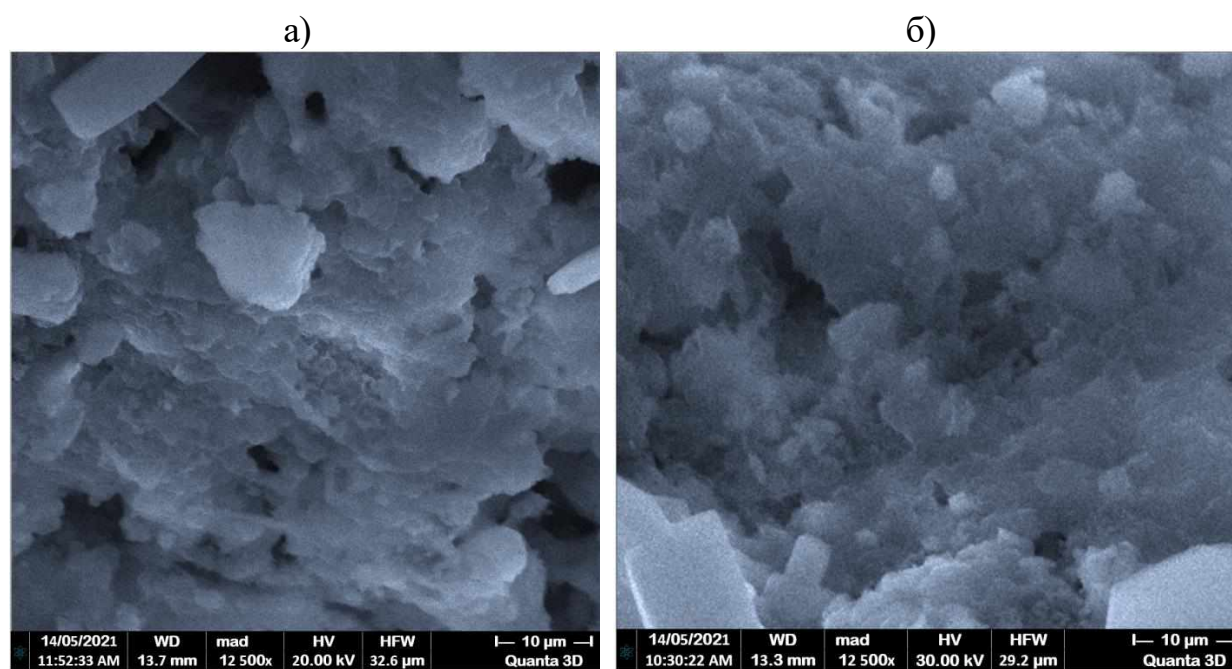


Рисунок 4.12 – Морфология межзернового пространства композитов для малых архитектурных форм при:
а) традиционном уплотнении; б) поличастотном уплотнении

В этом случае, зерна отсева разместились не в форме плотной упаковки, а между ними образуются значительные расстояния, заполненные гидросиликатным гелем. Можно сделать вывод, что уплотнение является не оптимальным, поэтому система характеризуется объемной цементной матрицей с соответствующими дефектами структуры: различным пора́ми, трещинами, внутренними полями напряжений разрушающего механизма действия. Прочностные свойства такого цементного композита являются относительно низкими, принимая значения не более 20 МПа в случае отношения «портландцемент : отсев дробления» в диапазоне от 1:2 до 1:4 и плотности 1950–2150 кг/м³.

Уплотнение бетонных смесей поличастотным виброуплотнением привело к росту значений его средней плотности до значений 2200 кг/м³, а прочностных свойств – до 30–35 МПа. Морфология микроструктуры межзернового пространства характеризуется интенсивным заполнением его частицами наполнителя, содержащимися в составах отсе́вов дробления бетона и горных пород, расположенными вокруг зерна большего размера (рисунок 4.9, б). Расстояние между зернами твердой фазы цементной матрицы составило 5–10 мкм, что является основой структуры кластера. Гомогенное и уплотненное расположение наполнителя разных фракций в межзерновом пространстве мелкозернистого композита, полученного с применением необогащенных отсе́вов камнедробления, привело к росту средней плотности композита до 2200 кг/м³, а прочности при сжатии – от 30 МПа и более. Полученные экспериментальные результаты достаточно точно коррелируют с результатами, полученными независимыми исследователями, например, [132]. Эмпирические результаты доказывают, что для получения оптимально прочных бетонов с применением необогащенного заполнителя из отсе́вов дробления различных горных пород перспективным является поливибрационное уплотнение.

Таким образом, проведенными исследованиями доказано, что при двухэтапном перемешивании сырьевых компонентов с дальнейшим

поливибрационным уплотнением дает возможность создавать мелкозернистые цементные композиты с использованием необогащенных отходов дробления различных горных пород с пределом прочности при сжатии не менее 15 МПа при Ц: ОД = 1:4 и доходящим до 38 МПа при Ц:ОД = 1:2.

4.4 Повышение эффективности мелкозернистых цементных композитов для малых архитектурных форм

Известно, что для создания современных высокотехнологичных мелкозернистых композитов с заданными высокими строительно-техническими свойствами необходимо учитывать большое количество структурно-технологических факторов [13,418,426]. Здесь учитываются как микро-, так и макростроение композиционного материала, а именно количественное соотношение между его основными структурными компонентами: цементной матрицей и наполнителем.

Сопоставление характеристик композиционных материалов одного и того же состава на обработанном и необработанном видах наполнителей демонстрирует, что физико-механические свойства композита падают из-за снижения адгезии между наполнителем и цементной матрицей, что повышает кривизну диаграммы «напряжение-деформация» и снижает величину напряжений, соответствующих началу интенсивного формирования микроскопических трещин.

Использование в составе смеси минеральных добавок и органоминеральных химических модификаторов влечет за собой рост прочностных свойств цементного композита и его пластических деформаций, обеспечивающих релаксацию технологических напряжений, повышенную трещиностойкость, но, при этом, в определенной степени увеличивающих характеристики ползучести [271,399].

Количественное описание микроструктуры цементного композита для малых архитектурных форм производится в результате рассмотрения следующих параметров материала: водоцементное отношение исходной

смеси, объемная доля вяжущей матрицы – причем важную роль для определения обеих характеристик играет водопотребность отсева дробления.

Осуществленный комплексный анализ позволил установить, что на микроструктуру и прочностные свойства разработанных бетонов влияют различные исходные условия: В/Ц смеси, содержание клинкерных компонентов в цементе, гранулометрия, форма, материал и количество отсева, применение и природа поверхностно-активных веществ и т.д. Выявлено, что данные факторы определяют структурообразование бетонных композитов и характер его порового пространства.

Определение необходимых параметров проводилось на экспериментальных образцах различного состава, изготовленных в форме кубов с ребром 70 мм и призм размером 100x100x400 мм с применением мелкого заполнителя из отсева дробления бетонного лома.

Подтверждение достоверности полученных экспериментальных данных и прогнозирование реотехнологических свойств разработанных цементных композиционных материалов проводилось в ходе комплексного изучения с применением математического метода. При этом варьируемыми параметрами были: вид наполненного вяжущего (НВ), водовязущее отношение и состав материальной смеси (НВ: ОД). Параметры с уровнями варьирования и матрица планирования перечислены в таблицах 4.14 и 4.15.

Таблица 4.14 – Уровни варьирования параметров

Параметры		Верхний уровень	Средний уровень	Нижний уровень
В натуральном выражении	В кодовом выражении			
Вид НВ	X ₁	100	80	60
В/В	X ₂	0,42	0,35	0,28
ОД:НВ	X ₃	3,5	3	2,5

Таблица 4.15 – Матрица планирования

№	Параметры в кодовом выражении			Параметры в натуральном выражении			Вязкость Па·с	Распływ конуса, мм
	X ₁	X ₂	X ₃	НВ	В/В	ОД:НВ		
1	+	+	0	100	0,42	3	50	160
2	+	-	0	100	0,28	3	3500	110
3	-	+	0	60	0,42	3	10	120
4	-	-	0	60	0,28	3	1500	105
5	+	0	+	100	0,35	3,5	1600	120
6	+	0	-	100	0,35	2,5	1400	140
7	-	0	+	60	0,35	3,5	900	105
8	-	0	-	60	0,35	2,5	700	115
9	0	+	-	80	0,42	3,5	25	135
10	0	+	-	80	0,42	2,5	15	145
11	0	-	+	80	0,28	3,5	2250	105
12	0	-	-	80	0,28	2,5	1950	107
13	0	0	0	80	0,35	3	1000	120
14	0	0	0	80	0,35	3	1010	110
15	0	0	0	80	0,35	3	1020	130

В ходе анализа экспериментальных результатов получены многофакторные математические уравнения в кодовом выражении:

1. Структурная вязкость ξ , Па·с:

$$\xi = 1010 + 380X_1 - 1137,55X_2 + 88,8X_3 - 172,5X_1^2 + 62,5X_2^2 - 32,5X_3^2 - 490X_1X_2 - 75,2X_2X_3 \quad (4.3)$$

2. Распływ конуса (PK), мм:

$$PK = 120 + 10,6X_1 + 1,6X_2 - 5,3X_3 + 0,4X_1^2 + 3,4X_2^2 - 0,4X_3^2 + 8,8X_1X_2 - 2,5X_1X_3 - 2X_2X_3 \quad (4.4)$$

Изучение реологии цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм осуществлялось для семи составов мелкозернистых

композитов на основе наполненного вяжущего НВ М600 Д40 и НВ М750 Д20, отличающихся соотношением НВ:ОД – 1:2,5, 1:3 и 1:3,5.

Реологические свойства исследуемых разработанных смесей изучались по стандартной методике (с применением цилиндрического прибора объемом 6 дм³ с калиброванным отверстием). Структурная вязкость определялась в зависимости от времени вытекания полностью разрушенной при вибрации бетонной смеси в указанное отверстие.

Также определялись следующие значения реологических свойств: средняя плотность свежееуложенной смеси, коэффициент уплотнения, ОК, жесткость смеси, РК.

Анализируя полученные экспериментальные результаты, приходим к выводу, что на структурную вязкость цементных композиционных материалов влияет как состав смеси, так и вид полиминеральных вяжущих. С ростом дозировки портландцемента в композиционных вяжущих растет структурная вязкость смесей, а с повышением объемной доли отсева дробления бетонного лома или различных горных пород структурная вязкость падает.

Расплыв конуса смеси, характеризующий тиксотропное поведение цементных композиционных смесей, растет с увеличением дозировки теста и падает с повышением содержания минерального наполнителя в композиционных вяжущих.

Разработанные составы композитов для малых архитектурных форм и соответствующие им свойства приведены в таблице 4.16.

Достигнутые результаты доказывают, что применение композиционных вяжущих на основе бетонных отходов дает возможность повысить прочностные свойства, стойкость к истиранию и действию циклического замораживания-оттаивания.

В частности, истираемость разработанного материала на основе бетонного отсева варьируется в диапазоне значений 0,6–1,0 г/см², а на основе отсева песчаника и известняка – 0,7–1,2 г/см².

Таблица 4.16 – Составы и реологические свойства мелкозернистых КОМПОЗИТОВ

№ состава	Марка НВ	НВ, кг/м ³	Отсев, кг/м ³	Вода, кг/м ³	Структурная вязкость, Па·с	Распływ конуса, мм
1	НВ М600 Д40	462	1618	129	2250	105
2	НВ М750 Д20	520	1560	146	3500	110
3	НВ М600 Д40	512	1538	180	1000	120
4	НВ М750 Д20	464	1626	162	1600	120
5	НВ М600 Д40	588	1472	247	1150	145
6	НВ М750 Д20	525	1575	220	1500	160
7	НВ М600 Д40	577	1443	202	1700	115

Морозостойкость изучаемых составов цементных композиционных материалов растет с F150 до F300 в зависимости от состава (вида) применяемого некондиционного техногенного сырья.

Изучение физико-механических свойств и деформативных характеристик проводилось по современным регламентирующим документам [505] с применением образцов призматической формы (таблица 4.17).

Комплексное изучение прочности и деформационных характеристик разработанных цементных композиционных материалов осуществлялось на составах наполненных вяжущих НВ М600 Д40, НВ М750 Д20 и бездобавочного цемента (контрольный состав) с различным отношением НВ:ОД = 1:2, 1:3, 1:4, где в качестве отсева дробления применялся материал от рециклинга бетона (таблица 4.18).

Были определены следующие характеристики разработанных цементных композитов: кубиковая и призмная прочность, модуль упругости (E), усадка, нижняя (R_T^0) и верхняя (R_T^V) границы трещинообразования, а также продольные (ϵ_1) и поперечные (ϵ_2) деформации (таблица 4.19).

Таблица 4.17 – Характеристики прочности и долговечности разработанных мелкозернистых композитов для малых архитектурных форм

№ состава	Заполнитель	Состав Ц:ОД	Вяжущее	Водо-вяжущее отношение	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, 28 сут	Истираемость, G_i , г/см ²	Морозостойкость F, цикл
1	Отсев дробления бетонного лома	1:3	НВ М600 Д40	0,34	61,5	0,80	200
2				НВ М750 Д20	0,34	78,6	0,65
3			НВ М600 Д40		0,40	55,7	1,08
4				НВ М750 Д20	0,38	69,8	0,98
5	Отсев дробления песчаника	1:3	НВ М600 Д40		0,33	58,4	1,00
6				НВ М750 Д20	0,33	74,2	0,84
7			НВ М600 Д40		0,40	55,7	1,08
8				НВ М750 Д20	0,38	69,8	0,98
9	Отсев дробления известняка	1:3	НВ М600 Д40		0,33	58,4	1,00
10				НВ М750 Д20	0,33	74,2	0,84
11			НВ М600 Д40		0,40	55,7	1,08
12				НВ М750 Д20	0,38	69,8	0,98

Таблица 4.18 – Составы бетонных композитов на наполненных вяжущих для малых архитектурных форм

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

* – контрольный состав

Таблица 4.19 – Физико-механические и деформативные свойства разработанных мелкозернистых материалов для малых архитектурных форм

№ сост. по таблице 4.18	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 _{TP}	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	54,1	83
3	86,9	70,5	16,5	5,1	45,2	58,7	56,6	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

Установлено, что разработанные материалы обладают достаточно высокими значениями прочности при сжатии (41-87 МПа), благодаря высокоплотной структуре. Соответствующие значения призмной прочности увеличились с 32 до 70 МПа, а соотношение зависимости призмной прочности к кубиковой находилось в диапазоне от 0,78 до 0,81. Это соотношение является более высоким, чем для традиционных составов, и характеризуется меньшим разбросом, свидетельствующим о повышении однородности свойств и сниженной хрупкости композита.

С ростом количества отсева в композиционном материале деформация усадки падает, а с ростом дозировки портландцемента в наполненном вяжущем относительные деформации усадки в определенной степени повышаются, но их величины не превосходят значения в диапазоне 0,69–0,84 мм/м.

Нижняя граница микротрещинообразования в наполненных композитах начинается позже по сравнению с традиционными цементными бетонами. Отношение R_T^o/R_K варьируется в пределах 0,35–0,52 и растет с повышением

прочностных свойств образцов и дозировки клинкерной составляющей.

Таким образом, проведенное исследование продольных и поперечных деформаций выявило, что цементные композиционные материалы характеризуются более высокими деформативными свойствами по сравнению со стандартными бетонами, однако усадка разработанного композита на основе наполненного вяжущего не превосходит значение усадки традиционных бетонов.

4.5 Разработка композитов для МАФ на основе обогащения и фракционирования отсевов дробления бетонного лома

В строительной практике широко используют композиционные материалы, получаемые с применением различного некондиционного сырья (отходов от сноса зданий, сооружений, дробления горных пород и т.д.), в том числе штучные дорожные изделия, специальные тонкостенные конструкции и др. Эти элементы подвергаются значительному влиянию внешних воздействий, поэтому должны отвечать повышенным требованиям по долговечности (морозостойкость, стойкость к истиранию и др.).

Мелкозернистые композиты проектировались для малых архитектурных форм с применением полученных экспериментальных исследований по общепринятым стандартным методикам.

Данные формовочные смеси производились с применением необогащенных отсевов камнедробления, т.е. дополнительные трудоемкие операции отсутствовали.

Эффективное вяжущее для малых архитектурных форм изготавливалось путем отбора проб бетонных отсевов и определения их характеристик, в частности для выявления наличия в отсеве различных фракций.

Учитывая то, что пылеватая фракция за счет атмосферных осадков приобретает неоднородный состав, отбор проб проводился с глубины в количестве 50–60 кг с дальнейшим сокращением методом квартования до 10 кг. Перед испытаниями полученная проба была высушена до неизменной

массы.

Фракционирование проводилось ситами с ячейками размером 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм.

Основой вяжущих являлся бездобавочный цемент марки ЦЕМ I 42,5 Н, при этом для изготовления высокопрочных композитов (до В30 и выше) применялись разработанные композиционные вяжущие с применением бетонного и каменного отсева, не подвергнутого обогащению, фракционированию, отмывке и другим мероприятиям.

Добавками служили химические пластифицирующие модификаторы «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» (1 л на 1 м³ бетона или 0,25% от массы вяжущего) и «БИО-НМ» (2 % от массы цемента в бетонной смеси).

Полиминеральное вяжущее для изготовления цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм имело пропорции «портландцемент : отсев дробления в диапазоне от 1:2 до 1:4.

Водопотребность считалась следующим образом:

$$V = V_{МДФ} \cdot МД^{\Phi} + V_{П} \cdot П + V_{Щ} \cdot Щ + НГ \cdot Ц; \quad (4.5)$$

где: $V_{МДФ}$, $V_{П}$ и $V_{Щ}$ – водоудерживающая способность мелкодисперсной, песчаной и щебёночной фракций отсево; $МД^{\Phi}$, $П$, $Щ$ и $Ц$ – массы тех же фракций отсево и портландцемента в смеси; $НГ$ – нормальная густота вяжущего теста;

Полученные результаты водоудерживающей способности удовлетворяли стандартным значениям (таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Результаты исследования водоудерживающей способности

Отход дробления	Водоудерживающая способность, г/г		
	$V_{МДФ}$	$V_{П}$	$V_{Щ}$
бетона	0,175	0,0140	0,120
песчаника	0,217	0,0185	0,145
известняка	0,154	0,0073	0,106

Разработанные смеси, водопотребность определена с использованием

зависимости (4.5), имеют марку по удобоукладываемости П1 – Ж1.

При изготовлении композиционных вяжущих для высокопрочных цементных материалов повышенной стабильности применялся сухой минерально-химический модификатор «БИО-НМ». Добавление модификатора проводилось вместе с водой затворения на первом этапе смешивания.

В связи с постоянным физическим воздействием на малые архитектурные формы, показатели износостойкости, а особенно истираемость, приобретают первоочередное значение.

В дополнение к известным научным положениям, что стойкость к истиранию цементного композита определяется в соответствии с его плотностью, прочностью и состоянием поверхности, выдвигаем гипотезу, что определенное влияние оказывает также вид применяемого заполнителя.

Стойкость материала к истиранию исследовалась по ГОСТ 13087-81 с применением круга истирания ЛКИ-3 на кубических образцах с ребром 70 мм (таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Результаты исследования стойкости к истиранию мелкозернистых бетонов на различных отсевах

№ состава по таблице 4.17	Наименование исходного сырья	Ц:ОД	В/Ц	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут	Истираемость, G_i , г/см ²
1	Бетонный лом	1:3	0,48	17,5	1,32
2			0,48	25,8	1,05
3			0,38	28,7	0,75
4			0,38	27,7	0,70
5	Песчаник	1:3	0,58	16,6	1,52
6			0,58	23,2	1,23
7			0,48	26,1	1,12
8			0,49	25,9	1,05
9	Известняк	1:3	0,45	17,3	1,44
10			0,45	24,6	1,15
11			0,36	26,5	0,95
12			0,36	27,4	0,85

Выявлено, что истираемость разработанных композиционных материалов на основе бетонного отсева варьируется в диапазоне значений 0,7–1,3 г/см², а песчаника и известняка – 0,8–1,5 г/см². Данные величины показывают лучшие результаты, чем для традиционных бетонов.

Другой важной и контролируемой эксплуатационной характеристикой является стойкость материала для МАФ к попеременному циклическому замораживанию-оттаиванию. Исследование композиционных образцов-кубов, изготовленных с применением отсевов бетона, песчаника и известняка и химических модификаторов, с использованием механоактивации заполнителя, проведенное по стандартной методике, доказывает, что изготовленные составы имеют потенциал мелкозернистых композитов марки по морозостойкости F150 – F200 (таблица 4.22).

Таблица 4.22 – Эксплуатационные характеристики разработанных бетонных композитов для МАФ на различных отсевах в зависимости от состава

№ состава по таблице 4.17	Техногенный материал	Цемент : техногенный материал	Водоцементное отношение	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут	Водопоглощение % по массе, W_m	Морозостойкость
1	Бетонный лом	1:3	0,48	17,5	5,70	F75
2			0,48	25,8	5,43	F100
3			0,38	28,7	4,52	F200
4			0,38	27,7	4,44	F200
5	Песчаник	1:3	0,58	16,6	6,98	F75
6			0,58	23,2	6,81	F75
7			0,48	26,1	5,76	F150
9	Известняк	1:3	0,45	17,3	5,62	F75
10			0,45	24,6	5,33	F100
11			0,36	26,5	4,46	F150

Таким образом, выявлено, что полученные композиты с бетонным отсевом имеют более высокие эксплуатационные характеристики и могут применяться для бетонирования МАФ по сравнению с композиционными материалами на основе отсевов песчаника и известняка.

Объект исследований выбирался, имея в виду огромные запасы на Северном Кавказе горных пород, а также накопленных отсевов дробления бетона, песчаника, известняка, гранита и кварцита.

Эти минеральные ресурсы являются основой сырьевой базы щебня Южного федерального округа РФ. Изготовление опытных образцов осуществлялось из смесей с соотношением «портландцемент : отсев дробления» = 1:3 по четырём различным технологиям:

1. Поэтапное перемешивание сырьевых компонентов с дальнейшим поличастотным вибрационным уплотнением смесей (без химических модификаторов). Характеристика вибрационной установки: частоты 48 и 133 Гц с амплитудами 0,5 и 0,35 мм, соответственно. На первом этапе смешивание производилось 30 с, на втором – 45 с, вибрационное уплотнение осуществлялось на протяжении 45 с.

2. Поэтапное перемешивание сырьевых компонентов с дальнейшим поличастотным вибрационным уплотнением смесей с использованием добавки «АрмМикс СУПЕРПЛАСТ» (0,25 % по массе вяжущего) с той же самой продолжительностью смешивания. Химический модификатор добавлялся на первой стадии смешивания. Вибрационное уплотнение осуществлялось на протяжении 45 секунд с частотой 48 Гц и амплитудой 0,5 мм.

3. Раздельное перемешивание сырьевых компонентов с дальнейшим поличастотным вибрационным уплотнением смесей с применением добавки «БИО-НМ» (2 % по массе вяжущего). Добавление модификатора, смешивание и виброуплотнение проводилось в соответствии со второй технологией. Исследование образцов осуществлялось по прошествии 28 сут твердения.

4. Контрольные образцы изготавливались в соответствии с

традиционной технологией смешивания и уплотнения бездобавочных бетонных смесей.

Характеристики пористости композита для малых архитектурных форм изучались путем исследования кинетики водопоглощения цементного материала с учетом площади удельной поверхности поровой сети (таблица 4.23).

Установлено в ходе комплексного анализа экспериментальных результатов, что характеристики водопоглощения цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм, полученных из отсевов бетона, песчаника и известняка, варьируются в пределах значений 4–7 %. Микроструктура композита характеризуется порами малого диаметра ($\lambda = 1,4\text{--}2,1$), при этом однородно распределенными ($\alpha = 0,5$). Установлено, что характеристики водопоглощения (которые зависят от поровой сети в материале) в разработанных материалах схожи с традиционными бетонами.

Отсев дробления бетона отличается от другого сырья своим составом (фрагменты песка и щебня, соединенные вяжущей матрицей). Кроме того, отсев дробления бетона отличается тем, что присутствует фрагментарная или сплошная оболочка из цементного камня дробимого бетона на поверхности его зерен. Эта оболочка обладает определенными значениями пористости, что приводит к повышенному водопоглощению техногенного заполнителя.

В связи с тем, что прочностные свойства цементных композиционных материалов сильно зависят от прочности применяемого заполнителя, то фактически эта величина зависит от прочности исходного сырья.

Таблица 4.23 – Влияние рецептурно-технологических факторов на характеристики разработанных материалов

№ п/п	Техногенный материал	Ц:ОД	В/Ц	Количество химического модификатора, % от массы цемента		Способы активации		Прочность при сжатии, МПа в возрасте 28 сут	Характеристики пор			Водопоглощение % по массе, W_m
				«АрмМикс СУПЕР-ПЛАСТ»	«БИО-НМ»	Поличастотное уплотнение	Раздельное смешивание		Средний размер, λ	Однородность, α	Удельная поверхность, S_0	
1	Бетонный лом	1:3	0,48	-	-	-	-	17,5	1,45	0,55	8,57	5,70
2			0,48	-	-	+	+	25,8	1,22	0,49	7,27	5,43
3			0,38	0,25	-	+	+	28,7	0,98	0,47	6,05	4,52
4			0,38	-	2	+	+	27,7	1,02	0,49	6,11	4,44
5	Песчаник	1:3	0,58	-	-	-	-	16,6	2,12	0,64	12,54	6,98
6			0,58	-	-	+	+	23,2	1,95	0,62	11,42	6,81
7			0,48	0,25	-	+	+	26,1	1,69	0,55	9,12	5,76
8			0,49	-	2	+	+	25,9	1,72	0,53	9,04	5,80
9	Известняк	1:3	0,45	-	-	-	-	17,3	1,85	0,59	8,89	5,62
10			0,45	-	-	+	+	24,6	1,71	0,56	8,58	5,33
11			0,36	0,25	-	+	+	26,5	1,54	0,50	8,02	4,46
12			0,36	-	2	+	+	27,4	1,41	0,52	7,77	4,32

Литературные источники [164–168] декларируют, что физико-механические свойства материалов на заполнителях даже из одной горной породы могут значительно различаться.

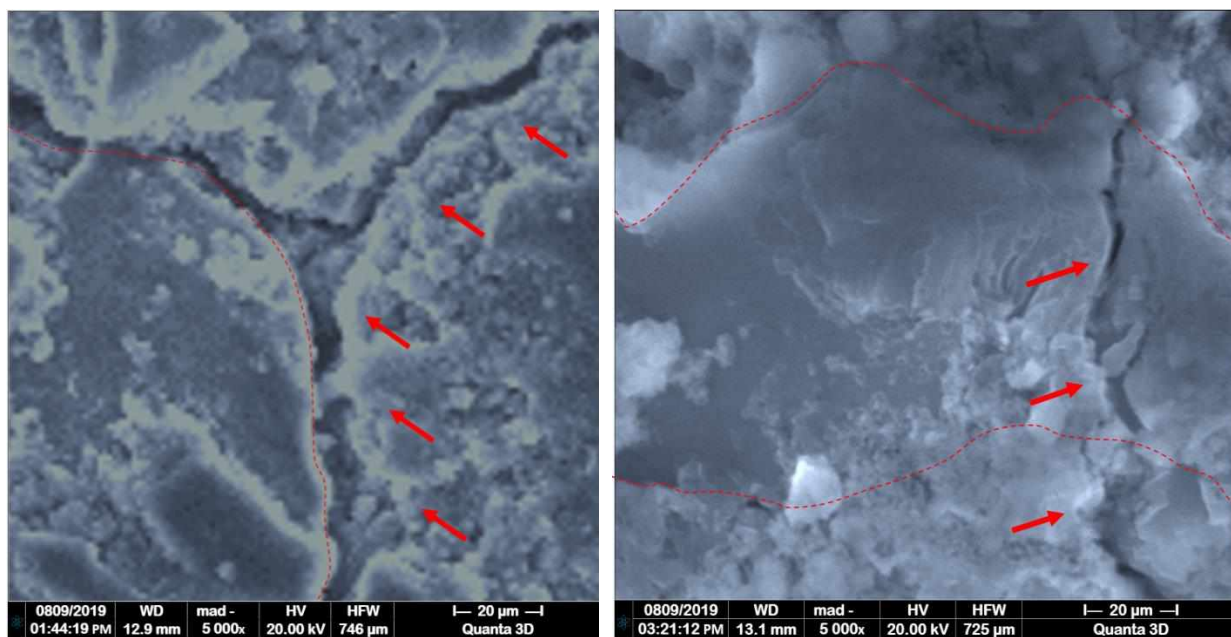
Ряд ученых [164,165,168–171] в связи с этим акцентируют внимание на важности исследования влияния межфазной переходной зоны между заполнителями различного генезиса и цементной матрицей на физико-механические свойства результирующего композита, а также зависимости текстуры поверхности разнофракционного отсева заполнителя на прочность сцепления с вяжущей матрицей.

Результаты анализа доказывают, что свойства цементных композиционных материалов в большой степени зависят от морфологии и характеристик контактной зоны между вяжущей частью и отсевом. Для оценки этой зависимости было проведено исследование структурных особенностей переходной зоны в образцах с применением заполнителей природного (известняк) и техногенного (бетонный лом) происхождения.

Полнота гидратации портландцемента оценивалась по степени гидратации алита. Выявлено, что степень гидратации композитных проб с применением вторичного заполнителя достигала 81 %, а с применением известнякового заполнителя – 76 %.

Помимо этого, изучение морфологии контактной зоны показало значительные различия для природных и техногенных отсевов. В частности, в контактной зоне между известняковым отсевом и цементной матрицей обнаружены микроскопические дефекты структуры, сопутствующие высоким значениям пористости. Установлены микротрещины не только в контактной зоне, но и в теле цементной матрицы, возникающие перпендикулярно поверхностям зерен отсева (рисунок 4.13).

Изготовленные с применением полученных отсевов малые архитектурные формы приведены на рисунке 4.14.



а)

б)

Рисунок 4.13 – Морфология межфазной переходной зоны между цементной матрицей и зернами отсева в цементном композиционном материале (x5000):
 а) природный отсев (известняк); б) вторичный отсев (из бетона)



Рисунок 4.14 – Изготовленные с применением полученных отсевов малые архитектурные формы

Таким образом, в образцах цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм с применением вторичного бетонного заполнителя отсутствуют дефекты в контактной зоне между вяжущей матрицей и

заполнителем, что свидетельствует о прочной адгезии вяжущей части и отсева, имеющего на своей поверхности слой «старого» цементного камня. Вторичный бетонный заполнитель принимает активное участие в процессах структурообразования цементного композиционного материала, а также в формировании плотной межфазной переходной зоны между цементной матрицей и зернами отсева.

Выводы по 4 главе

1. Научно сформулированы способы создания цементных композиционных материалов для малых архитектурных форм с применением некондиционных отсевов бетона и камнедробления, что при соответствующей механической активации бетонной смеси, позволяет повысить значения показателей физико-механических свойств и характеристик долговечности.

2. Выявлены составы и соответствующие им свойства различных полифракционных техногенных материалов, что позволило установить зависимости для расчета водопотребности композиционных смесей для МАФ с применением некондиционных фракций горных пород.

3. Создана широкая номенклатура композиционных материалов для малых архитектурных форм, полученных с использованием необогащенных отсевов бетонного лома и камнедробления с применением системы низкоэнергоемких технологических методов их изготовления. Доказано, что при раздельном смешивании сырьевых компонентов при механической активации композиционной смеси показатели прочностных свойств цементных композиционных материалов растут на 10-25 %, а при предлагаемом диссертантом способе поличастотного вибрационного уплотнения – на 20-40 %.

4. Продемонстрирован механизм влияния химических модификаторов на основные свойства композитов для МАФ, полученных с применением некондиционных отсевов бетона и камнедробления. Химические добавки в составе исходной затворенной сырьевой смеси уменьшают водопотребности

на тридцать процентов, одновременно повышая марочную прочность на треть, удобоукладываемость с марки П1 до П5. Учитывая то, что при этом происходит цементозамещение на треть, разработка данных материалов отвечает современным тенденциям технологии «зеленых» композитов.

5. Установлены различия морфологии разработанных мелкозернистых композитов для малых архитектурных форм в сравнении с традиционными бетонами. В частности, при использовании технологии механоактивации бетонных смесей с применением необогащенных материалов рециклинга бетона и отсева дробления горных пород, характеристики водопоглощения снижаются до 3–7 %, а поровая система представлена достаточно мелкими ($\lambda = 0,7–1,9$) и однородными по размеру ($\alpha = 0,4–0,5$) порами.

6. Установлено, 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.

7. Изучение механизмов появления дефектов микроструктуры разработанных композитов для малых архитектурных форм выявило, что нижняя граница трещинообразования наступает позже по сравнению с традиционными мелкозернистыми бетонами, при этом соотношение R_T/R_K находится в диапазоне от 0,35 до 0,52 и повышается с ростом прочности бетона и увеличении клинкерной части в наполненном вяжущем.

8. Создана линейка мелкозернистых композитов на базе наполненных вяжущих 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).

5. СТЕНОВЫЕ БЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧНОГО БОЯ

5.1 Состав и свойства керамического кирпичного боя

В настоящее время не только в России, но и в целом по миру существует проблема по обеспечению стройиндустрии эффективными стеновыми материалами, обладающими требуемыми теплотехническими параметрами. В то же время во многих странах в постконфликтный период образовались большие скопления техногенного сырья из кирпичного и бетонного лома, что требует разработки эффективных технологий по его утилизации. В этой связи одним из направлений решения данной проблемы является повторное применение керамического кирпичного боя в производстве легких бетонов и мелкоштучных стеновых изделий на его основе.

Исследования вторичных продуктов дробления отходов ККБ проводили в научно-техническом центре коллективного пользования ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова. Продукт дробления отходов из ККБ просеивали на стандартном наборе сит для мелкого и крупного заполнителей, результаты отсева показали выход щебеночной и песчаной фракций (рисунок 5.1).

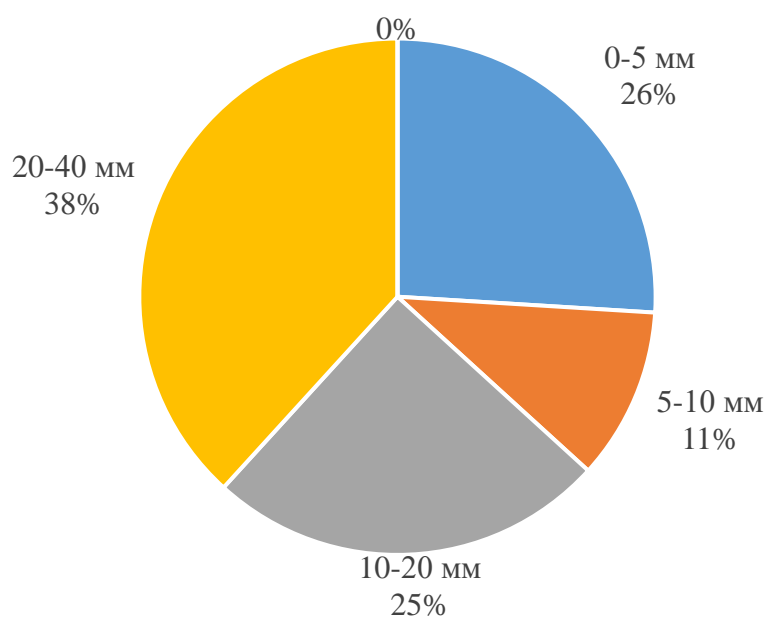


Рисунок 5.1 – Соотношение щебеночной и песчаной фракций в продукте дробления строительного лома из ККБ

У полученных после дробления фракций 20–40 мм (38 %), 5–10 (11 %), 10–20 мм (25 %) и 0,16–5 мм (23 %) исследовали технические характеристики с целью выявления возможности их повторного применения в качестве заполнителей бетона. Основные технические свойства различных фракций ККБ представлены в таблице 5.1–5.2.

Таблица 5.1 –Характеристика мелкого заполнителя на основе кирпичного боя

Наименование		Значение показателя					
Зерновой состав	Размер сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Дно
	Частные остатки, %	15,6	17,6	18,7	29,8	6,3	11,7
	Полные остатки, %	15,6	33,3	52,0	82,0	88,1	100
Модуль крупности		2,7					
Группа		Крупный					
Содержание пылевидных частиц, %		0,34					
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа		11,8					
Плотность истинная, кг/м ³		2579					
Плотность насыпная, кг/м ³		1169					
Водопоглощение, % (масс.)		13,6					
Пористость, %		17,5					
Пустотность, %		34,7					

Таблица 5.2 –Характеристика крупного заполнителя из кирпичного боя

Наименование	Значение показателя		
Фракция, мм	5-10	10-20	20-40
Плотность насыпная, кг/м ³	875	854	818
Пустотность, %	42,4	44,7	47,32
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	13,3	13,8	14,5
Содержание пылевидных частиц, %	0,22		
Плотность истинная, кг/м ³	2579		
Водопоглощение, % (масс.)	13,5-14,8		
Морозостойкость, цикл	25		
Пористость, %	17,5		

Заполнители на основе кирпичного боя характеризуется высокими показателями пористости (17,7 %) и водопоглощения 13–14 % (по массе), что существенно повышает водопотребность бетонной смеси. Вместе с тем, повышенная пористость выполняет и положительную функцию. В связи с тем, что заполнитель на основе кирпичного боя обладает повышенной пористостью, его можно отнести ко II-му типу активных заполнителей, активность которых обусловлена усилением физического срастания цементной матрицы с поверхностью заполнителя за счет проникновения в поры и капилляры зерен заполнителей тонкодисперсных частиц вяжущего на начальной стадии твердения, с последующей гидратацией клинкерных минералов с осаждением новообразований, что способствует формированию дополнительных связей между цементной матрицей и заполнителем [368]. Это не только позволит усилить силу сцепления между заполнителем из кирпичного боя и цементным камнем, но и снизит проницаемость контактного слоя, что благоприятно влияет на повышение долговечности изделий.

Для заполнителей из ККБ характерны невысокие показатели прочности при сдавливании в цилиндре (11,9–14,5 МПа) и морозостойкости (F 25), что требует применения специальных технологических приемов для получения на их основе качественных бетонов.

Помимо крупного и мелкого заполнителей в отсевах дробления ККБ образуется до 15 % тонкодисперсной фракции с удельной поверхностью около 95–190 м²/кг, определяемой методом воздухопроницаемости на приборе ПСХ-12. Следует учесть, что по величине удельной поверхности образующаяся пылевидная фракция намного грубее портландцемента или специальных тонкодисперсных наполнителей, поэтому ее роль в структурообразовании бетона требует внимательного рассмотрения.

У вторичных заполнителей из ККБ активность радионуклидов соответствует $A_{ЭФФ} = 138–147$ Бк/кг, что относит их к классу I, заполнители могут быть использованы на различных объектах строительства [346].

5.2 Особенности проектирования и свойства композитов

Вторичные пористые заполнители на основе лома из керамического кирпича целесообразно использовать для производства различных видов легких бетонов, обладающих низкой теплопроводностью. Это также позволит снизить массу конструкций, за счет чего снижаются транспортные и трудовые затраты и уменьшается стоимость строительства. Легкие бетоны на вторичных заполнителях из ККБ, обладающие оптимальными показателями теплопроводности, плотности и прочности, характеризуются меньшей себестоимостью. Целесообразно применение легких бетонов в стройиндустрии в сейсмоопасных районах.

Данный этап исследований посвящен разработке составов легких бетонов на ККБ и исследованию их технических свойств. Составы легких бетонов на основе кирпичного боя разрабатывали с учетом рекомендаций [340-345].

В качестве вяжущего применялся портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н Чеченцемент (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Состав и свойства применяемого цемента

Наименование	Значение показателя									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	SO_3	TiO_2	ППП	Na_2O	K_2O
Химический состав, %	20,00	5,31	4,07	2,02	63,13	2,45	0,06	2,21	0,21	0,37
Минералогический состав, %	C_3S			C_2S		C_3A		C_4AF		
	58			17		7		14		
S уд, м ² /кг	330									
НГ, %	27									
Плотность истинная, кг/м ³	3115									
Сроки схватывания, час - мин.	Начало					Конец				
	2-25					3-50				
Активность, МПа,	сжатие					изгиб				
	52,5					6,8				

Составы и свойства разработанных легких бетонов перечислены в таблице 5.4.

Из данных таблицы 5.4 следует, что основными недостатками бетонных смесей является их высокая водопотребность (водоцементное отношение в пределах от 0,81 до 1,14), что мешает обеспечить высокую удобоукладываемость.

Таблица 5.4 – Свойства смесей и бетонов в зависимости от состава

№ состава	Расход материалов, кг, на 1 м ³ бетона				В/Ц	Марка по подвижности	ρ, кг/м ³		R сж, МПа,
	Ц	Щ	П	В			смеси	бетона	
1	249	745	498	284	1,13	П1	1773	1677	12,2
2	284	727	487	287	1,03	-«-	1788	1687	15,3
3	309	713	485	292	0,93	-«-	1798	1695	17,5
4	338	695	481	298	0,88	-«-	1813	1713	21,4
5	376	667	482	313	0,84	-«-	1837	1717	25,4
6	405	638	471	324	0,82	-«-	1837	1742	27,9
7	406	637	462	343	0,83	П2	1847	1739	26,3
8	407	633	453	354	0,88	П3	1845	1736	24,9

Вторичный заполнитель изготовлен из отходов строительства и сноса, поэтому он обладает высокими значениями открытой пористости (до 14 %), что обуславливает повышенную водопотребность бетонной смеси. Устранение данного недостатка возможно путем применения водоредуцирующих добавок-модификаторов. Применение пористых вторичных заполнителей из ККБ дает возможность получать легкие бетоны плотностью до 1750 кг/м³ классов В7,5 – В20.

Сохраняемость бетонных смесей на основе ККБ

Повышенное водопоглощение пористого заполнителя из кирпичного боя существенно влияет на удобоукладываемость и сохраняемость (жизнеспособность) бетонных смесей. Определение сохраняемости (таблица 5.5), определение проводили по ГОСТ 10181-2014 [349].

Приготовленная бетонная смесь контрольного состава на заполнителях из кирпичного лома характеризуется осадкой конуса 14–15 см. С течением времени подвижность бетонной смеси быстро падает, уже после 30 мин осадка

конуса снижается до 5 см, спустя 1 час смесь переходит в разряд жестких. Этот эффект обусловлен высокой начальной интенсивностью водопоглощения пористых заполнителей, в течение первых 10–15 мин процесс водопоглощения достигает максимального уровня. Чем выше водоцементное отношение, тем более энергично идет отсос воды, в жестких составах при низких значениях В/Ц поглощение воды снижается. Для получения заданной подвижности бетонной смеси требуется увеличивать расход воды по мере роста водопотребности заполнителя и его содержания (рисунок 5.2).

Таблица 5.5 – Влияние вторичного заполнителя из ККБ на сохраняемость бетонной смеси

№ п.п.	Состав бетона	Марка по удобоукладываемости	Подвижность смеси по ОК, $\left[\frac{\text{см}}{\text{с}}\right]$					
			Жесткость смеси					
			через, мин					
			0	30	60	90	120	150
1	Состав бездобавочный, кг: Ц = 402; ШЦ = 653; П = 482; В = 388; В/Ц = 0,97	ПЗ	$\frac{14}{-}$	$\frac{5}{-}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{-}{42}$	$\frac{-}{58}$	$\frac{-}{143}$
2	Состав с добавкой СП-1, кг: Ц = 402; ШЦ = 653; П = 482; В = 284; Д = 2 (0,5%); В/Ц = 0,72	ПЗ	$\frac{15}{-}$	$\frac{11}{-}$	$\frac{6}{-}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{-}{33}$	$\frac{-}{57}$

Заполнитель с повышенной водопотребностью в связи с высокой пористостью снижает расслаивание подвижных и литых бетонных смесей, что дает возможность использовать высокие водоцементные отношения при производстве конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов. Пористый заполнитель на начальном этапе твердения интенсивно впитывает воду за счет капиллярного подсоса, что приводит к снижению водоцементного отношения в бетонной смеси, затем происходит обратный процесс миграции влаги, что создает благоприятные условия для процессов гидратации и структурообразования цементного камня.

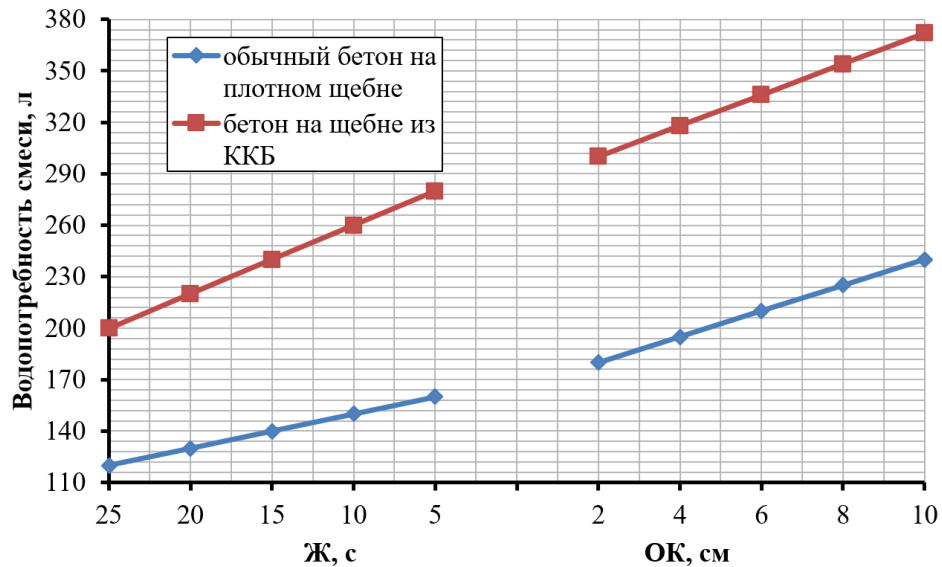


Рисунок 5.2 –Водопотребность бетонной смеси в зависимости от удобоукладываемости

Физико-механические свойства легких бетонов на основе ККБ

Легкие бетоны на заполнителях из кирпичного лома должны соответствовать техническим требованиям по теплопроводности, атмосферостойкости, морозостойкости, усадке, прочности, призмочной прочности, модулю упругости и др., что обеспечивает их рациональное применение в производстве теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных изделий. Этим вопросам посвящен данный этап исследований.

Исследования проводили на образцах легких бетонов плотной и крупнопористой структур (таблица 5.6). В состав крупнопористого бетона входит только крупный заполнитель в виде однородного щебня и вяжущее, мелкий заполнитель отсутствует. При этом важным показателем является расход цементного теста и его пластичность, чтобы после твердения все зерна крупного пористого заполнителя были связаны тонким слоем цементной матрицы, а межзерновые пустоты были заполнены частично. Это обеспечивает пониженную плотность и теплопроводность крупнопористого бетона.

Бетон с плотной структурой содержит около 40 % цементного камня по объему, размеры пор которого в основном находятся в диапазоне 1–50 мкм. Цементная матрица заполняет межзерновые пустоты и покрывает поверхность зерен заполнителя.

Бетонные смеси на щебне из кирпичного боя для получения бетонов крупнопористой структуры имеют хорошую удобоукладываемость, не расслаиваются при вибрировании.

Таблица 5.6 – 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					
Бетонные композиты 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
Бетонные композиты 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

Теплотехнические свойства бетонов пористой структуры – низкая теплопроводность 0,35-0,39 Вт/(м·°С) и средняя плотность (1316–1428 кг/м³) - позволяют приравнять их к теплоэффективным материалам. Для определения теплопроводности бетона использовали прибор ИТП-МГ4 "250" и образцы 250x250x30 мм (рисунок 5.3). Результаты исследований показали, что при переходе от крупнопористой структуры к плотной теплопроводность бетона существенно возросла от 0,35–0,39 до 0,47–0,55 Вт/(м·°С) (таблица 5.6), что гораздо ниже аналогичных показателей у бетонов на традиционных заполнителях – 1,5–1,87 Вт/(м·°С).



Рисунок 5.3 – Легкий бетон на основе кирпичного боя (в разрезе)

Крупнопористые бетоны отличаются низкими значениями капиллярной диффузии, обусловленной влиянием начального интенсивного водопоглощения на уплотнение цементной матрицы. Следует учесть, что при наличии большого количества пустот и открытых пор у крупнопористых легких бетонов морозостойкость вполне удовлетворительная ($F 25 - F 35$) и прочность достигает 15,1 МПа.

На основе математического метода планирования эксперимента получены зависимости теплопроводности легкого бетона от пористости и вида структуры (крупнопористая, плотная). Использовали в качестве переменных содержание крупного и мелкого заполнителей, среднюю плотность легкого бетона (таблицы 5.7 и 5.8).

Таблица 5.7 – Уровни и факторы варьирования

Факторы		Уровни варьирования			Интервал
в натуральном выражении	в кодовом выражении	-1	0	1	
Содержание песка (П)	X_1	0	275	550	275
Расход щебня (Щ)	X_2	730	855	980	125
Плотность бетона (ρ_b)	X_3	1318	1548	1778	230

Таблица 5.8 – Матрица планирования

№	Факторы в виде выражений						Значение теплопроводности, Вт/(м·°С)
	в кодовом			в натуральном			
	X ₁	X ₂	X ₃	П	Щ	РБ	
1	+	+	0	550	980	1548	0,514
2	+	-	0	550	730	1548	0,507
3	-	+	0	0	980	1548	0,445
4	-	-	0	0	730	1548	0,423
5	+	0	+	550	855	1778	0,585
6	+	0	-	550	855	1318	0,553
7	-	0	+	0	855	1778	0,592
8	-	0	-	0	855	1318	0,372
9	0	+	-	275	980	1318	0,418
10	-	+	-	0	980	1318	0,347
11	0	-	+	275	730	1778	0,587
12	0	-	-	275	730	1318	0,414
13	0	0	0	275	855	1548	0,542

На основе обработки данных переменных в кодовом выражении получены математические многофакторные уравнения регрессии:

$$\lambda = 16,21 + 2,42 X_1 + 1,01 X_2 + 4,82 X_3 - 0,30 X_1^2 + 0,03 X_2^2 + 1,61 X_3^2 - 0,12 X_1 X_2 - 0,20 X_1 X_3 + 0,71 X_2 X_3. \quad (5.1)$$

Большое влияние на значение теплопроводности оказывает плотность и тип структуры легких бетонов на ККБ. Бетоны с крупнопористой структурой, характеризующиеся большим количеством пор и промежутков между частицами отсева, обладают пониженным коэффициентом теплопроводности (< 0,35 Вт/(м·°С), в отличие от более плотных легких бетонов.

Из полученных результатов следует, что благодаря низкой теплопроводности легких бетонов с крупнопористой структурой, их использование рационально в качестве теплоизоляционного материала для ограждающих конструкций зданий (в многослойных конструкциях). Легкие бетоны плотной структуры целесообразно использовать в качестве теплоизоляционно-конструкционного материала. Дополнительно необходимо использовать меры, направленные на повышение морозостойкости бетонов на

легких заполнителях из кирпичного лома.

Прочностные и деформативные свойства легких бетонов

Прочностные и деформативные характеристики бетонов плотной и крупнопористой структур исследовались после 28 сут твердения в воздушно-влажностных условиях ($t = 20 \pm 2$ °С, $W_{отн} = 70$ %).

Призменная прочность изменяется от 9,21 до 21,3 МПа, модуль упругости находится в пределах $9\text{--}23 \cdot 10^3$ МПа (таблица 5.9), значения которого меняются в соответствии с изменениями кубиковой прочности. Из соотношения $R_{ПП}/R_{КУБ} = 0,74\text{--}0,83$ следует, что у легкого бетона на кирпичном ломе меньший разброс, более высокая однородность свойств и хрупкость, данный показатель снижается с ростом класса по прочности, превышает аналогичный показатель у керамзитобетона.

Таблица 5.9 – Физико-механические свойства легких бетонов

№ п/п	состав (табл. 5.13)	ρ , кг/м ³	$R_{КУБ}$, МПа	$R_{ПП}$, МПа	$\frac{R_{ПП}}{R_{КУБ}}$	$E_B \cdot 10^3$, МПа	μ	Усадка, мм/м	K_P	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
4	8	1428	15,1	11,2	0,74	8,83	0,23	0,58	0,84	12,8

Легкие бетоны характеризуются усадкой в пределах 0,63 мм/м, что не превышает нормативные требования и сопоставимо с усадочными деформациями легких бетонов на традиционных заполнителях (например, керамзитобетона – 0,32–11,5 мм/м). Легкий бетон на ККБ характеризуется более высоким коэффициентом Пуассона 0,22–0,25 по сравнению с тяжелым бетоном, у которого коэффициент Пуассона $\mu = 0,20\text{--}0,22$, что отражает его повышенную хрупкость. Коэффициент размягчения легких бетонов на ККБ равен 0,80–0,84.

Характер разрушения образцов легких бетонов с заполнителем из ККБ

при испытании на сжатие соответствует характерному трещинообразованию обычного тяжелого бетона (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Разрушение образцов легкого бетона:
а – трещинообразование; *б* – раскрытие трещин

Эффект обоймы в среднем сечении образца повышает деформации, приводящие к разрушению (рисунок 5.5). Разрушение преимущественно происходит по цементному камню и заполнителю, оставляя неповрежденной контактную зону, что подтверждает высокое физическое срастание зерен кирпичного боя с цементной матрицей бетона.

Фото, приведенные на рисунке 5.5, наглядно показывают, что заполнитель из кирпичного боя относится к активным заполнителям II-го типа, который благодаря повышенной пористости усиливает физическое срастание его поверхности с цементной матрицей бетона, что повышает сцепление и придает кирпичному бою определенные специфические свойства, оказывающие большое влияние на эксплуатационные свойства бетонов.

Таким образом, применение изделий на основе легких бетонов с вторичным заполнителем из ККБ будет обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики для ограждающих конструкций и некоторые преимущества по ряду показателей:

- не требует специального ухода при твердении и эксплуатации;
- снижает сроки строительства благодаря заводской готовности;
- снижает трудоемкость работ из-за снижения массы изделий;

- осуществление строительства в зимний период;
- качество материала, их высокая долговечность.

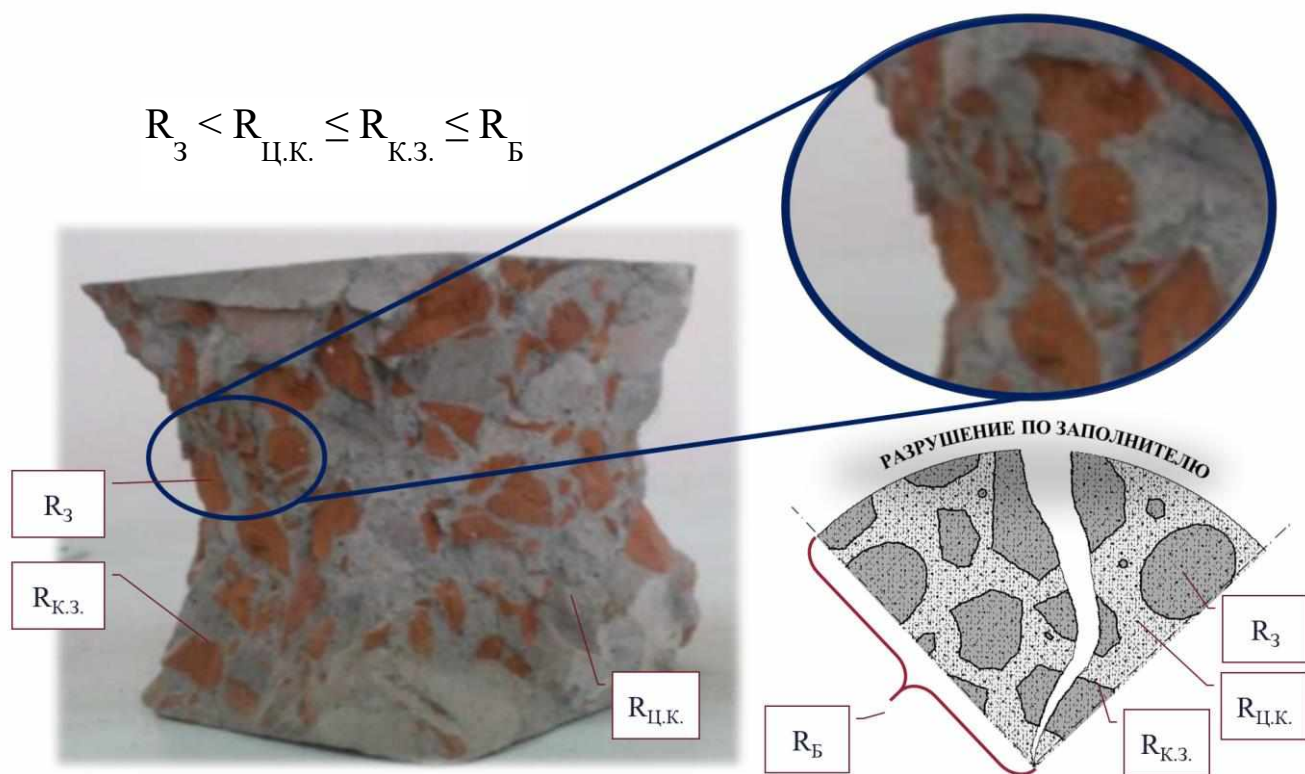


Рисунок 5.5 –Разрушение по заполнителю легкого бетона на ККБ:

$R_{\text{к.з.}}$ – прочность контактной зоны заполнителя и цементного камня;

R_3 – прочность заполнителя; $R_{\text{ц.к.}}$ – прочность цементного камня;

$R_{\text{б}}$ – прочность бетона.

5.3 Повышение эффективности бетонных смесей на основе ККБ

Снижения водопотребности бетонных смесей, обусловленной высоким водопоглощением заполнителей на основе ККБ, можно добиться путем применения суперпластификаторов. В качестве суперпластификаторов использовали Полипласт СП-1, представляющий собой смесь натриевых солей полиметиленафталин-сульфокислот (ТУ 5870-005-58042865-05) и Хидетал ГП-9 на поликарбоксилатной основе. Добавки предварительно прошли испытания на совместимость с вяжущим, характеризуются недефицитностью и невысокой стоимостью, результаты приведены в таблице 5.10

Из данных (таблица 5.10) следует, что эффективность действия добавок СП-1 и Хидетал возрастает с повышением дозировок до 1 %, при этом

достигаются оптимальные значения удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона, четко прослеживается преимущество поликарбоксилатной добавки Хидетал перед СП-1.

Таблица 5.10 – Эффективность применения химических добавок

№ состава	Расход материалов, кг, на 1 м ³ бетона				Добавка, %		В/Ц	Марка по подвижности	Плотность ρ, кг/м ³		R ²⁸ _{сж} , МПа,
	Ц	Щ	П	В	СП-1	Хидетал			смеси	бетона	
Водоредуцирующий эффект добавок											
1	309	742	519	288	-	-	0,93	П1	1861	1696	18,2
2	311	753	528	263	0,8	-	0,89	П1	1864	1731	19,0
3	310	773	542	231	1,2	-	0,78	П1	1862	1735	22,8
4	308	783	541	226	1,5	-	0,76	П1	1866	1742	23,4
5	310	758	528	262	-	0,8	0,85	П1	1860	1719	19,5
6	310	774	529	242	-	1,2	0,75	П1	1866	1738	23,2
7	311	776	544	234	-	1,5	0,72	П1	1866	1745	24,1
Пластифицирующий эффект добавок											
8	313	742	523	286	1,5	-	0,92	П2	1859	1727	18,8
9	312	742	525	287	-	1,5	0,92	П3	1869	1715	20,3
Цементосберегающий эффект добавок											
10	231	780	574	257	1,5	-	0,90	П1	1847	1719	18,0
11	243	780	573	263	-	1,5	0,89	П1	1856	1722	19,9

В отдельных случаях для изготовления бетонов теплоизоляционного назначения с невысоким классом прочности возможно достижение совместного водоредуцирующего эффекта действия добавок со снижением расхода цемента.

Таким образом, использование современных химических модификаторов позволяет нивелировать отрицательное влияние высокой пористости заполнителя на водопотребность и проектировать рецептуры эффективных легких бетонов с использованием вторичного сырья из отходов ККБ для мелкоштучных строительных материалов. Для эффективного управления технологией получения таких композитов требуется дополнительное исследование динамики структурной организации, жизнеспособности и других характеристик бетонных смесей.

Особенности кинетики набора прочности легких бетонов с СП

Для сравнительных исследований кинетики набора прочности легких бетонов на вторичных заполнителях с суперпластификаторами использовали составы с добавками СП-1 (1%), Хидетал (1%) и контрольный бездобавочный. Заформованные образцы (10x10x10 см) твердели в нормально-влажностных условиях ($t = 18 \pm 2$ °С, $W = 95\%$), испытания образцов проводили в возрасте 1, 3, 7, 14, 21 и 28 суток согласно требованиям ГОСТ 10180-2012 [350].

Результаты испытаний показали, что существенного снижения В/Ц и повышения ранней прочности (7 сут) можно добиться при помощи суперпластификатора Хидетал ($W/C = 0,75$, $R_7=90$ % проектной прочности), применение суперпластификатора СП-1 позволяет снизить В/Ц до 0,78 и достичь 70 % проектной прочности возрасте 7 сут, при этом контрольный состав с $W/C = 0,93$ набирает прочность менее 58 % от проектной (рисунок 5.6).

Что касается пластифицирующего действия добавок в бетонных смесях с заполнителем из кирпичного боя, то наиболее высокая подвижность смеси наблюдается при использовании гиперпластификатора Хидетал ГП-9 по сравнению с СП-1 при одинаковых дозировках (1 %). Более низкие дозировки СП не дают достаточного эффекта разжижения, так как добавки энергично абсорбируются пористым заполнителем. Кирпичный бой характеризуется наличием открытых пор и высокой шероховатостью поверхности, что способствует поглощению существенной части воды затворения с растворенными в ней добавками и приводит к росту водопотребности бетонных смесей. При дозировках добавок 0,2–0,8 % большая часть не участвует в пластификации смеси, так как поглощается керамическим кирпичным заполнителем. Повышение разжижения наблюдается только с ростом дозировки 1 % и выше, так как не поглощенная часть добавок суперпластификаторов порами заполнителя, адсорбируется на положительно заряженных активных центрах клинкерных частиц, тем самым увеличивая разжижение.

Таким образом, применение материалов от рециклинга кирпича совместно с современными эффективными суперпластификаторами дает возможность получать легкие бетоны классов В12,5 – В20. Следует отметить, что существуют резервы повышения прочности бетонов на ККБ за счет применения добавок суперпластификаторов и эффективных технологий приготовления бетонных смесей, открывающих перспективы их применения для изготовления облегченных мелкоштучных стеновых изделий или даже самонесущих монолитных конструкций.

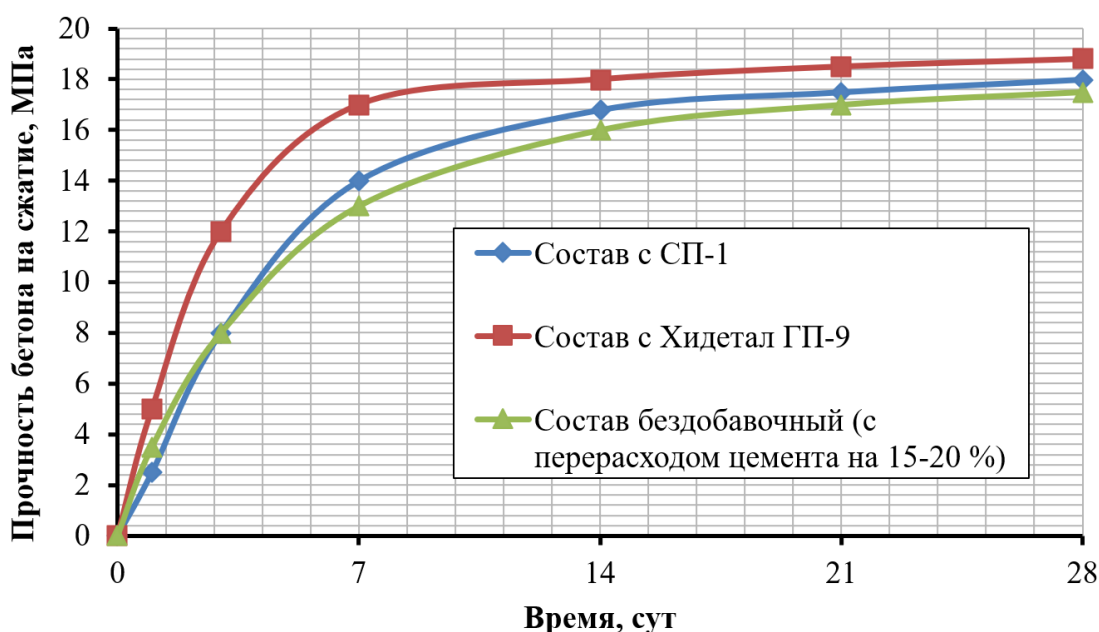


Рисунок 5.6 – Влияние суперпластификаторов на кинетику набора прочности легких бетонов

Однако для этого необходима разработка практических рекомендаций по их изготовлению, что в свою очередь требует проведения дополнительных исследований по применению пылевидной фракции ККБ в бетонах.

Влияние различных способов введения суперпластификаторов в бетонные смеси на эффективность их действия

Для повышения эффективности действия суперпластификаторов были исследованы различные приемы введения добавок в бетонную смесь: совместно с водой затворения; после затворения смеси; двухступенчатое затворение. Исследовали подвижность бетонной смеси в зависимости от

способа ведения суперпластификаторов.

Способ № 1 – контрольный, добавка поступает в бетонную смесь с водой затворения (В+Д);

Способ № 2 – добавку вводят в бетонную смесь после затворения водой (В, затем Д);

Способ № 3 – двухстадийное затворение, сначала вводится 2/3 воды затворения, затем после перемешивания 30–40 с вводят 1/3 воды с добавкой СП (2/3В, затем 1/3В+Д).

Исследования проводили на бетонной смеси марки БСТ В25 П4 (ОК = 16–20 см), ГОСТ 7473-96. Результаты испытаний, приведенные в таблице 5.11 и на рисунке 5.7, показывают, что при двухступенчатом введении добавки в бетонную смесь достигается наиболее эффективное разжижающее действие суперпластификатора.

Заполнители из ККБ отличаются повышенной пористостью, поэтому при добавлении суперпластификаторов в бетонную смесь на их основе, происходит не только адсорбция макромолекул добавок на поверхности заполнителя, но и абсорбция, при которой молекулы ПАВ вместе с водой проникают вглубь частиц заполнителя по микропорам и капиллярам.

Таблица 5.11 – Влияние на удобоукладываемость бетонной смеси способа введения СП

№ п/п	Состав	Способ введения	Удобоукладываемость	
			осадка конуса (ОК), см	марка по ОК
1	1	С водой затворения	17	П4
2	2	Раздельный способ	18	П4
3	3	Двухстадийный способ	22	П5

Традиционный способ введения суперпластификатора с водой затворения малоэффективен, так как большая часть добавки суперпластификатора вместе с водой затворения поглощается

высокопористым заполнителем из боя керамического кирпича и удерживается в порах за счет адсорбционных сил (рисунок 5.7) и таким образом не участвует в разжижении бетонной смеси. Для достижения заданной подвижности требуется повышение расхода добавок, что приводит к существенному повышению стоимости.

Эффективность разжижающего действия суперпластификаторов повышается при двухстадийном затворении бетонной смеси. Первоначальное затворение бетонной смеси частью воды ($2/3$) без добавки приводит к тому, что поры и капилляры в первые минуты насыщаются водой.

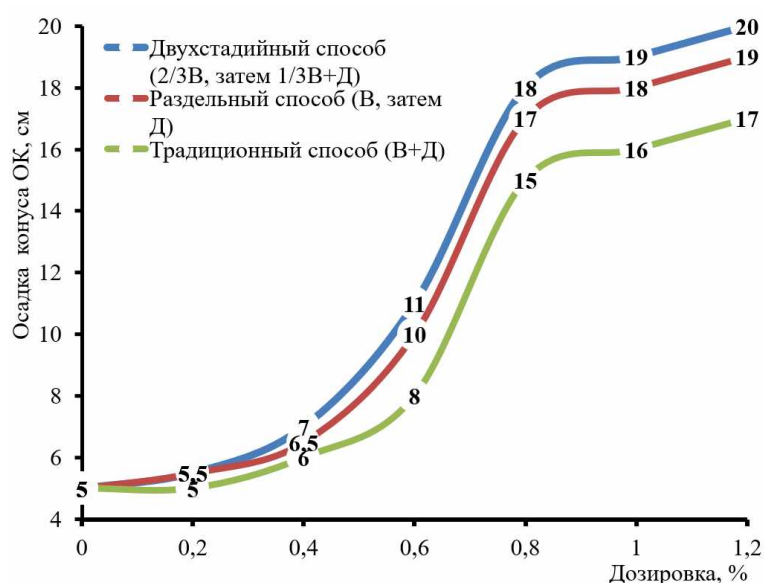


Рисунок 5.7 – Подвижность бетонной смеси в зависимости от стадийности введения химического модификатора

Последующее введение суперпластификатора с остатком воды затворения ($1/3$) способствует протеканию энергичной адсорбции макромолекул добавок на зернах цемента, что приводит к дефлокуляции и диспергированию цементного теста за счет электростатического и стерического эффектов, обуславливающих причину длительной жизнеспособности бетонных смесей. Благодаря двухстадийному способу перемешивания практически вся добавка суперпластификатора участвует в разжижении бетонных смесей. Такой технологический прием существенно увеличивает характеристики удобоукладываемости смесей, что равноценно

увеличению дозировки добавок.

Из полученных данных также следует, что замена традиционного способа введения суперпластификатора на двухстадийное позволяет получать равноподвижные смеси при расходе добавки-модификатора приблизительно ниже на 20 %. Раздельный способ введения (В, затем Д) уступает двухстадийному перемешиванию, так как однородность распределения добавки в смеси выше, когда она вводится на втором этапе двухстадийного перемешивания бетонной смеси с оставшейся 1/3 частью воды затворения. Применение двухэтапного затворения бетонной повышает водоредуцирующий и пластифицирующий эффекты добавок-суперпластификаторов.

Таким образом, из-за высокой пористости кирпичного боя и его высокой поглотительной способности, для достижения требуемого эффекта разжижения необходимо либо значительно увеличивать дозировку суперпластификаторов выше 2 %, чтобы после абсорбционного насыщения избыток добавки обеспечивал необходимую степень разжижения, либо применять специальную двухстадийную технологию приготовления бетонной смеси. Применение высоких дозировок суперпластификаторов на практике не применяется, так как приводит к существенному повышению стоимости бетона. Этот вопрос успешно решается с использованием двухстадийного способа приготовления бетонной смеси.

5.4 Микроструктура бетонного композита из ККБ в зависимости от состава

Теплотехнические свойства бетонов тесно связаны с поровой структурой цементного камня и бетона. Размеры пор и капилляров, их объем в цементной матрице бетона существенно влияют на теплотехнические, эксплуатационные и другие показатели. Параметры пористой структуры легких бетонов на кирпичном бое приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Характеристика поровой структуры легких бетонов

№ состава	Расход, кг, на 1 м ³				Д, %		В/Ц	Плотность, кг/м ³	R ²⁸ _{сж} , МПа	Параметры поровой структуры композита			Водопоглощение % по массе, W _m
	Ц	Щ	Ппор	В	СП-1	Хидетал				Средний размер пор, λ, мкм	Однородность пор, α	Удельная поверхность пор, S ₀ , м ² /кг	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
бетоны бездобавочные													
1	252	798	552	281	-	-	1,16	1669	11,5	2,32	0,65	12,52	13,27
2	308	762	528	287	-	-	0,93	1688	17,1	2,26	0,61	11,44	12,83
3	341	738	523	298	-	-	0,87	1693	20,8	2,03	0,56	9,13	11,67
4	413	689	514	319	-	-	0,77	1724	27,2	2,13	0,52	9,06	11,34
бетоны с пластифицирующими добавками													
5	311	792	549	233	1,5	-	0,75	1728	24,8	1,96	0,61	8,89	9,34
6	308	796	542	241	-	1,5	0,72	1732	26,1	1,82	0,55	8,57	8,92
7	398	805	542	242	1,5	-	0,63	1744	35,6	1,55	0,51	8,02	7,69
8	402	788	544	243	-	1,5	0,61	1740	36,2	1,63	0,53	7,77	7,14
бетоны с пластифицирующими добавками и отдельным перемешиванием компонентов смеси													
9	311	789	551	228	1,2	-	0,73	1736	27,0	1,95	0,56	8,57	8,02
10	315	792	547	231	-	1,2	0,70	1741	27,3	1,61	0,48	8,26	7,12
11	405	806	539	243	1,2	-	0,61	1755	37,9	1,53	0,47	7,95	6,88
12	403	787	546	245	-	1,2	0,60	1753	36,8	1,55	0,50	7,51	6,12

Водопоглощение, как показатель открытой пористости легких бетонов с В/Ц 0,76–1,15, составляет 11–13 %, прочность сжати R_{28} при этом достигла 11,4–27,1 МПа. Применение суперпластификатора СП-1 снижает В/Ц бетонной смеси при одинаковых расходах цемента до 0,63–0,75, в то время как водопоглощение бетона уменьшается до 7,69–9,34 %, а прочность бетона возрастает до 24,8–35,6 МПа. Применение суперпластификатора Хидетал снижает В/Ц смеси до 0,61–0,72, водопоглощение бетона уменьшается до 7,14–8,92, прочность достигла 26,1–36,2 МПа.

Полученные данные показывают, что снижение В/Ц при помощи суперпластификаторов является эффективным способом снижения водопоглощения и повышения прочности бетонов на ККБ на 40–26 %.

Снижение В/Ц при помощи пластифицирующих добавок способствует формированию более плотной структуры, уменьшает размер пор ($\lambda = 1,55 - 1,96$ мкм) и повышает их однородность по размеру ($\alpha = 0,51 - 0,61$) в сравнении с бездобавочными составами.

Применение технологии отдельного перемешивания вносит дополнительный вклад в снижение В/Ц до 0,61–0,73 (СП-1) и до 0,60–0,70 (Хидетал), как следствие водопоглощение бетона снижается до 6,12–8,02, прочность растет до 27,0–37,9 МПа, при этом происходит заметное уменьшение радиуса пор. Поровая структура легких бетонов с заполнителями из керамического лома не имеет существенных различий с аналогичными показателями конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов на традиционных заполнителях. Физико-механические свойства бетона, как материала конгломератного типа, зависят от сцепления между цементной матрицей и заполнителем и состава контактных поверхностей. В этой связи проведены исследования состава и микроструктуры контактной зоны легких бетонов на заполнителях из ККБ. Рентгенофазовый анализ (РФА) контактной зоны исследовали на порошках, полученных соскабливанием тонких слоев с поверхности зерен заполнителя (рисунок 5.8).

Из рентгенограммы видно, что в контактной зоне зерна кирпичного боя

меньше портландита ($d = 4.923; 3.107; 2.642; 1.935; 1.802; 1.697; 1.495; 1.453$ Å) по сравнению с контактной зоной гранитного заполнителя, о чем можно судить по интенсивности пиков. Так как для производства керамического кирпича используются глины, состоящие из алюмосиликатов, 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 кристаллизуются частицы гидратных фаз, как положительно, так и отрицательно заряженные, тем самым способствуя формированию плотного контакта между элементами цементного бетона. В контактной зоне ККБ с цементной матрицей содержание положительно заряженных кристаллов портландита уменьшается, а отрицательно заряженных гидросиликатов увеличивается C_2SH_2 (9.8, 3.07, 2.8, 2.0, 1.83 Å), в отличие от контактной зоны гранитного заполнителя кислого состава с преимущественно электроотрицательным знаком заряда поверхности, где преобладает портландит.

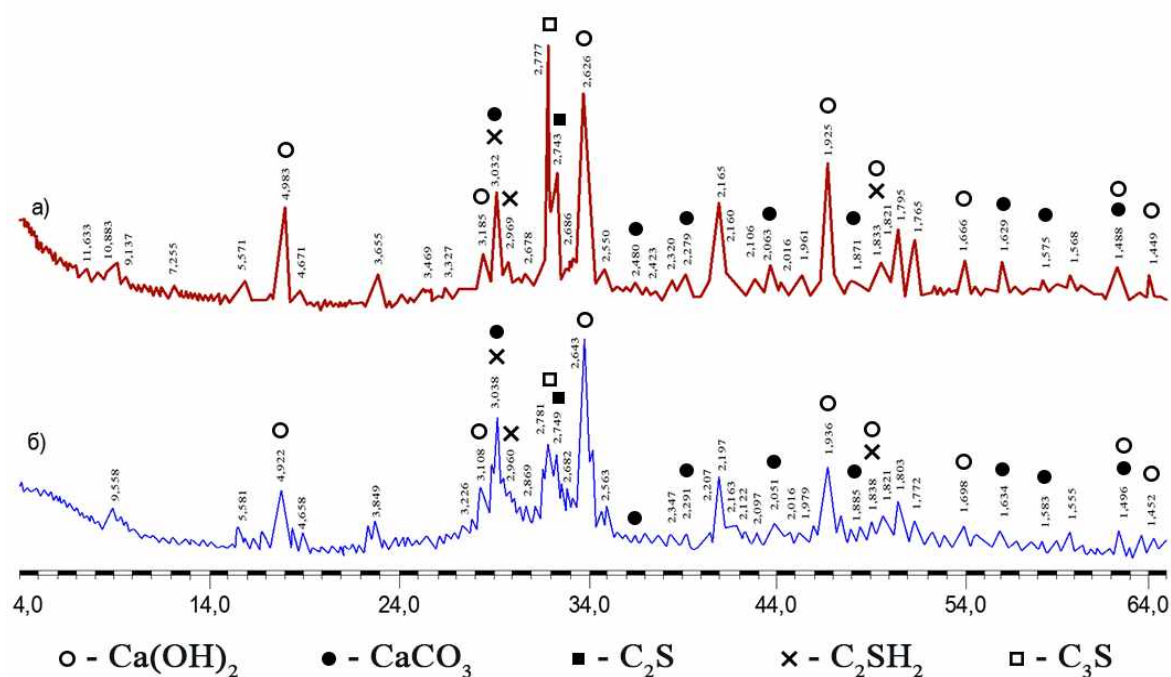


Рисунок 5.8 –Рентгенограмма межфазной переходной зоны:
а – на гранитном щебне; б – контактная зона на кирпичном бое

Несмотря на то, что кирпичный бой характеризуется повышенным

сцеплением в основном за счет физического срастания, а химического взаимодействия с компонентами цементной матрицы не происходит, электроповерхностные взаимодействия с гидратными фазами способствуют уплотнению зоны контакта между цементной матрицей и заполнителем из кирпичного боя.

В контактной зоне с керамическим боем выше содержание карбоната кальция ($d = 3,033; 2,481; 2,278; 2,064; 1,872; 1,628; 1,576; 1,487 \text{ \AA}$), так как после дробления лома на обломках кирпича остаются тонкие слои гидратных фаз, прочно закрепившихся на поверхности, которые карбонизировались в течение эксплуатации, повторного дробления и хранения. В контактной зоне гранита выше интенсивность пиков, характерных для негидратированных C_3S и C_2S (2,776 и 2,720 \AA , соответственно), в отличие от ККБ, что свидетельствует о менее интенсивном течении процессов гидратации.

Исследования микроструктуры показали, что характер контактной поверхности между цементной матрицей и заполнителями различной природы зависит от вида заполнителя (рисунок 5.9). В межфазной переходной зоне между вяжущей матрицей и гранитным заполнителем четко виден зазор, в цементном камне за пределами контактной зоны прослеживаются микротрещины.

Заполнитель из ККБ имеет плотное сцепление с цементной матрицей, контакт поверхности заполнителя с цементной матрицей не имеет зазора, граница раздела между ними не наблюдается. Можно отметить зону проникновения цементной матрицы в поры боя кирпича.

На фото (рисунок 5.9, *г*) показана микроструктура цементной матрицы бетона на заполнителе из ККБ, с высокой плотностью и однородностью, в отличие от структуры традиционных бетонов (рисунок 5.9, *в*). Зерна пористого кирпичного боя впитывают воду при затворении бетонной смеси, не образуя «водных линз», способных к миграции под воздействием температурных градиентов, образуя капилляры и поры. При этом отсос воды внутрь зерен ККБ на начальной стадии приводит к уплотнению вяжущей

матрицы в межфазной переходной зоне, что увеличивает адгезию с заполнителем.

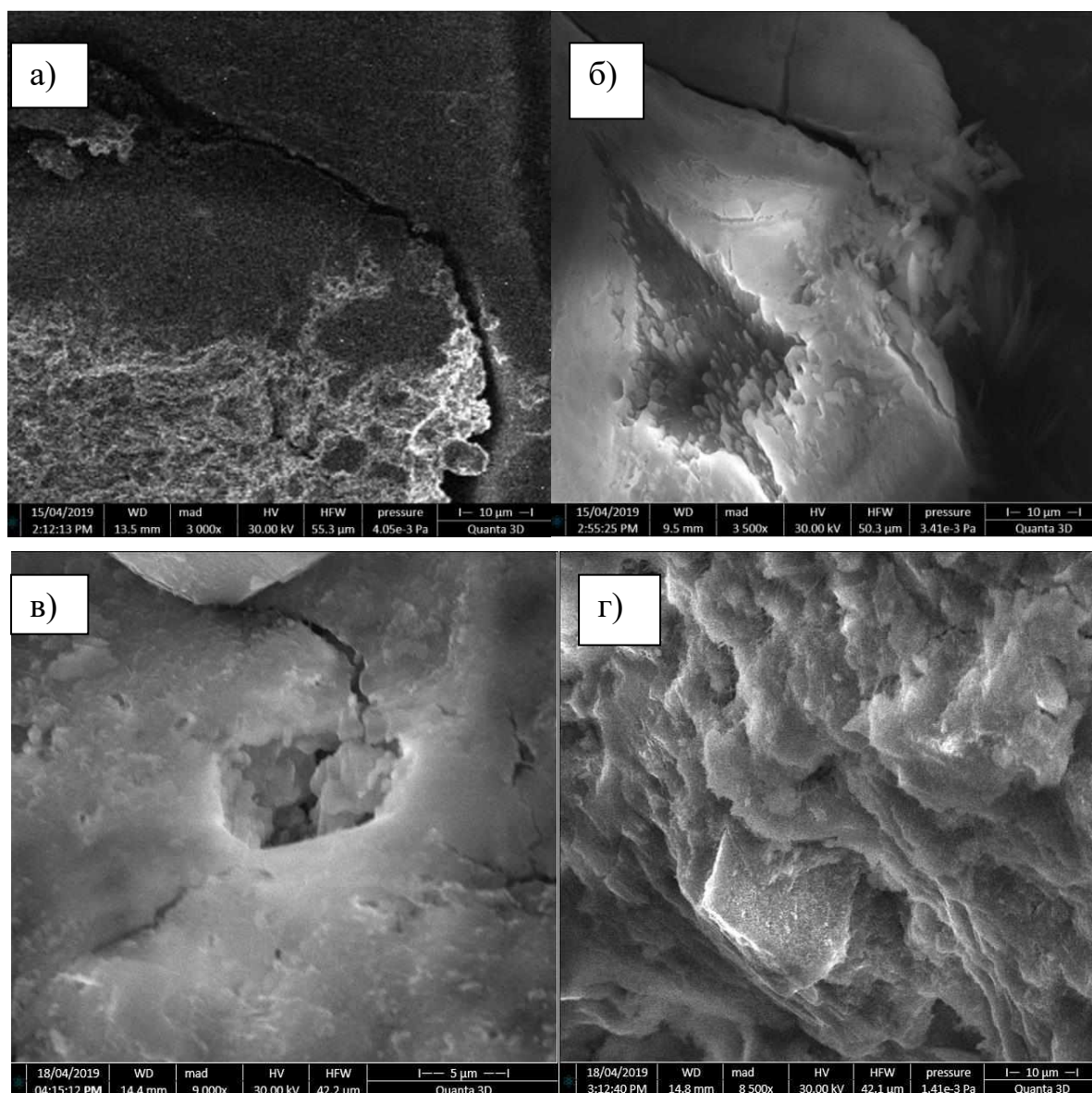


Рисунок 5.9 – Морфология межфазной переходной зоны (а, б) и вяжущей матрицы (в, г):

а – межфазная переходная зона вяжущей матрицы с гранитом; *б* – то же, с вторичным заполнителем из ККБ; *в* – структура цементного камня с гранитом; *г* – то же, с кирпичным боем

Подтверждено существенное влияние вида заполнителей на сцепление и состав контактных слоев между ними и цементной матрицей бетона. Высокая пористость и шероховатость поверхности зерен заполнителей из кирпичного лома обуславливают повышенное срастание в основном за счет физического

взаимодействия между цементной матрицей и заполнителем. При этом электроповерхностные явления между заполнителем из кирпичного лома и цементной матрицей способствуют усилению зоны контакта.

5.5 Технология стеновых материалов на ККБ

Отсевы дробления ККБ содержат до 15 % тонкодисперсной фракции с невысокой удельной поверхностью $S_{уд} = 90-195 \text{ м}^2/\text{кг}$. Следует учитывать, что степень положительного влияния тонкомолотых зависит от тонкости помола наполнителя. В этой связи возникает необходимость исследования вопроса о влиянии тонкодисперсной фракции отсева дробления ККБ на структурообразование и твердение цементной матрицы. С этой целью выполнены комплексные исследования в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [350] и ГОСТ 310.4-81 [366].

Удельную поверхность пылевидной фракции ККБ определяли методом воздухопроницаемости с использованием прибора ПСХ-12. Исследования проводили на образцах размером 4x4x16 см из растворной смеси с Вольским песком нормальной консистенции состава Ц:П = 1:3 ($V/C = 0,4$) с различной дозировкой пылевидной фракции 0–30 % от массы цемента. В качестве контрольных использовали образцы из растворной смеси нормальной консистенции без мелкодисперсного наполнителя ГОСТ 6139-2003 [367]. Компоненты бетонной смеси перемешивали в течение 60 с в лабораторном смесителе ЛРМ-15, образцы вибрировали 120–180 с на лабораторной виброплощадке СМЖ – 739. Прочностные свойства определяли через 1; 3; 7; 14 и 28 сут твердения в нормальных условиях (таблица 5.13).

Результаты испытаний показали, что с ростом наполнителя из ККБ 10–30 % предел прочности при сжатии образцов уменьшился незначительно на 2–9 %, в то время как предел прочности при изгибе образцов с тонкодисперсной фракцией из ККБ снижался в большей степени 2,8–16 % по мере роста содержания наполнителя из ККБ.

Таблица 5.13 – Скорость набора прочности композитов с применением мелкодисперсного материала от рециклинга кирпича

Состав смеси		В/Ц В/Т	Прочность образцов $\frac{R_{сж}}{R_{изг}}$, МПа в возрасте				
ПЩ	Тонкодисперсная фракция		1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1,0	0,0	0,40/0,10	11,5	23,7	30,6	38,8	50,4
			1,3	3,5	4,6	6,5	7,2
1,0	0,1	0,41/0,10	9,9	23,5	29,4	37,6	49,4
	0,2	0,42/0,10	1,1	3,2	4,3	6,2	7,0
			9,7	22,9	29,0	37,0	47,9
0,3	0,44/0,10	9,5	22,5	28,7	36,4	46,2	
			–	2,7	4,0	5,9	6,5
			–	2,5	3,6	5,7	6,0

Частицы пыли, осаждаясь на поверхности зерен заполнителя, препятствуют сцеплению заполнителя с цементной матрицей, тем самым ослабляют контактную зону между ними и снижают прочность. Так как при содержании пылевидного компонента 20 % в смеси прочность при сжатии снижается на 5 %, а при изгибе на 9 % (таблица 5.10), то содержание пылевидной фракции во вторичном песке из ККБ в количестве 15 % может несущественно повлиять на прочность бетона.

Для снижения отрицательного влияния пылевидной фракции на прочность бетона использован метод двухстадийного перемешивания бетонной смеси, включающий на первом этапе перемешивание смеси заполнителя с водой, на втором – в смесь вводили вяжущее. Из бетонных смесей состава Ц:П = 1:2, 1:3, 1:4 с песком из ККБ изготавливали образцы-кубы 7х7х7 см, прочность при сжатии определяли через 28 сут твердения (таблица 5.14).

Раздельное двухступенчатое перемешивание компонентов бетонной смеси повышает прочность легких бетонов до 27 %. При этом с увеличением доли песка от 1:2 до 1:4 и пылевидной фракции в составе песка, происходит повышение прочности при сжатии, чем выше доля каменной муки в составе смеси, тем эффективнее применение двухстадийного способа перемешивания.

Таблица 5.14 – Влияние способа перемешивания на прочность бетона на вторичном песке с каменной мукой

№ п/п	Ц:П	Доля каменной муки, % от массы П (кг)	В/Ц	Прочность на сжатие, МПа, через 28 сут		Прирост прочности, %
				Совместное перемешивание	Раздельное перемешивание	
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

На первой стадии перемешивания, когда смешивают заполнитель и наполнитель с водой, тонкодисперсные частицы, налипшие на поверхности крупного заполнителя, смываются водой, образуя суспензию, которая длительно находится в агрегативно-устойчивом состоянии, не вызывая их вторичного осаждения на поверхности зерен заполнителя (рисунок 4.10). Затем, после добавления вяжущего, тонкодисперсные частицы наполнителя смешиваются с частицами цемента выполняя роль микронаполнителя уплотняют цементную матрицу бетона, тем самым не оказывая отрицательного влияния на сцепление между цементной матрицей и заполнителем, что приводит к снижению прочности бетона.

Таким образом, использование двухстадийного способа перемешивания бетонных смесей на основе отходов дробления ККБ позволит уменьшить отрицательное влияние пылевидной фракции за счет налипания пылевидных частиц на вторичном заполнителе, что негативно влияет на сцепление между цементной матрицей и заполнителем. Применение двухстадийного перемешивания позволяет использовать отход ККБ без обогащения и фракционирования. Такая технология перемешивания является эффективной также для тяжелых цементных материалов с применением в качестве заполнителей материалов от рециклинга бетона.

По результатам исследований произведена экспериментальная партия блочных стеновых изделий на основе ККБ (388x190x188 мм) с несквозными

пустотами в два ряда. Блоки изготавливали методом полусухого вибропрессования на производственных мощностях предприятия ООО «МУСТАНГ» (г. Хасавюрт). Прочность бетона на ККБ для производства стеновых блоков соответствовала техническим требованиям и составила 23,2 МПа. Отклонение показателей прочности, теплопроводности, средней плотности и других эксплуатационных характеристик от заданных, не превышало 2–4 %.

В 2019 г предприятием ООО «Мустанг» построен жилой дом в г. Хасавюрт из стеновых пустотных блоков на основе ККБ.

В течение двух лет эксплуатации здания технических дефектов наружных стен, изготовленных из стеновых блоков на основе ККБ не обнаружено, теплозащитные свойства ограждения эффективно поддерживаются благодаря низкой средней плотности и теплопроводности (Приложения 10 и 11).

Выводы по 5 главе

1. Крупный и мелкий заполнитель на основе лома керамического кирпича обладает признаками активных заполнителей II-го типа, активность которых обусловлена физическим срастанием поверхности с цементной матрицей бетона за счет проникновения в поры и капилляры зерен заполнителей тонкодисперсных частиц вяжущего, при дальнейшей гидратации которых происходит образование гидратных фаз в порах, что способствует формированию дополнительных связей между цементной матрицей и заполнителем. Это усиливает силу сцепления между заполнителем из ККБ и цементной матрицей и снижает проницаемость контактного слоя.

2. Разработаны и исследованы оптимальные рецептуры лёгких бетонов классов В7,5 – В20 на материалах от рециклинга кирпича. Для снижения водопотребности бетонной смеси, обусловленной высокой открытой пористостью (12–14 %) заполнителя из лома, включающего обломки керамического кирпича и строительного раствора, предложено использование

добавок-суперпластификаторов. Снижение В/Ц с использованием суперпластификаторов СП-1 и Хидетал способствует ускорению набора ранней прочности (7 сут) 70–90 % от проектной соответственно, при этом ранняя прочность бетона без добавок составляет не более 60 % от проектной.

3. Установлено, что для достижения требуемого эффекта разжижения необходимо увеличивать дозировку суперпластификаторов, чтобы после абсорбционного насыщения пор заполнителя из ККБ избыток добавки обеспечивал необходимую степень разжижения. При дозировках 0,2–0,8 %, большая часть добавок поглощается керамическим кирпичным боем и не участвует в пластификации смеси. С ростом дозировок добавок до 1 % и выше разжижение повышается, так как не поглощенная порами заполнителя из кирпичного боя часть добавок суперпластификаторов адсорбируется на поверхности положительно заряженных активных центров клинкерных частиц, тем самым повышая разжижающий эффект.

4. Повысить разжижающее действие суперпластификаторов предложено путем использования двухстадийного способа приготовления бетонной смеси с вводом суперпластификаторов на втором этапе перемешивания. Такой технологический прием существенно повышает подвижность бетонной смеси, что равноценно увеличению дозировки добавок.

5. Разработаны составы легких бетонов крупнопористой структуры на основе ККБ, отличающихся низкой теплопроводностью, что дает возможность их применения в многослойных ограждающих конструкциях в качестве теплоизоляционного материала. Бетоны крупнопористой структуры характеризуются минимальной теплопроводностью 0,35 Вт/(м·°С). Бетоны плотной структуры на кирпичном бое рекомендуется использовать в качестве теплоизоляционно-конструкционного бетона.

6. Легкие бетоны с использованием заполнителя из кирпичного лома соответствуют требуемым эксплуатационным характеристикам для ограждающих конструкций: коэффициент Пуассона составил 0,22–0,25,

усадочные деформации не превышают 0,63 мм/м, коэффициент размягчения 0,80–0,84, $R_{ДР}/R_{КУБ}$ находится в диапазоне 0,74–0,83, показатель призмной прочности 10–30 МПа, модуль упругости составил $9–23 \cdot 10^3$ МПа. Поровая структура легких бетонов представлена мелкими ($\lambda = 1,56–1,95$ мкм) однородными по размеру ($\alpha = 0,50–0,60$) порами, по сравнению с бетоном на традиционном заполнителе, водопоглощение легких бетонов не более 7–9 %.

7. По данным РФА в контактной зоне ККБ с цементной матрицей содержание положительно заряженных кристаллов портландита уменьшается, а отрицательно заряженных гидросиликатов увеличивается по сравнению с контактной зоной гранитного заполнителя, так как поверхность капилляров у ККБ с преобладающим электроотрицательным знаком заряда также содержит и положительно заряженные центры (Al^{3+}). Это приводит к тому, что в зоне контакта кристаллизуются частицы гидратных фаз как положительно, так и отрицательно заряженные, тем самым усиливая формирование плотного контакта между элементами цементного бетона.

8. Исследования микроструктуры контактной зоны образцов бетона подтвердили наличие плотного срастания цементной матрицы с вторичным заполнителем из ККБ за счет физического срастания благодаря высокой пористости и шероховатости поверхности заполнителей.

9. Использование двухстадийного способа перемешивания бетонных смесей с применением заполнителей, полученных рециклингом кирпича, снижает отрицательное влияние пылевидной фракции на сцепление между цементной матрицей и заполнителем из-за налипания пылевидных частиц на частицах вторичного заполнителя. Предварительное перемешивание заполнителя с водой затворения способствует повышению прочности бетона при сжатии на 11–27 %. Применение двухстадийного перемешивания позволяет использовать отход ККБ без обогащения и фракционирования.

10. Изготовлена экспериментальная партия блочных стеновых изделий на основе ККБ (388x190x188 мм) с несквозными пустотами методом полусухого вибропрессования на производственных мощностях предприятия

ООО «МУСТАНГ» (г. Хасавюрт), с использованием стеновых блоков построено административное здание. В течение всего периода эксплуатации здания технических дефектов наружных стен не обнаружено, теплозащитные свойства эффективно поддерживаются благодаря низкой средней плотности и теплопроводности легкого цементного композита с применением заполнителей, полученных рециклингом кирпича.

6. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

6.1 Повышение эффективности кладочного раствора для возведения стен из блоков на основе керамического кирпичного боя

По закону сродства структур [237], целесообразно для кладки стен из блоков на основе керамического кирпичного боя использовать композиционное вяжущее с тонкодисперсным наполнителем из керамической пыли. Для проверки этого предположения были выполнены следующие эксперименты.

Кладочные растворы изготавливали на различных композиционных вяжущих, в качестве наполнителей использовали тонкомолотые силикатный кирпич, керамический кирпич, пыль на основе керамзитобетона, в качестве контрольного использовали состав с тонкомолотым кварцевым песком. Наполнитель вводили в количестве 40 % от массы вяжущего, состав раствора 1:3, водовяжущее отношение подбирали при помощи стандартного конуса ($OK = 9-10$ см). В таблице 6.1 сведены показатели физико-механических свойств растворных смесей и растворов.

Таблица 6.1 – Составы и 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			
							Мароч- ная	Фактическая (тв. на 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

Водоудерживающая способность растворовых смесей всех составов, в том числе и контрольных – более 98%, что соответствует нормативным требованиям.

Большое расхождение значений марочной прочности растворов (установленной испытанием стандартных образцов-кубов) в диапазоне 10,4–17,5 МПа обусловлено влиянием не только водотвердого отношения смеси, но и тонкодисперсного минерального наполнителя вяжущего. Максимальная прочность отмечена у составов №2 и №3, приготовленных на основе вяжущих с наполнителем из тонкодисперсных материалов, содержащих керамические компоненты. Применение минерального наполнителя на основе тонкоизмельченного силикатного кирпича снижает марочную прочность раствора состава №1 на 15 % по сравнению с керамическими наполнителями. Минимальная марочная прочность у контрольного состава №4 с тонкодисперсным кварцевым песком – 10,4 МПа, что на 20–30 % ниже, чем у растворов на композиционных вяжущих с техногенными наполнителями, но при этом соответствует требуемым маркам для кладочных растворов.

Марочная прочность кладочных растворов отличается от их фактической прочности в кладке, так как при твердении раствора в кладке на пористом основании происходит поглощение воды стеновым материалом, что может существенно снизить оптимальное содержание воды в растворе и привести к неблагоприятным последствиям, как правило, к замедлению твердения и недостаточной прочности. Но при этом прочность слоя затвердевшего раствора на основании более высокая, чем кубиковая, что обусловлено толщиной и сцеплением раствора с пористым основанием, воспринимающим растягивающие напряжения. Результат действия этих двух противоположных факторов наиболее заметен на первом этапе эксплуатации конструкций, когда наиболее интенсивно наблюдается развитие усадочных деформаций всех взаимосвязанных элементов конструкций.

Известны два способа, повышающие сопротивление развитию негативных процессов: повысить способность раствора набирать прочность

при твердении в контакте с пористыми стеновыми материалами и усилить сцепление с раствором.

В этой связи проведены исследования по влиянию разных представителей стеновых материалов: керамического кирпича, силикатного кирпича и блока из ККБ на фактическую прочность раствора, твердевшего в кладке на их основе. Фактическую прочность раствора измеряли неразрушающим ударно-импульсным методом с использованием прибора ОНИКС-2.5 (ГОСТ 22690-88). Как видно из таблицы 6.1, прочность растворов, твердевших в контакте с различными стеновыми материалами, существенно различается.

Наибольшую прочность (≈ 70 % от марочной) в течение 28 суток набирают растворы различных составов в кладке из керамического кирпича. Незначительно уступают по прочности растворы, твердевшие в контакте с цементными блоками на ККБ, они набирают около 60–75 % от марочной. Контрольный состав раствора в данных условиях за 28 сут достигает 50–60 % от марочной прочности. Наименьшую прочность (30–50% от марочной) показали все составы растворов в кладке из силикатного кирпича, при этом фактическая прочность контрольного состава составила 5,1 МПа, что является существенно низким показателем, в процессе испытаний наблюдалось интенсивное разрушение растворных слоев.

Большое влияние на твердение раствора оказывают не только вид стенового материала, но и климатические условия (перепады температур и влажности среды, скорость ветра и др.). Очень важным условием является то, чтобы раствор интенсивно набирал прочность до того, пока сохраняется фаза относительно удовлетворительной влажности раствора в строящейся кладке. После этого непродолжительного периода наступают неблагоприятные условия твердения: если раствор не набрал большую прочность, тем выше риск появления дефектов. Наиболее интенсивно прочность растет в течение первых 3–4 суток, затем наблюдается существенное снижение скорости твердения, что возможно связано с уменьшением количества воды в

результате испарения и химического связывания воды, необходимого для полного завершения процессов гидратации.

С целью исследования особенностей твердения различных растворов во временном интервале изучена кинетика нарастания прочности в зависимости от вида наполнителя в композиционных вяжущих (рисунок 6.2).

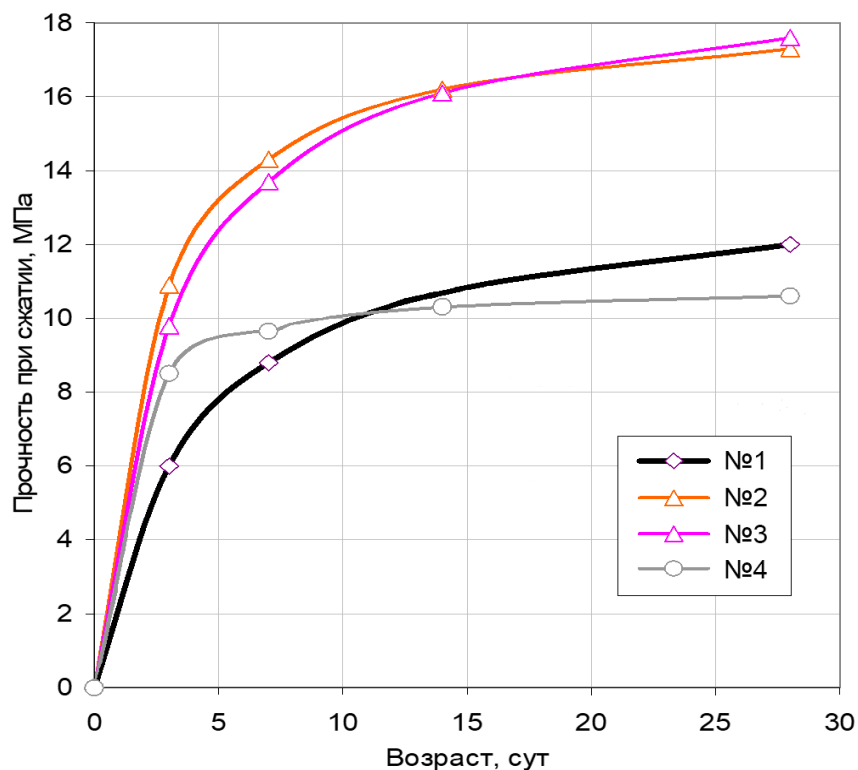


Рисунок 6.2 – Кинетика нарастания прочности растворов в зависимости от вида наполнителя в композиционных вяжущих:

№1 – силикатный кирпич; №2 – керамический кирпич; №3 – керамзитобетон;
 №4 – кварцевый песок

У растворов № 2 и № 3 с минеральной добавкой из керамического кирпичного боя и керамзитобетона набор прочности с незначительной скоростью возрастает до 28 сут, что свидетельствует о положительном влиянии наполнителя на процессы гидратации композиционного вяжущего, за счет способности аккумулировать влагу и отдавать ее со временем. При этом контрольные образцы № 4 с минеральной добавкой из тонкомолотого кварцевого песка набирают прочность до 14 сут, после чего набор прочности резко замедляется, что свидетельствует о прекращении реакций гидратации и твердения раствора.

Таким образом, керамические наполнители композиционных вяжущих благоприятно влияют на процессы гидратации клинкерных минералов, способствуют достижению более полной степени гидратации вяжущего в производственных условиях кладки и тем самым показывают высокую эффективность композиционных вяжущих.

6.1.1 Влияние композиционных вяжущих на свойства кладочных растворов

Очень важным способом повышения качества кладки является усиление адгезии раствора к стеновым штучным материалам. При выборе способа усиления адгезии между кладочным раствором и строительным материалом на основе ККБ опирались на основные принципы сродства структур. Методика определения адгезии разработана специалистами БГТУ им. В.Г. Шухова. Для определения адгезии вырезали образцы из стенового материала размером 120x60x30 мм, склеивали кладочным раствором толщиной 8–12 мм, после твердения раствора производили отрывание образцов с использованием оборудования ОНИКС-ОС, адгезию рассчитывали по отношению усилия отрыва к площади контакта слоя раствора с образцом. Результаты приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Влияние состава кладочного раствора на адгезию к материалам

Вяжущее (наполнитель)	Адгезия к материалам, МПа		
	Кирпич керамический	Кирпич силикатный	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

При проведении исследований исходили из того, что существенным обстоятельством, улучшающим сцепление между стеновым материалом и раствором, является сродство структур этих материалов. Данные таблицы 6.2 отражают взаимосвязь между адгезией и сродством структур практически у всех составов на композиционных вяжущих. При этом растворы, интенсивно твердеющие в кладке, показывают и более высокие значения адгезии, что прослеживается из сопоставления с данными по прочности, приведенными в таблице 6.1.

У состава (№2) с наполнителем из керамического тонкодисперсного материала наибольшая прочность сцепления в кладке (0,62 МПа) с керамическим кирпичом, что незначительно превышает (3–5 %) прочность сцепления с блоками на основе керамического кирпичного боя. При этом адгезия значительно выше на 10–30 %, по сравнению с остальными составами на основе композиционных вяжущих. У контрольного состава (№4) на кварцевом минеральном наполнителе адгезия к керамическому кирпичу и блокам на ККБ практически в два раза ниже, что согласуется с основными положениями сродства структур.

При использовании в качестве стенового материала бетонных блоков на ККБ наилучшие результаты показал состав №2, приготовленный из композиционного вяжущего с керамическим кирпичным наполнителем в качестве минеральной добавки. Величина адгезии составила 0,59 МПа, что выше адгезии раствора №2 к силикатному кирпичу на 25 %.

При использовании силикатного кирпича у растворов на вяжущих составов №2–№4 сила сцепления снижается от 0,34 до 0,28 МПа. Однако адгезия к силикатному кирпичу состава №1 на наполнителе из измельченного силикатного кирпича повышается до 0,48 МПа. Низкую прочность растворов в кладке из силикатного кирпича необходимо учитывать с темпами строительства и тем, что прочность раствора может увеличиваться со временем при наличии оптимальных для твердения условий, что не отражается на величине адгезии.

Согласно закону сродства структур, большое влияние на совместимость материалов оказывают их деформативные характеристики. К ним относятся деформации усадки и набухания; упругие и необратимые нагрузочные; термические. В этой связи изучены усадочные деформации, набухание и тепловое расширение как растворов, так и основных кладочных материалов.

Как видно из графиков (рисунок 6.3), интенсивность деформаций усадки растворов обусловлена составом композиционного вяжущего, деформации определяли в течение 28 суток.

Величина усадки исследуемых растворов находится в диапазоне 0,2–0,35 мм/м, кроме раствора на составе №3, усадка которого составила приблизительно 0,45 мм/м, что типично для тяжелых и мелкозернистых бетонов (0,3–0,45 мм/м).

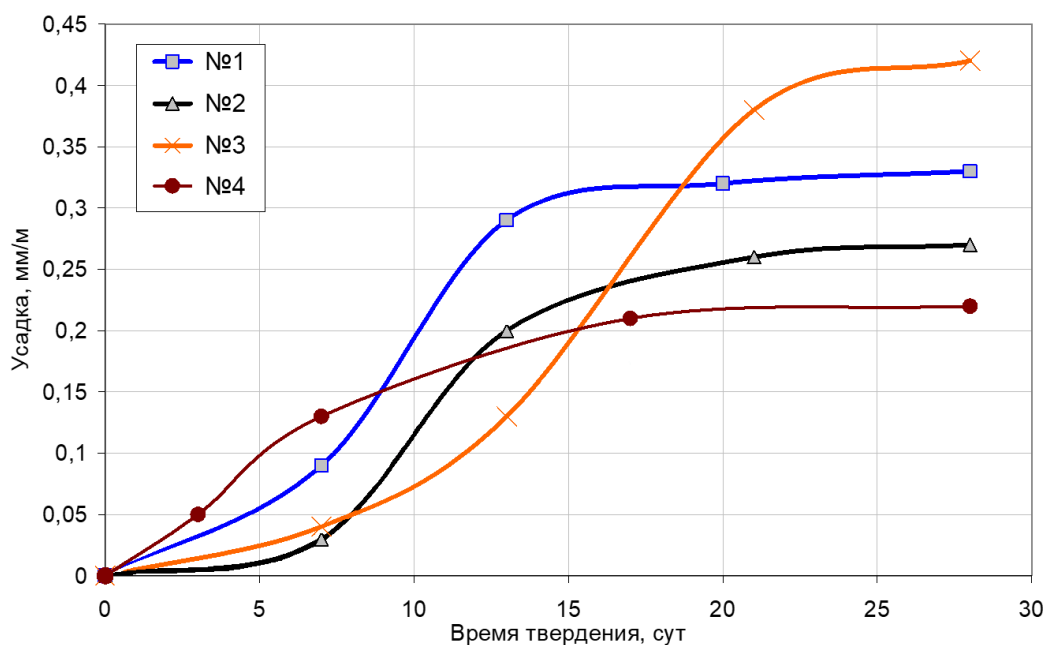


Рисунок 6.3 – Кинетика усадочных деформаций кладочных растворов в зависимости от вида наполнителя композиционного вяжущего:
 №1 – силикатный кирпич; №2 – керамический кирпич; №3 – керамзитобетона;
 №4 – кварцевый песок

У растворов на составах №1 – №3 кривые усадочных деформаций «S-образной» конфигурации, что предоставляет возможность зафиксировать три фазы усадочных деформаций и связать их с кинетикой нарастания прочности

(рисунок 6.2) и адгезией к мелкоштучным материалам. В ранние сроки до 7 суток твердения у растворов (составы №1 – №3) наблюдаются минимальные усадочные деформации и максимальное нарастание прочности, что, возможно, связано со способностью композиционных вяжущих удерживать влагу, необходимую для процессов гидратации. В интервале 7–15 суток наблюдается интенсивный рост усадочных деформаций и снижение темпов твердения в связи с исчерпанием необходимого количества влаги для завершения процессов гидратации клинкерных минералов. После 15 суток гидратационные процессы замедляются из-за потери влаги и снижения клинкерного ресурса, что сопровождается торможением роста прочности и усадки, на графиках наблюдается выполаживание кривых.

У раствора на составе №3 на основе вяжущего с тонкоизмельченным керамзитобетоном, наблюдается сдвиг на 3–5 суток аналогичных периодов, что совпадает с кинетикой набора прочности. Продление периода интенсивного твердения сопровождается более полной гидратацией клинкерного фонда и максимальной прочностью по сравнению с другими составами с повышенными усадочными деформациями.

Наличие тонкодисперсного наполнителя из силикатного кирпича в кладочном растворе №1 повышает усадочные деформации в ранний период до 7 суток, что сопровождается медленным набором прочности (рисунок 6.2). С течением времени прочность продолжает нарастать, достигая достаточной величины марочной прочности и высоких показателей усадки.

Твердение раствора контрольного состава №4 сопровождается развитием в начальный период максимальной усадки, в последующем наблюдается замедление усадки с постоянной скоростью. Это обусловлено тем, что раствор контрольного состава слабо сохраняет влагу, в результате происходит интенсивное испарение воды и отсос воды пористым стеновым материалом. У контрольного состава наименьшая продолжительность 3–4 сут активного твердения (рисунок 6.2) и пониженная прочность. Таким образом, кинетика роста деформаций усадки тесно связана со структурными

показателями цементной матрицы на композиционных вяжущих, обусловленными влиянием тонкодисперсной минеральной добавки.

Долговечность каменных кладок во многом зависит от величины теплового расширения стеновых штучных материалов и растворов при перепадах температуры до 55 °С, что соответствует максимальным среднесуточным перепадам температур в Центральном регионе РФ (рисунок 6.4).

Расширение стеновых материалов при нагревании на 55°С соответствует 0,4–0,5 мм/м. У растворов составов №1–№4 деформации расширения соответствуют 0,15–0,4 мм/м, у раствора контрольного состава показатель термического расширения 0,5–0,65 мм/м, что несколько выше по сравнению со стеновыми материалами. Численные показатели коэффициентов теплового расширения приведены в таблице 6.3

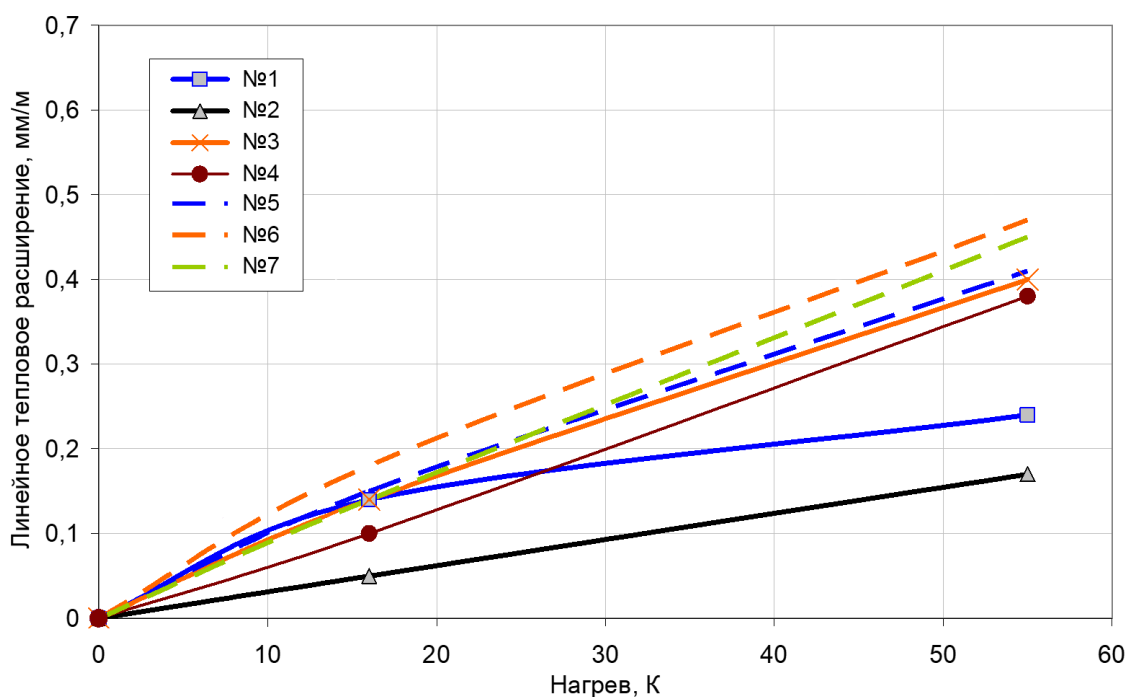


Рисунок 6.4 – Термическое расширение материалов в зависимости от состава раствора на композиционных вяжущих с различным наполнителем:

№1 силикатный кирпич; №2 –керамический кирпич; №3 –керамзитобетон; №4 –кварцевый песок. Стеновые материалы: №5–керамический кирпич; №6–блок на ККБ; №7– силикатный кирпич

Таблица 6.3 – Коэффициенты расширения материалов при водонасыщении и нагревании

Материал	Коэф. теплового расширения, $\times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		Набухание при полном водонасыщении, мм/м
	Эксперимент	Справочные данные	
№1 (Сил.к)	0,42	–	0,33
№2 (Кер.к)	0,31	–	0,56
№3 (Керам.б)	0,71	–	0,68
№4 (Кв.п)	0,70	–	0,69
Кер. кирпич	0,76	5,5-6,3	0,42
Сил. кирпич	0,83	0,8	0,39
Блок на ККБ	0,87	–	0,26

Разница по величине теплового расширения для разных сочетаний «стеновой материал – раствор» ниже 0,1 мм/м при колебаниях температуры в диапазоне 15–20°C, что не является критичным. Если рассматривать более широкие колебания температуры при циклическом нагревании-охлаждении, то предпочтительнее либо совпадение величины теплового расширения раствора и стенового материала, либо несколько увеличенное значение теплового расширения раствора относительно стеновых материалов. При данных условиях стеновой материал, благодаря преимуществу по прочности и массивности, при дополнительных нагрузках, вызванных расширением кладочного раствора, не получает повреждения. Если термическое расширение стенового материала выше, чем раствора, возникает опасность разрушения раствора под воздействием возникающих растягивающих напряжений, что может привести к снижению работоспособности кладки. Влияние факторов теплового расширения увеличивается при резких температурных перепадах в период эксплуатации теплового оборудования (печи, дымоходы и др.).

Согласованность показателей деформации набухания кладочного раствора и стенового материала является не менее значимым показателем

результативности их общей работы. В таблице 6.4 приведены экспериментальные данные по деформациям набухания при полном водонасыщении.

Самые высокие значения показателя деформации набухания 0,5–0,7 мм/м у растворов составов №2 – №4. У стеновых материалов этот показатель снижается до 0,25–0,45 мм/м, что обусловлено особенностью микроструктуры материалов, представленной высокодисперсными новообразованиями с развитой поверхностью, а также наличием тонкодисперсных минеральных добавок. Установленное соотношение деформаций набухания у кладочного раствора и стеновых материалов, может оказывать положительное действие при надежном сцеплении между ними. С ростом увлажнения кладки будет развиваться обжатие раствора в связи с передачей растягивающих напряжений на мелкоштучный стеновой материал. В условиях увеличенной влажности системы может наблюдаться «самозалечивание» микротрещин, что обусловлено взаимодействием «раскрытых» клинкерных частиц с водой с образованием гидросиликатного клея, способного связывать стенки микродефектов.

Кладочный раствор состава №1 характеризуется набуханием при увлажнении, аналогичным с представленными стеновыми материалами, при увлажнении конструкции это способствует сохранности растворной части кладки, эффект самозалечивания не будет проявляться.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что выбор композиционных вяжущих необходимо осуществлять с учетом сродства к стеновому материалу. Это дает возможность создавать эффективные кладочные растворы, которые по комплексу существенных показателей практически в два раза превосходят традиционные растворы аналогичного назначения.

6.1.2 Микроструктура растворов, твердеющих на разнотипных основаниях

Совместная работа стенового материала и кладочного раствора определяет эксплуатационные свойства кладки. Большую роль играют физико-механические процессы, протекающие в контактных слоях между кладочным раствором и пористым основанием. В этой связи проведены исследования действия закона сродства структур в процессе формирования микроструктуры контактной зоны между стеновыми блоками на ККБ и растворами на основе композиционных вяжущих.

На рисунке 6.5 показана контактная поверхность между стеновым материалом и раствором. Микроструктура раствора характеризуется наличием пор размерами 0,1–0,2 мм, образовавшихся в результате воздухововлечения при перемешивании и недоуплотнения, срез раствора представлен достаточно однородными структурными элементами. Срезы блока на ККБ (а, б) плотные, составные элементы омоноличены цементной матрицей.

Контактная зона слабо прослеживается, что свидетельствует о высокой степени взаимодействия на структурном и физико-химическом уровне материала на основе ККБ и раствора.

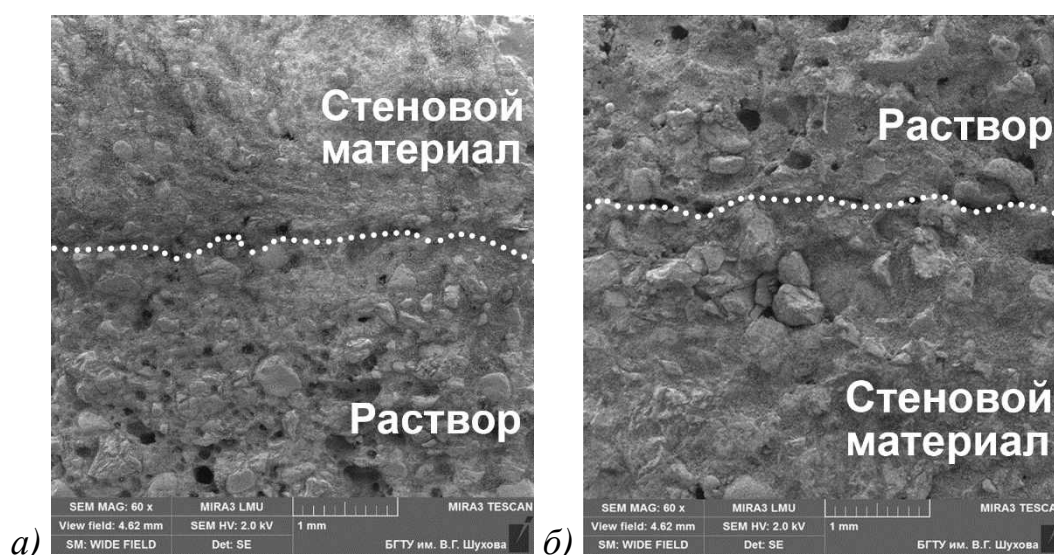


Рисунок 6.5 – Контактная зона раствора с блоком на ККБ:
а) КВ с керамическим наполнителем; б) портландцемент

На рисунке 6.6 показаны микрофотографии контактной зоны блока на ККБ с раствором на основе композиционного вяжущего с наполнителем из керамического боя (а) и традиционного портландцемента (б) при большем увеличении.

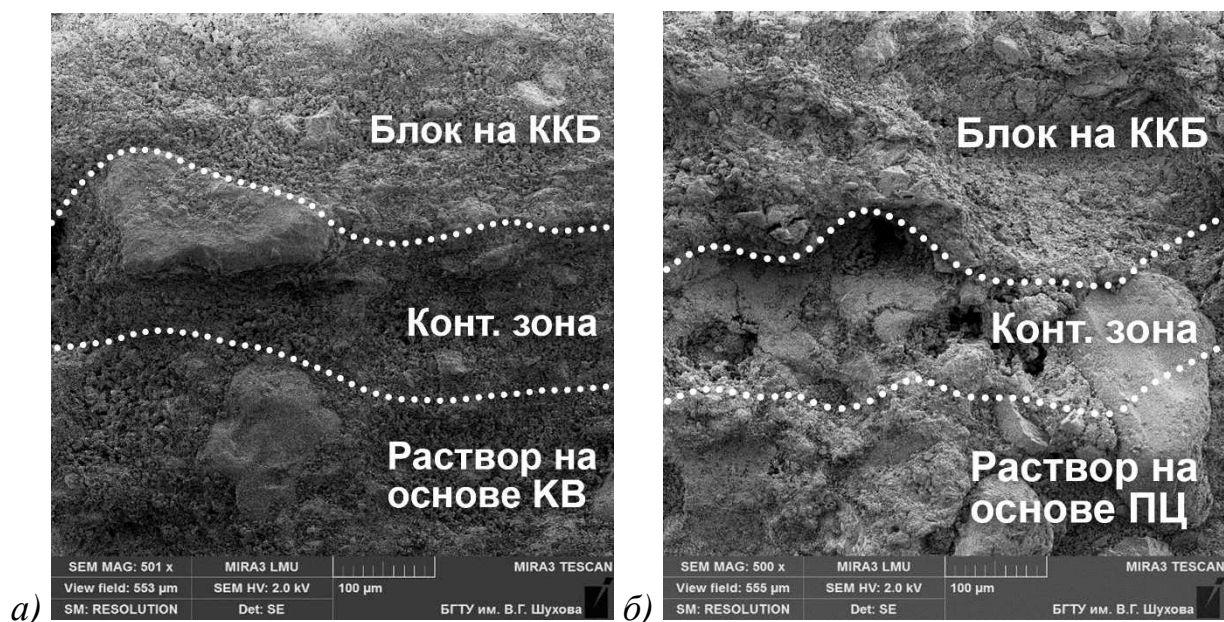


Рисунок 6.6 – Контакт блока на основе ККБ с кладочным раствором на базе композиционного вяжущего (а) и традиционным раствором (б)

Межфазная переходная зона раствора на КВ со стеновым материалом на основе ККБ размыта (рисунок 6.6), не наблюдается резкого перехода от поверхности блока к раствору. Структура контактной зоны плотная, в отличие от контактной поверхности между стеновым блоком на ККБ и раствором на портландцементе. Благодаря высокой дисперсности композиционного вяжущего, происходит глубокое проникание в пористые поверхностные слои стенового материала на ККБ, а схожесть составов обуславливает формирование идентичной структуры в зоне раздела стенового материала на ККБ и раствором на композиционном вяжущем с керамическим наполнителем. Благодаря сродству структур материала на ККБ и раствора на основе композиционных вяжущих, сформированная контактная зона эффективно выполняет роль связующего элемента, обеспечивающего

монолитность кладки.

Таким образом, на основе закона сродства структур для кладки стен из блоков на основе керамического кирпичного боя целесообразно применять композиционное вяжущее с тонкодисперсным наполнителем из боя керамического кирпича. Благодаря сродству структур стенового материала на ККБ и кладочного раствора формируется зона контакта с идентичной структурой, эффективно выполняющая функцию связующего элемента, обеспечивающего монолитность кладки.

Применение композиционного вяжущего 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.

6.2 Строительные растворы с использованием

золошлаковых отходов

6.2.1 Комплексная модифицирующая добавка на основе

золошлаковых отходов

В настоящее время образуется большое количество техногенных отходов в виде зол, шлаков, отсевов камнедробления, строительных отходов и др., утилизация которых в производстве строительных материалов позволяет добиться снижения себестоимости продукции и негативного воздействия на экологическую обстановку.

Использование зол и шлаков ТЭЦ в строительных растворах эффективно, благодаря их гидравлической активности, за счет чего способствует экономии до 30 % вяжущего [221]. Распределение основных источников золошлаковых отходов в Российской Федерации представлено на рисунке 6.7.

Золошлаковые смеси, как и другие техногенные отходы, характеризуются рядом отрицательных свойств: нестабильностью состава, присутствием различных примесей, большими затратами на переработку и др.

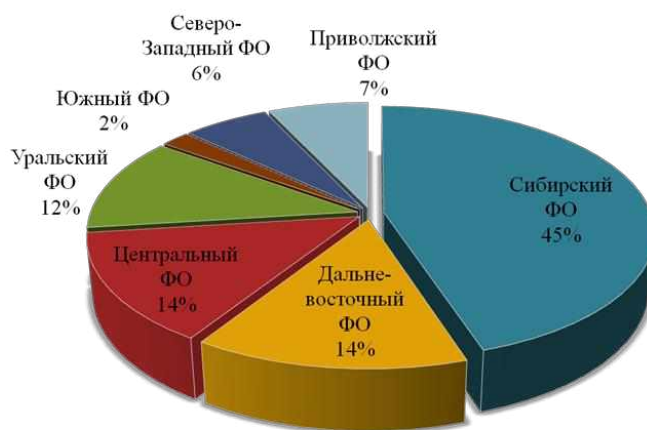


Рисунок 6.7 - Распределение золошлаковых отходов в РФ

Для улучшения полифункциональных свойств золошлаковых смесей предложено использовать их механоактивацию совместно с суперпластификатором С-3, благодаря чему изменяется структура и реакционность золошлаковой смеси, что способствует оптимизации технических свойств композитов на их основе. Механоактивированная золошлаковая смесь, полученная совместным измельчением отхода с суперпластификатором С-3, может быть использована как комплексная модифицирующая добавка (КМД) (таблица 6.4) для строительных растворов и бетонов.

Таблица 6.4 – Свойства комплексной модифицирующей добавки

Состав		Время помола, мин	Удельная поверхность, см ² /г
ЗШС, %	С-3, %		
98,5	1,5	1-1,5	4768
		3-4	5945
		5-6	7124

На первом этапе изучали влияние механоактивированных золошлаковых отходов на активность вяжущего, на следующем этапе – влияние КМД на свойства растворов.

Влияние КМД на активность вяжущего исследовали на образцах 4x4x16 см в соответствии с ГОСТ 310.4, после 28 сут твердения образцов в нормальных условиях определяли физико-механические свойства. Для проведения исследований эффективности применения комплексной модифицирующей добавки (КМД) на основе золошлаковых отходов ТЭЦ использовали Чири-Юртовский цемент (ЦЕМ I 42,5 Н), в качестве мелкого заполнителя использовали местные кварцевые пески ($M_k = 1,2-1,9$). Золошлаковую смесь измельчали в мельнице МЛР-15 в течение 5–20 мин, что позволило получить тонкодисперсный порошок с различной удельной поверхностью $S_{уд} = 400-800 \text{ м}^2/\text{кг}$. Дозировка комплексной модифицирующей добавки составила 10–70 % от массы вяжущего.

На основе проведенных исследований физико-механических свойств установлено, что оптимальная дозировка КМД ($S_{уд} = 470 \text{ м}^2/\text{кг}$) составила 10 % от массы вяжущего, при этом с дальнейшим ростом дозировки КМД в составе вяжущего существенное улучшение технологических и физико-механических свойств не наблюдается. С ростом удельной поверхности золошлаковой модифицированной добавки до $S_{уд} = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$ эффективность действия добавки мало меняется, поэтому измельчение до $S_{уд} = 400-500 \text{ м}^2/\text{кг}$ является наиболее приемлемым для подготовки КМД, что очень ценно для энергосбережения. Производство, применение и хранение КМД на основе золошлаковой смеси должно происходить при соблюдении общепринятых мер техники безопасности в строительстве.

Для строительных растворов очень важными показателями технологических свойств являются показатели удобоукладываемости, жизнеспособности и водоудерживающей способности, обеспечение которых особенно важно в связи с длительной транспортировкой к месту строительства по горному пересеченному рельефу местности, преобладающему в республике. Необходимость длительного сохранения свойств строительной смеси также диктуется климатическими условиями в Чеченской Республике, когда в летний период наблюдается жаркая сухая погода, что резко снижает

период живучести растворной смеси. В зимний период, когда наблюдается низкая температура и повышенная влажность 60–70% воздуха, необходимы строительные растворы с оптимальными технологическими свойствами и быстрым структурообразованием.

Исследовали влияние комплексной модифицирующей добавки на основе золошлаковой смеси на водоудерживающую способность растворной смеси с использованием стандартной методики [221] (таблица 6.5). Водоудерживающая способность находилась в пределах 97,3–98,2 % и мало зависела от вида мелкого заполнителя.

Таблица 6.5 – Влияние комплексной модифицирующей добавки на свойства растворов

№ п/п	Наименование заполнителя для состава 1:3	КМД, % от массы Ц	Прочность на сжатие, МПа	Диаметр расплыва на ЛВС, см	Водоудерживающая способность, %	Адгезия, МПа	Расплаиваемость, %	Жизнеспособность, 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	

Исследована адгезия растворов к основанию на вяжущем с 10 % комплексной минеральной добавки в зависимости от вида кварцевого песка различных месторождений. Как показывает практика, качество любых видов строительных растворов (штукатурных, кладочных и др.), зависит в большой степени от прочности сцепления с пористым основанием. На песках Толстой-Юртовского и Червленого месторождений адгезия достигла 0,50 МПа, на песках Веденского и Бено-Юртовского месторождения адгезия 0,42 МПа. Более высокая адгезия повышает эксплуатационные свойства растворов, в то время как низкая адгезия может привести к предвременному отслаиванию штукатурных покрытий и облицовочной плитки, разрушению кирпичной кладки.

Жизнеспособность растворов мало зависела от вида применяемого мелкого

заполнителя, находилась в пределах 3–5 ч.

Предложенные составы с КМД имеют требуемую морозостойкость и стойкость против высолообразования, что особенно актуально для Чеченской Республики. Морозостойкость строительных растворов с КМД обусловлена меньшей капиллярной пористостью за счет минимизации В/Ц и рационального соотношения заполнителя и КМД в смеси, что оптимизирует гранулометрический состав раствора. Снижение высолообразования на поверхности каменной кладки и оштукатуренных поверхностей, наиболее интенсивного при повышенном увлажнении в зимний период времени, обеспечивается за счет связывания щелочей жидкой фазы цементной матрицы с активным кремнеземом КМД. Снижение высолообразований повышает эстетический вид ограждающих конструкций зданий, снижает дополнительные затраты на текущий ремонт и ликвидацию последствий высолообразования.

Из полученных результатов проведенных исследований следует, что применение КМД в строительных растворах оказывает положительное влияние на их технологические и физико-механические свойства. Целесообразно для получения строительных растворов с повышенными технологическими и механическими свойствами использовать комплексную модифицирующую добавку до 30 % от массы вяжущего. С ростом количества КМД свыше 30 % существенного улучшения технологических и физико-механических свойств строительных растворов на мелких песках не наблюдается, что свидетельствует о нецелесообразности применения высоких дозировок КМД. Кроме того, повышенные дозировки КМД способствуют проявлению нестабильности свойств составов, а также могут вызвать расслоение растворной смеси.

Использование в качестве КМД местных техногенных отходов значительно снижает себестоимость строительных растворов, а качество разработанных рецептур строительных растворов на мелких местных песках отвечает существующим нормативным требованиям. Использование

строительных растворов на основе КМД в зависимости от условий эксплуатации вносит большой вклад в развитие стройиндустрии Чеченской Республики.

6.2.2 Структурообразование цементного камня с комплексной модифицирующей добавкой

Влияние комплексной модифицирующей добавкой на процессы начального структурообразования цементного камня исследовали на вяжущем Чири-Юртовском ЦЕМ I 42,5 Н с различными дозировками КМД. На основе исследований установлены особенности формирования структуры цементного камня с использованием КМД (рисунок 6.8).

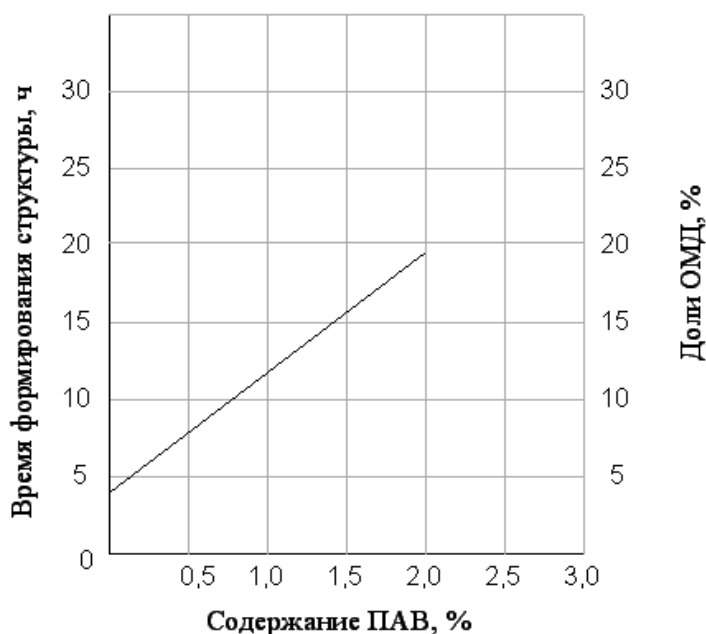


Рисунок 6.8 – Формирование структуры цементного камня в зависимости от содержания С-3 и КМД

С ростом количества КМД в вяжущем до 20 % время формирования структуры цементного камня продлевается от 4 до 18 ч. Повышение дозировки СП С-3 в составе смеси 0–2 % увеличивает время формирования структуры до 11–13 ч, при неизменном количестве КМД. Используя различные дозировки С-3 и КМД, можно управлять периодом начального структурообразования

раствора.

При помощи рентгенофазового анализа, проведенного в лаборатории НТЦКП ГГНТУ, исследовали фазовый состав цементного камня с добавкой золошлаковой смеси. Интенсивность гидратации образцов с КМД учитывали по степени гидратации основного клинкерного минерала C_3S , что составило 80%. На рентгенограмме (рисунок 6.9) присутствуют межплоскостные расстояния, характерные для низкоосновных гидросиликатов кальция CSH(B): ($d = 4.889, 3.100, 2.772, 1.926, 1.796, 1.685, 1.491, 1.442$ А), следы этtringита ($d = 9.571, 5.553, 3.848, 2.547, 2.204$ А)

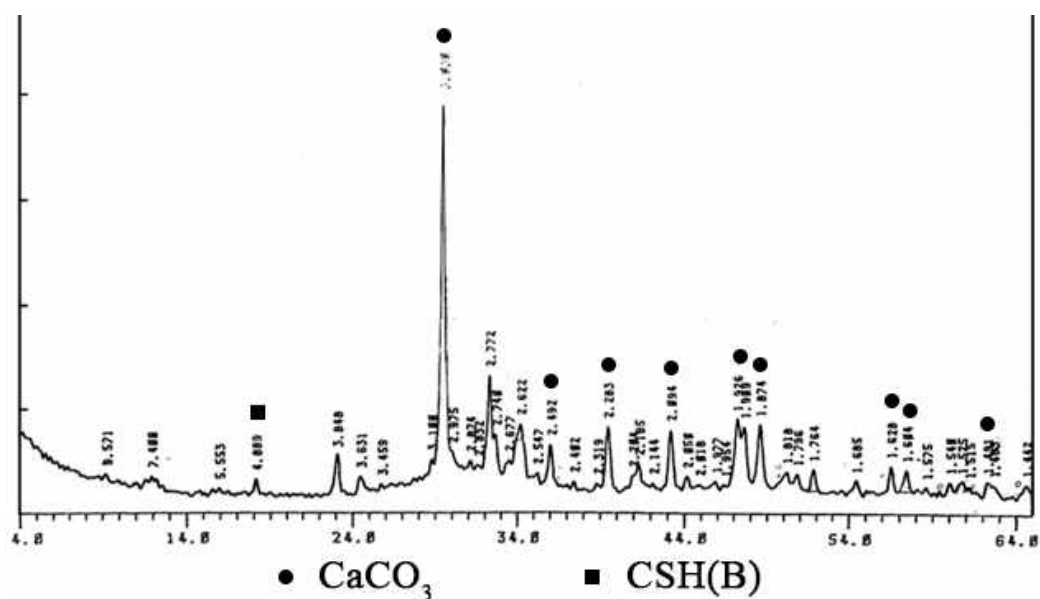


Рисунок 6.9 – Рентгенограмма цементного камня с КМД

Наличие пика малой интенсивности с $d = 4,889$ А, характерного для портландита, свидетельствует о интенсивном взаимодействии аморфного кремнезема комплексной модифицирующей добавки с гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция тоберморитовой группы CSH(B). Однако основные пики гидросиликатов кальция сконцентрированы в малоугловой области (d более 12 А), поэтому на рентгенограмме они отсутствуют. Рефлексы $CaCO_3$ четко выражены ($d = 3.1, 2.492, 2.283, 2.094, 1.909, 1.874, 1.628, 1.604, 1.525, 1.485$ А), отличаются

большой интенсивностью и симметрией. Рефлекс 3.1 А соответствует минералам различного состава, в том числе и гидросиликатам кальция, при этом определенная часть отражений на рентгенограммах не дает в связи со стеклообразным состоянием.

Таким образом, введение минеральной механоактивированной добавки КМД способствует регулированию формирования структуры строительных растворов, что определяет фазовый состав и основные свойства растворных смесей и композитов на их основе.

6.2.3 Технология производства строительных растворов на основе КМД

С точки зрения системного подхода разработана технологическая схема получения комплексной модифицированной добавки на основе золошлакового сырья (рисунок 6.10) как первичного этапа производства строительных растворных смесей на местном сырье. К основным этапам получения комплексной модифицированной добавки относятся: погрузка, транспортирование, складирование и сушка золошлаковой смеси, дозирование золошлаковой смеси и суперпластификатора С-3, совместная механоактивация минеральной и органической добавки в шаровой мельнице.

Доставка и складирование золошлаковой смеси осуществляется при помощи оборудования, применяемого на цементных заводах для транспортирования и складирования цемента. Золошлаковую смесь завозят автотранспортом и выгружают в закрытый склад хранения сырья (рисунок 6.10), который находится рядом с производственной площадкой, что снижает трудозатраты на транспортировку. Затем золошлаковая смесь подается в расходный бункер (3), откуда посредством мостового крана (2) отправляется в барабанную сушилку (6) при помощи ленточного конвейера (4). После высушивания до влажности 1–2 % золошлаковая смесь поступает в шихтозапасник, откуда шнековым конвейером (7) направляется в весовой дозатор (9). Отдельно дозируется суперпластификатор С-3 и далее совместно

с золошлаковой смесью поступают на механоактивацию в шаровую мельницу (10).

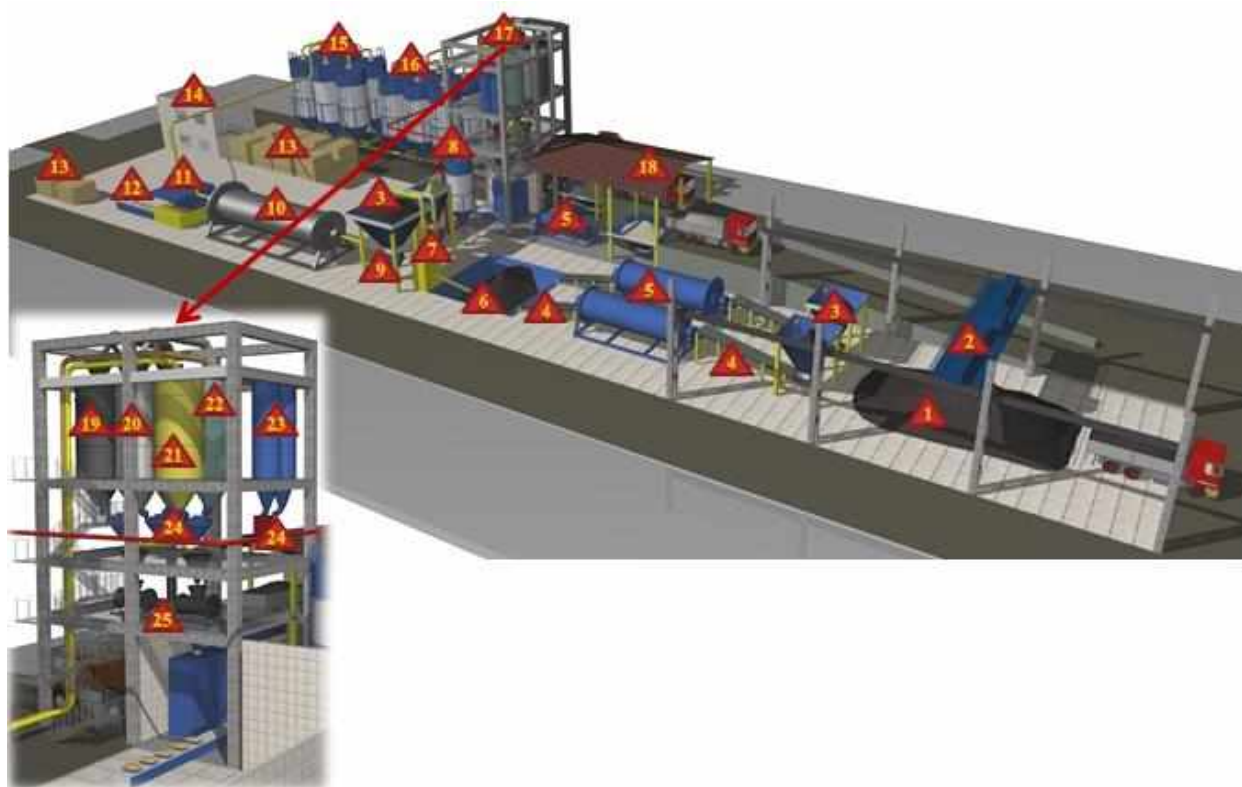


Рисунок 6.10–Технологическая схема производства КМД:

1- золошлаковая смесь; 2-мостовой кран с грейферным ковшом; 3-расходный бункер; 4-ленточный конвейер; 5- барабанная вращающаяся сушилка;6-шихтозапасник; 7-шнековый конвейер; 8- силос хранения пластифицирующей добавки; 9- весовой дозатор; 10- шаровая мельница $\Phi 1830 \times 7000$; 11-упаковочный аппарат; 12- конвейер выдачи готовой продукции; 13- складирование продукции; 14-комната персонала (1-этаж), операторская (2- этаж); 15-силосы КМД; 16-силосы цемента; 17-PCY; 18-полузакрытые расходные бункера мелкого заполнителя.

Из шаровой мельницы (10) модифицированная золошлаковая смесь пакуется и направляется для хранения на склад готовой продукции. Технологический процесс производства комплексной модифицирующей добавки на основе золошлаковой смеси полностью автоматизирован.

Растворные смеси с использованием КМД можно производить на типовом растворосмесительном узле, предназначенном для приготовления

товарных растворных смесей (рисунок 6.11).



Рисунок 6.11–Растворосмесительный цех для приготовления строительных растворных смесей на мелких песках с использованием комплексной модифицирующей добавки: 19 - емкости хранения мелкого песка; 20- емкости хранения отсева дробления; 21- емкость хранения комплексной модифицированной добавки; 22-емкость хранения цемента; 23- емкость хранения воды; 24- дозаторы; 25-растворосмесители.

Дозирование компонентов строительного раствора должно производиться с точностью, соответствующей требованиям ГОСТ 7474-76. Перемешивание растворной смеси целесообразно производить в смесителях принудительного действия типа СБ-81 или в других устройствах, способных производить требуемую гомогенизацию смеси.

На первом этапе необходимо тщательное совместное перемешивание сухих компонентов (КМД, мелкий заполнитель, вяжущее), после гомогенизации смеси добавляют требуемое количество воды и снова перемешивают до получения однородной удобоукладываемой массы.

Длительность перемешивания определяется экспериментальным путем в зависимости от вида смесителя и состава перемешиваемой смеси.

Производство строительных растворов с комплексной модифицирующей добавкой и природными мелкими песками на типовом растворосмесительном узле полностью автоматизировано, все технологические переделы протекают в автоматическом режиме, предусмотрен пооперационный и систематический контроль технологических переделов и качества производства. Применяемые компоненты строительного раствора проходят детальный лабораторный контроль на соответствие нормативным требованиям, их основные свойства приведены в главе 2. Доставка растворной смеси в зависимости от удаленности места назначения может осуществляться различными способами: при помощи растворонасосов, бады или автотранспортом (растворовозах и автосамосвалах). Благодаря сохранению жизнеспособности до 6 ч растворных смесей они характеризуются высокой транспортабельностью без ухудшения технологических свойств. Если растворная смесь приготовлена в сухом виде без смешивания с водой, то может быть доставлена на объекты строительства в качестве сухой строительной смеси, что особенно важно при транспортировании растворных смесей в труднодоступные горные районы.

На основе золошлаковой смеси и природных мелких песков получены строительные растворы марок М150 и М100 (таблица 6.6), которые прошли производственную апробацию.

Таблица 6.6 – Производственные составы растворов, кг/м³

№ состава	Марка	Расход компонентов, кг/м ³			
		Ц	П	В	КМД
1	М50	313	1265	245	41,3
2	М100	418	1182	251	44,8
3	М150	475	1140	272	47,5

Разработанные составы строительных растворов смесей обладают черно-белыми колористическими оттенками, что не требует дополнительного применения пигментов или специальных наполнителей (рисунок 6.12) для повышения эстетических свойств зданий на основе кирпичной или каменной кладки.



Рисунок 6.12 – Цветовые оттенки строительных растворов:
а – с использованием золошлаковых добавок в виде КМД;
б – с использованием мелких некондиционных песков (белых песков)

Таким образом, производство строительных растворов на основе золошлаковой смеси и природных мелких песков дает возможность повысить технологические свойства растворной смеси и затвердевшего раствора; снизить его себестоимость; сократить потребление невозобновимых природных ресурсов; утилизировать техногенные отходы и тем самым улучшить экологическую ситуацию.

С использованием разработанных составов строительных растворов на мелких песках марок М100 и М150 с добавкой КМД (таблица 6.2) выполнены штукатурные и кладочные работы при строительстве жилых и общественных зданий предприятием ООО «Успех». Штукатурный строительный раствор (М150) наносили толщиной около 2 см, объем опытной партии для оштукатуривания 3000 м² поверхности стен строительного объекта приблизительно составил 60 м³.

Технические характеристики разработанных строительных растворов

смесей, модифицированных КМД, по удобоукладываемости и водоудерживающей способности, сохраняемости и прочности сцепления с пористым основанием соответствовали нормативным требованиям. Через 7 и 28 суток при помощи методов неразрушающего контроля установлено соответствие кинетики набора прочности требуемым показателям, негативных признаков проявления усадочных деформаций, трещинообразования, высолов не выявлено.

Для кладочных растворов использовали разработанный состав (М100) на мелких песках с добавкой КМД, характеризующийся жизнеспособностью 6 ч с сохранением технологических свойств (удобоукладываемости, водоудерживающей способности, повышенной адгезии). Для модифицирования строительных растворов эффективно использование КМД на основе золошлаковых смесей до 10 %.

Использовали кладочный раствор при строительстве жилого дома строительным предприятием ООО «Успех».

Для выполнения необходимого объема строительных работ по кладке кирпичных стен был осуществлен выпуск кладочного строительного раствора М100, модифицированного КМД на основе золошлаковых отходов, в объеме около 250 м³. Справка о внедрении кладочных растворов с использованием техногенных отходов и некондиционного сырья при выполнении строительных работ предприятием ООО «Успех» представлена в приложении 19.

Выводы по 6 главе

1. Установлено, что фактическая прочность раствора в кладке, определяемая неразрушающим ударно-импульсным методом, зависит от вида стеновых материалов. Экспериментально подтверждено, что наибольшую фактическую прочность показали растворы, твердевшие в кладке из блоков на ККБ и керамического кирпича с тонкодисперсным минеральным наполнителем из боя керамического кирпича, они набирают около 70 % от марочной прочности. При этом контрольный состав раствора с использованием кварцевого молотого песка в данных условиях за 28 суток

достигает 50–60 % от марочной прочности. Полученные результаты подтвердили прогноз о рациональном выборе компонентов для сопряженных элементов конструкции на основе закона сродства структур.

2. Установлена взаимосвязь между силой сцепления и сродством 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 10–20% прочность сцепления растворов на основе композиционных вяжущих иного состава. У контрольного состава на кварцевом минеральном наполнителе адгезия к керамическому кирпичу и блокам на ККБ практически в два раза ниже, что согласуется с основными положениями сродства структур.

3. В соответствии с законом сродства структур большое влияние на совместимость материалов оказывают их деформативные характеристики. Установлено, что величина усадочных деформаций растворов на композиционных вяжущих находится в диапазоне 0,2–0,45 мм/м, что типично для тяжелых и мелкозернистых бетонов (0,3–0,45 мм/м). Кинетика роста деформаций усадки всех исследуемых составов с тонкодисперсными наполнителями связана со структурными особенностями цементной матрицы. Характерно медленное нарастание усадочных деформаций в ранние сроки до 7 сут твердения, затем следует период 7–15 сут интенсивного роста, после чего наблюдается торможение роста деформаций. У контрольных образцов наблюдается интенсивный рост усадочных деформаций в начальный период с последующим затуханием.

4. Исследованы деформации теплового расширения стеновых штучных материалов и растворов при перепадах температуры до 55°C, что соответствует максимальным среднесуточным скачкам температур в Центральном регионе РФ. Расширение стеновых материалов при нагревании составило 0,4–0,5 мм/м. У растворов исследуемых составов деформации расширения составили 0,15–0,4 мм/м, у раствора контрольного состава – 0,5–

0,65 мм/м. Расхождение параметра теплового расширения для разных комбинаций «стеновой материал–раствор» ниже 0,1 мм/м не является критичным.

Выявлено, что деформации набухания при увлажнении у растворов исследованных составов 0,5–0,7 мм/м, у стеновых материалов этот показатель снижается до 0,25–0,45 мм/м, что обусловлено особенностью микроструктуры материалов, представленной высокодисперсными новообразованиями с развитой поверхностью и меньшей пористостью.

5. Установлено, что контактная зона раствора на композиционном вяжущем с наполнителем из керамического боя со стеновым материалом на основе ККБ имеет плавный переход, без резкой границы между поверхностью блока и раствором. Структура контактной зоны плотная, в отличие от контактной поверхности между стеновым блоком на ККБ и раствором на портландцементе. Благодаря глубокому заполнению вяжущим пористых поверхностных слоев стенового материала на ККБ и средству составов, образуется тождественная структура в зоне контакта, эффективно выполняющая роль связующего элемента, обеспечивающего монолитность кладки.

6. Для улучшения технологических и физико-механических свойств строительных растворов на мелких песках предложено модифицировать составы комплексной модифицирующей добавкой (КМД), полученной путем совместного измельчения золошлаковой смеси с суперпластификатором С-3. Оптимальная дозировка КМД составила 10 % от массы вяжущего при удельной поверхности 500 м²/кг. Применение КМД продлевает сохраняемость растворной смеси до 3,5–5 ч, способствует повышению водоудерживающей способности до 97–98 % и адгезии до 0,49–0,51 МПа, расслаиваемость снижается до 5,8–6,4 %.

7. Органоминеральная добавка КМД оказывает существенное влияние на формирование фазового состава и структуры строительных растворов, что обуславливает основные свойства растворных смесей и композитов на их

основе. Разработаны строительные растворы, модифицированные КМД, марок М100–М150, характеризующиеся морозостойкостью F50–F75 и стойкостью против высолообразования. Морозостойкость растворов с КМД обусловлена меньшей капиллярной пористостью за счет снижения В/Ц и оптимизации гранулометрического состава компонентов путем подбора рационального соотношения заполнителя и КМД в смеси. Интенсивное связывание гидроксида кальция аморфным кремнеземом комплексной модифицированной добавки снижает высолообразование, при этом ускоряется гидратация безводных клинкерных силикатов кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция тоберморитовой группы CSH(V).

8. Разработана технологическая схема получения комплексной модифицированной добавки на основе золошлакового сырья, как начального этапа производства строительных растворных смесей на местном сырье. Производство строительных растворов на основе золошлаковой смеси и природных мелких песках улучшает технологические свойства растворной смеси и затвердевшего раствора; снижает себестоимость и потребление природных ресурсов; способствует утилизации техногенных отходов и стабилизации экологической обстановки. В этой связи производство кладочных строительных растворов на основе КМД экономически и технически целесообразно.

7. СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Динамично развивающиеся темпы строительства в Чеченской Республике стимулируют использование энергосберегающих технологий и производство экологически чистых и безопасных композиционных материалов, что позволит обеспечить комфортность и экологичность жилья, создать архитектурный облик зданий, вписывающийся в природный ландшафт в соответствии с местными климатическими условиями и т.п. Решение данной проблемы возможно за счет использования местных сырьевых ресурсов природного и техногенного происхождения.

Для выпуска различных видов стеновых и отделочных материалов в Чеченской Республике (ЧР) имеются большие запасы сырья природного и техногенного происхождения, в частности многотоннажных золошлаковых смесей (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.

Главной составляющей ССС, определяющей в основном их физико-механические свойства, является вяжущее, в качестве которого чаще всего используют портландцемент и его разновидности. Эффективным является вяжущее (КГВ), в состав которого входит гипсовое вяжущее, портландцемент и минеральный компонент из ЗШС. Достаточно быстрое регулируемое схватывание и твердение без тепловлажностной обработки данного вида КГВ приводит к ускорению оборачиваемости формирующего оборудования и сроков строительства (рисунок 7.1).

Исследованием свойств композиционных гипсовых материалов занимались многие ученые [81, 397–400]. Оптимизация их свойств возможна за счет повышения эффективности применяемого КГВ, химической активности наполнителя из ЗШС в его составе, а также применения органических добавок с целью создания пластифицирующего эффекта в

гипсоцементном тесте [296].



Рисунок 7.1 – Рациональные области использования ССС на основе КГВ

В процессе производства сухих строительных смесей различного функционального назначения использование золошлаковых отходов имеет свою специфику и требует серьезного изучения. К настоящему времени управление совокупностью перечисленных технологических приемов нельзя назвать задачей решенной. Таким образом, повышение эффективности ССС на основе КГВ с использованием местных сырьевых ресурсов природного и техногенного происхождения (золы-уноса, шлака и др.), направленное на расширение области их применения и улучшение физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств, является актуальным.

На основании вышесказанного, в настоящей работе проведены целенаправленные исследования, направленные на разработку составов и изучение свойств КГВ с использованием в качестве наполнителя ЗШС и ССС для широкой номенклатуры строительных материалов.

7.1 Особенности проектирования композиционных гипсовых материалов

Для успешного производства гипсовых изделий необходимо знание механизма их гидратации, зависимостей между структурой продукта твердения и его механическими свойствами.

Вопросам образования гидратных соединений в процессе твердения гипсовых вяжущих посвящены доклады на симпозиумах и Международных конференциях по строительному материаловедению. В связи с тем, что гипсовые материалы и изделия используют только в помещениях с относительной влажностью воздуха до 60–75%, ведутся научно-исследовательские работы по повышению их водостойкости [401–407].

П.П. Будников считал, что одной из причин низкой водостойкости гипсовых материалов является достаточно высокая растворимость двугидрата во влажной среде и образование в порах насыщенного раствора сульфата кальция, что приводит к снижению прочности за счет слабых связей между кристаллами.

П.А. Ребиндер уменьшение во влажной среде прочностных характеристик гипсового камня объяснял причиной расклинивающего действия воды, попадающей в поры между точно соединяющимися кристаллами дигидрата сульфата кальция, связи между которыми при малых напряжениях разрываются.

Существует также мнение, что в реальных условиях взаимодействие вяжущих с водой происходит в результате растворения части вяжущего в воде с переходом гидрата в осадок, с его последующей гидратацией (по А. Лешателье) одновременно с прямым присоединением к твердой фазе воды, т.е. топохимически (по А.А. Байкову).

Для повышения водостойкости гипса:

– в его состав добавляют портландцемент или молотый гранулированный доменный шлак [408], в результате чего за счет химического взаимодействия компонентов вяжущего образуются малорастворимые

новообразования;

- снижают растворимость сульфата кальция в воде;
- уплотняют и пропитывают гидрофобными веществами гипсовую массу.

Водостойкость гипсовых материалов также можно повысить созданием композиционных гипсовых вяжущих (КГВ), впервые предложенных и изученных А.В. Волженским и его учениками в МГСУ. КГВ представляет собой гомогенную смесь тонкодисперсных компонентов, первым из которых является гипсовое вяжущее (может быть сочетание модификаций гипсовых вяжущих), которое регулирует процесс схватывания и набора первоначальной прочности. В качестве второго компонента, обеспечивающего гидравлическую активность КГВ, дальнейшее повышение прочности и долговечности твердеющего гипсоцементного камня, а также создание нового типа структуры, применяют портландцемент (или известь) совместно с тонкодисперсными минеральными компонентами, содержащими в необходимом количестве кремнезем в активной форме.

Третьим компонентом являются органические модификаторы (пластифицирующие добавки, регуляторы сроков схватывания и твердения, полимерные добавки и др.), которые позволяют снижать водопотребность вяжущего, регулировать подвижность и сроки схватывания в нужном направлении и др. свойства, увеличивая количество контактов между частицами и обеспечивая его быструю и более полную гидратацию [15, 398, 406, 409].

Чтобы получить долговечные ССС и изделия на основе КГВ следует учитывать: назначение и условия их работы; соблюдать правила подбора необходимых ингредиентов, а также их соотношение для обеспечения в процессе твердения формирования различных видов новообразований и максимального снижения концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [410–417].

Соблюдение перечисленных требований позволит повысить эксплуатационные свойства и водостойкость ССС и изделий на их основе,

предотвращая развитие разрушительной гидросульфатоалюминатной коррозии. Совместная механоактивация компонентов КГВ способствует повышению реакционной способности минералов портландцементного клинкера, благодаря чему этрингитт образуется в основном в первоначальный период твердения вяжущего.

Далее, в результате ускорения процесса гидратации портландцемента, сопровождающегося уменьшением количества алюминатных фаз, а также взаимодействием выделяющегося при гидратации алита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с активированным кремнеземом в составе минеральной добавки, условия накопления этрингита устраняются.

Необходимо отметить, что взгляд на теорию твердения вяжущих систем является неоднозначным и постоянно развивается.

Формирование микроструктуры КГВ камня (характер срастания кристаллов, их форма и размеры) происходит в несколько стадий, сопровождающихся изменениями физико-механических свойств материала. После затворения вяжущего водой (до начала твердения) первоначально в процессе гидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ образуются не связанные друг с другом зародыши двугидрата. Консистенция гипсоцементной смеси еще остается жидкой. На следующей стадии появляется большое количество зародышей кристаллов двугидрата, которые затем начинают срастаться между собой, с образованием контактов. Дальнейшее формирование микроструктуры дигидрата сульфата кальция способствует началу схватывания и росту прочности гипсоцементного камня.

Параллельно в образовавшейся микроструктуре двухводного гипса происходит гидратация активированных клинкерных минералов, а также между продуктами их взаимодействия и тонкодисперсным кремнеземом в составе минеральной добавки, с возникновением субмикроскопических малорастворимых новообразований из тоберморитоподобных низкоосновных гидросиликатов кальция и других комплексных соединений. Последующая кристаллизация микроразмерных новообразований способствует уплотнению

микроструктуры и, как следствие, повышению водостойкости, прочности и долговечности затвердевшего композиционного материала.

7.2 Разработка состава КГВ для ССС

При выполнении диссертационной работы для производства ССС на основе КГВ различного функционального назначения в качестве минеральных добавок применяли золу-уноса и шлак ТЭЦ г. Грозного. 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. Был проведен анализ химического (таблица 7.1) и минерального составов применяемых сырьевых материалов.

Таблица 7.1 – Химический состав золы-уноса и шлака

Вид добавки	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	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

Методом РФА было выявлено следующее: кристаллическая фаза золы-уноса включает две модификации SiO₂ ($d=3,403; 3,247 \dots \text{Å}$). Она также содержит: кальцит (CaCO₃) – ($d=3,081 \dots \text{Å}$), кальциево-железистый силикат (CaFeSi₂O₆) и магнетит (Fe₃O₄) – ($d=2,987; 2,600; 2,119; 1,493 \dots \text{Å}$). О достаточно большом содержании железа свидетельствует повышение фона в интервале $\theta 20-40^\circ$ (рисунок 7.2).

В результате длительного нахождения шлака Грозненской ТЭЦ в высокотемпературной зоне выявлено наличие до 95 % стеклофазы.

На рисунке 7.3 представлена рентгенограмма шлака, на которой выявлено наличие линий анортклаза и альбита типа K, Na (AlSi₃O₈) – ($d=3,888; 3,283; 3,23; 2,983 \dots \text{Å}$), кальцита (CaCO₃) – ($d=3,03; 3,065 \dots \text{Å}$),

магнетита (Fe_3O_4) – ($d=3,00$; $2,55\dots \text{Å}$) и слюды (гидронатрий-алюмосиликатов) – ($d=3,527 \text{Å}$).

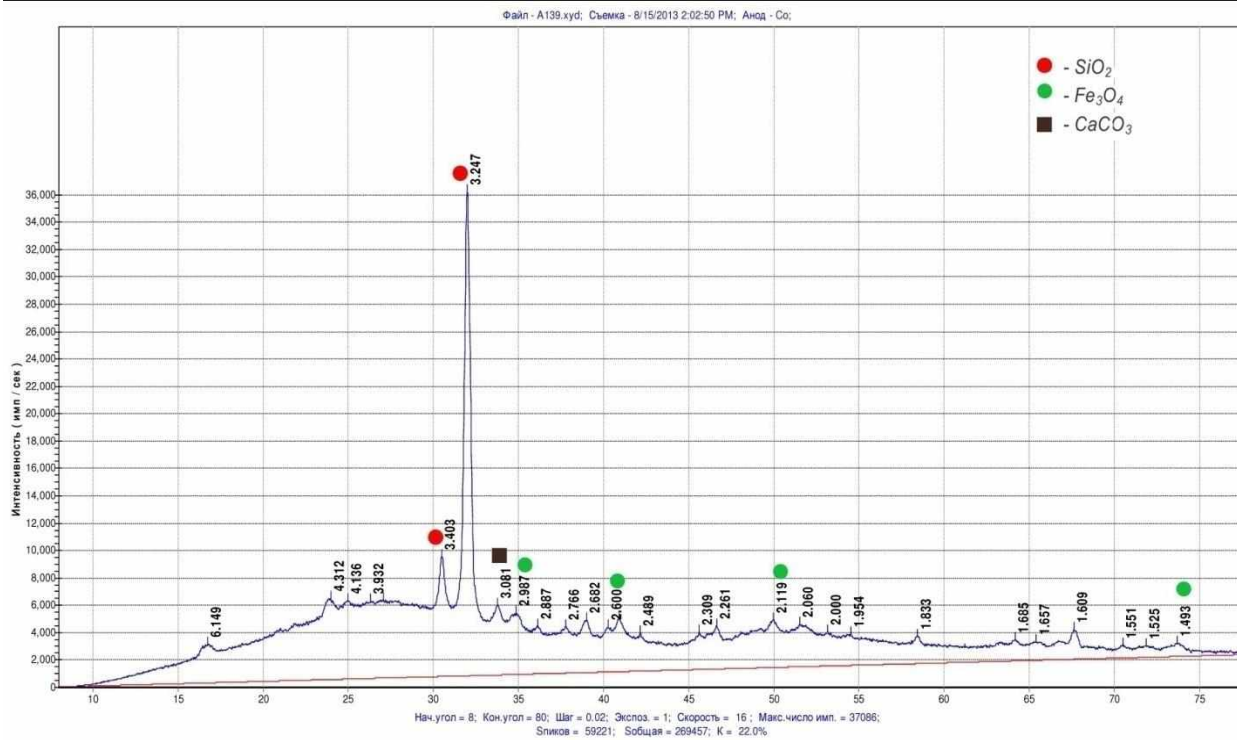


Рисунок 7.2 – РФА зола-уноса

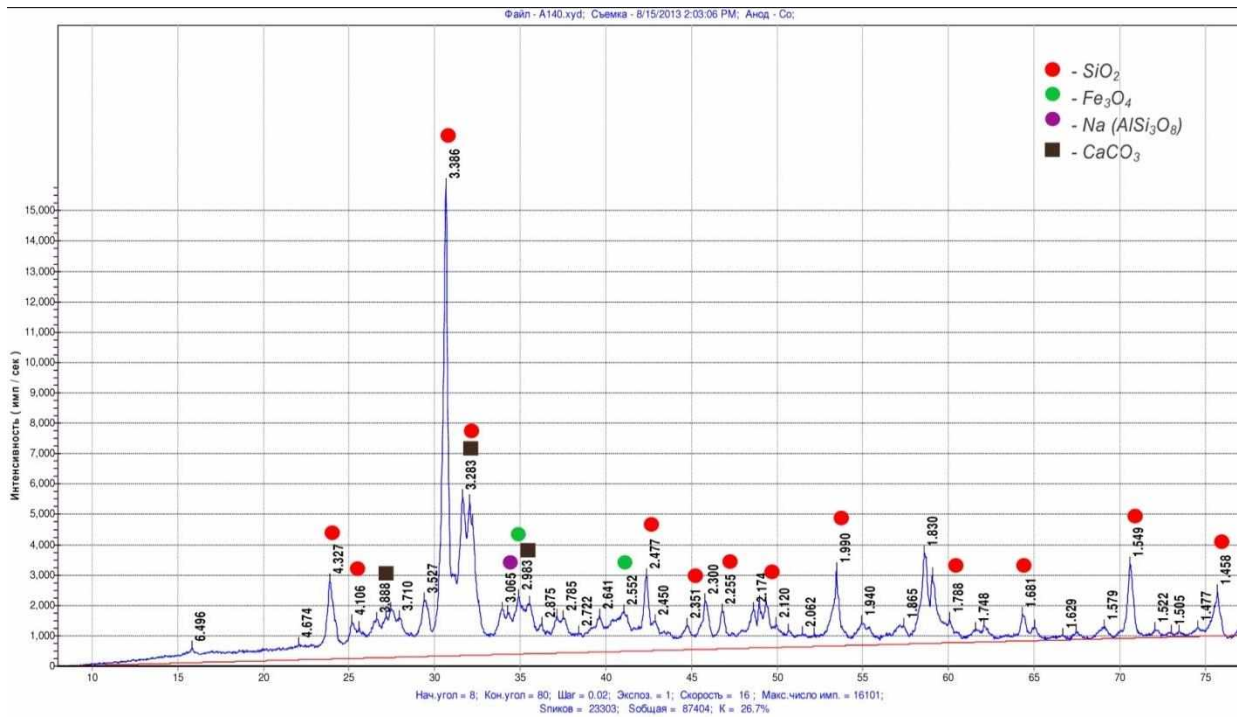


Рисунок 7.3 – РФА шлака

При детальном рассмотрении результатов РФА пробы шлака выявлен SiO_2 , ($d=4,327; 4,106; 3,386; 3,283; 2,477; 2,351; 2,255; 2,140; 1,990; 1,788; 1,681; 1,660; 1,549; 1,458 \dots \text{Å}$), с отличающимися от природного SiO_2 параметрами кристаллической решетки. На рисунке 7.4 в интервале углов θ $31\text{--}32^\circ$ просматривается значительное фоновое увеличение под межплоскостными расстояниями алюмосиликатов ($\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$) – ($d=3,283\text{--}3,23\text{Å}$), что свидетельствует об их частичной аморфизации.

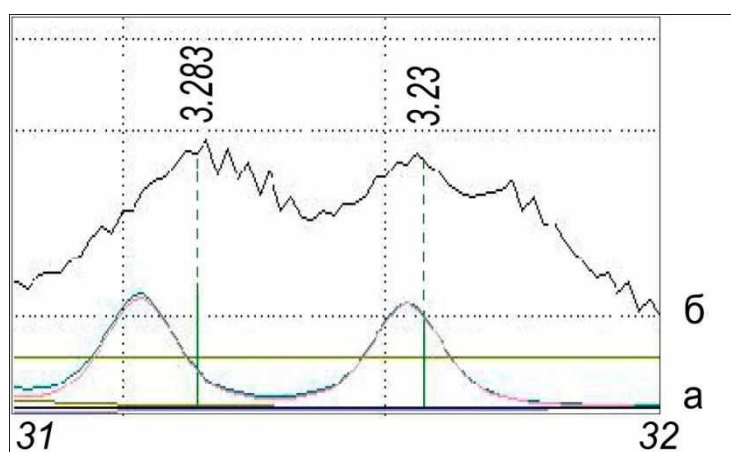


Рисунок 7.4 – Фоновое увеличение подмежплоскостными расстояниями $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ в природе (а) и в шлаке (б)

В работе методом расчета по максимальной интенсивности основных минералов шлака – SiO_2 и $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ (другие составляющие представленной системы не учитывались) и «галю», было установлено их количество: 56,9% – для кристаллического SiO_2 , 3,7% – для аморфного SiO_2 ; 39,4% – для аморфного $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$.

Таким образом, было выявлено, что рентгеноаморфные вещества – $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ и SiO_2 – в составе золы-уноса и шлака могут проявлять гидравлическую активность с образованием гидросиликатов кальция второй генерации (при взаимодействии с Ca(OH)_2), способствуя повышению водостойкости и прочности гипсоцементного камня. Этот факт свидетельствует о возможности их применения в составе КГВ для ССС на их основе в качестве активной минеральной добавки.

Важным фактором, управляющим гидравлической активностью минеральных добавок, является дисперсность их частиц.

В данной работе было определено процентное содержание частиц золы-уноса и шлака в анализируемом материале, а также определен их гранулометрический состав (с помощью метода лазерной гранулометрии на установке MicroSizer 201). Минеральные добавки предварительно помоли в лабораторной шаровой мельнице. Их удельную поверхность определяли на приборе ПСХ-10а и «Sorbi®-М», который позволяет по методу БЭТ выполнять однотоочечный и многотоочечный анализ удельной поверхности.

Было установлено, что значения удельной поверхности исследуемых минеральных добавок отличаются от их истинной поверхности, что можно объяснить микропористостью частиц.

Удельная поверхность, объем и размер микропор у золы-уноса значительно выше, чем у шлака (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Значения показателей удельной поверхности и объема пор тонкомолотых минеральных добавок

Вид минеральной добавки	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

Анализируя гранулометрический состав золошлаковых компонентов, выявлено следующее (рисунок 7.5): тонкомолотая зола-унос до удельной поверхности 675 м²/кг имеет равномерную гранулометрию частиц, размером 1,1... 27 мкм с пиком в области 6,68–9,99 мкм.

У тонкомолотого до удельной поверхности 470 м²/кг шлака размер частиц составляет 18,15–201 мкм с максимумом в области крупных частиц размером 60–90 мкм.

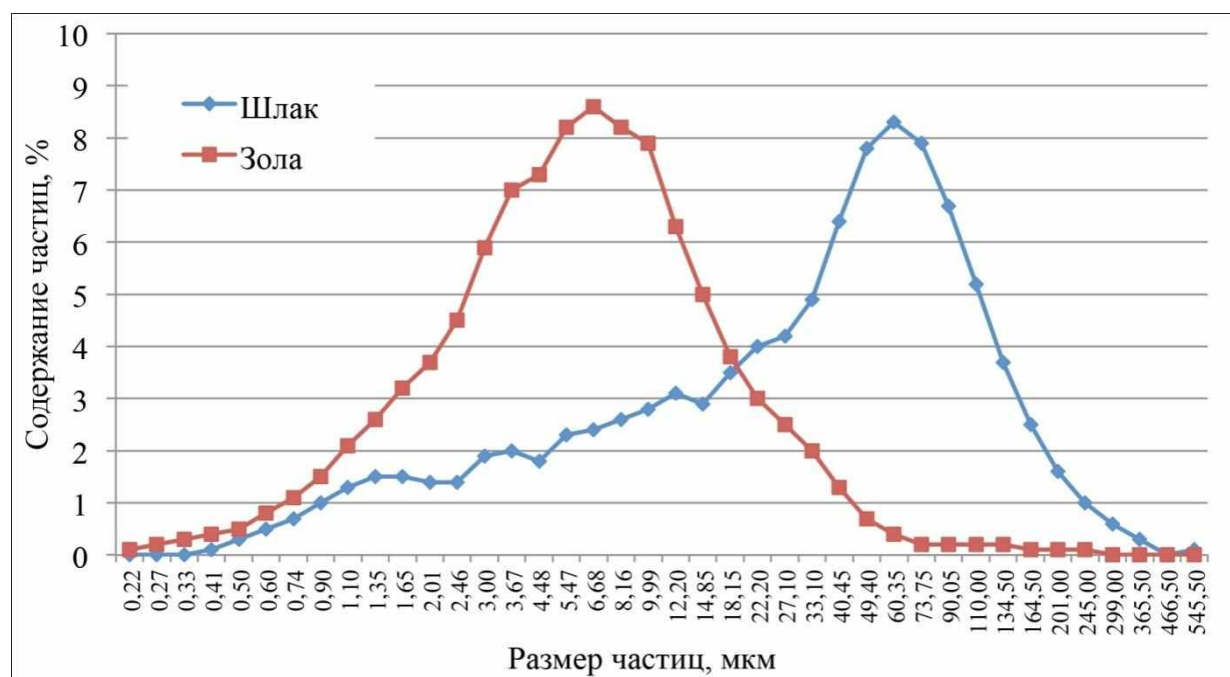


Рисунок 7.5 – Распределение частиц золы-уноса и шлака по размерам

Исследованиями установлены различия микроструктуры и морфологии поверхности частиц используемых минеральных добавок.

На микрофотографиях тонкомолотой золы-уноса видны частицы разной плотности (плотные и пористые), формы (пластинчатой, неправильной и угловатой) и крупности. По поверхности частицы крупного размера имеют разного рода вогнутую форму (рисунок 7.6).

Для микроструктуры тонкомолотого шлака характерно слоистое строение с более плотной, чем у золы-уноса, структурой, с наличием частиц в основном кубической формы разной крупности (рисунок 7.7).

С целью установления возможности применения в составе КГВ золы-уноса и шлака как активных минеральных добавок в работе определяли их гидравлическую активность. Учитывая, что в составах золы-уноса и шлака (таблица 7.1) содержится значительное количество SiO_2 и Al_2O_3 (в шлаке больше в 2,7 раза), а гидравлическая активность возрастает с увеличением значений глиноземного модуля и модуля активности, было установлено, что тонкомолотый шлак обладает большей гидравлической активностью, чем тонкомолотая зола-унос (таблица 7.3).

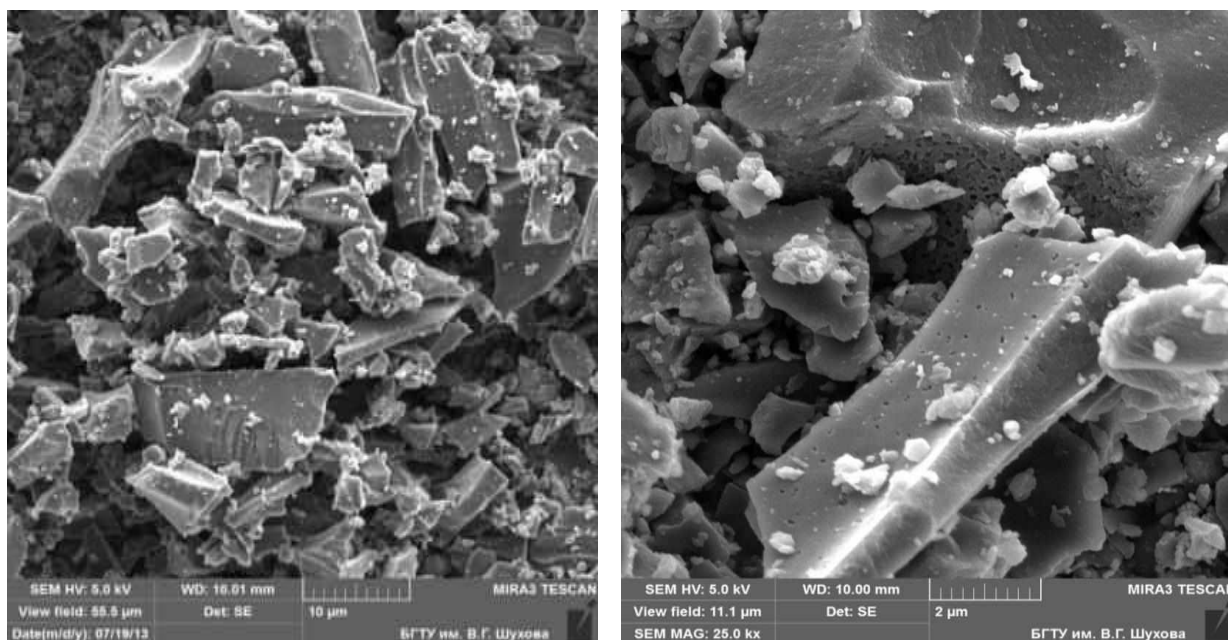


Рисунок 7.6 – Микроструктура и морфология поверхности частиц тонкомолотой золы-уноса

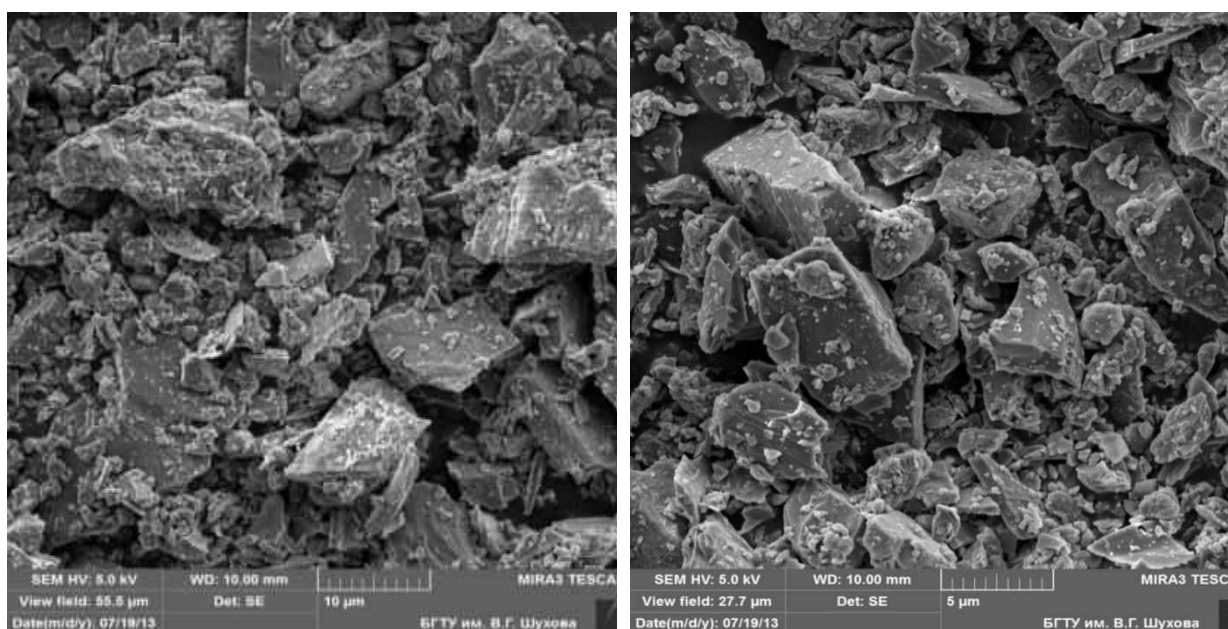


Рисунок 7.7 – Микроструктура и морфология поверхности частиц тонкомолотого шлака

Как известно, содержание и активность применяемых минеральных добавок оказывают влияние на устойчивость композиционных вяжущих при твердении, поэтому важным является их строгое дозирование.

Таблица 7.3 – Значения глиноземного модуля, модуля основности и модуля активности золы-уноса и шлака

Значение, %	Наименование модуля		
	$p = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$ (глиноземный модуль)	$M_o = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (модуль основности)	$M_a = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ (модуль активности)
Зола-уноса	0,50	0,38	0,11
Шлак	5,68	0,07	0,22

С целью подтверждения целесообразности применения в составе КГВ золы-уноса и шлака и обеспечения его стабильности экспериментальным путем, подбирали их количество (по ТУ 21-31-62-89 «Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее»).

Для проведения испытаний использовали гипсовое вяжущее Астраханского гипсового комбината, β -модификации и марки Г5Б II, портландцемент Чири-Юртовского цемзавода марки М500 Д0. Стабильное снижение концентрации СаО в КГВ с введением золы-уноса и шлака подтверждается результатами исследований (таблица 7.4).

При соотношении портландцемент/зола-уноса – 1:1–1,5 и соотношении портландцемент/шлак – 1:0,5 в растворе концентрация СаО снижается до требуемых пределов, то есть менее 1,1 г/л – на пятые сутки (до значений 1,0 г/л и 0,25 г/л, соответственно) и не более 0,85 г/л – на седьмые сутки (до значений 0,8 г/л и 0,14 г/л, соответственно).

Таким образом, установлена химическая активность тонкодисперсных золы-уноса и шлака, способных вступать во взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, снижая их содержание в виде взвесей до концентрации, при которой высокоосновные гидроалюминаты кальция приобретают нестабильное состояние, переходя в более устойчивые низкоосновные формы, не опасные для устойчивости затвердевших КГВ.

Таблица 7.4 – Составы компонентов КГВ для определения их рационального отношения (по ТУ 21-31-62-89)

№ п/п	Компоненты вяжущего, г				Концентрация СаО, г/л	
	Вид добавки	Кол-во добавки	Г5Б II	ПЦ	через	
					5 сут	7 сут
1	Зола- уноса	1,25	4	2,5	1,23	1,18
2		2,5			1,00	0,95
3		3,75			0,83	0,8
4	Шлак	1,25	4	2,5	0,22	0,14
5		2,5			0,17	0,14
6		3,75			0,14	0,138

На основе полученных в процессе экспериментальных исследований результатов и практического опыта работы ниже приведены рецептуры рекомендуемых 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

Для повышения эффективности и стабильности свойств КГВ все компоненты вяжущего тщательно перемешивали, совмещая с кратковременным помолем в шаровой мельнице. В результате механической деструкции частиц портландцемента повышается активность минералов цементного клинкера, а также происходит поверхностная активация зерен кремнезема в составе минеральных добавок, уменьшение и некоторое усреднение их размеров, что повышает адсорбцию на их поверхности пластифицирующих добавок.

Анализируя гранулометрический состав частиц, разработанных композиционных гипсовых вяжущих и входящих в их состав компонентов портландцемента и гипсового вяжущего, было установлено, что основной

диапазон размеров их частиц составляет от 1,65 до 160 мкм (рисунок 7.8).

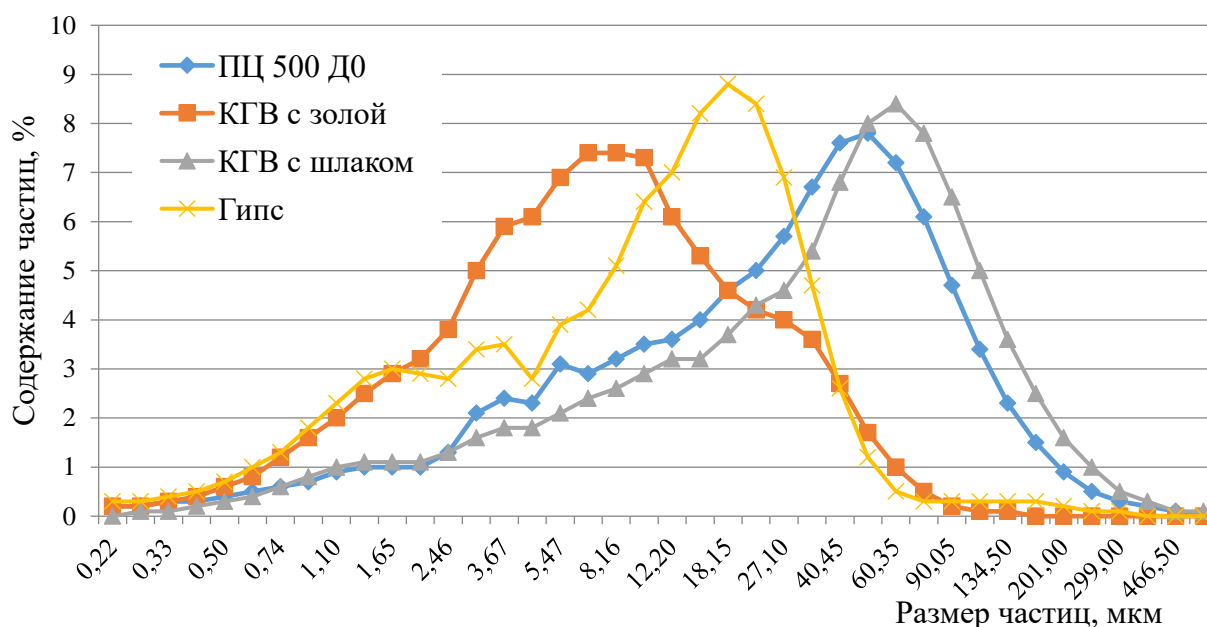


Рисунок 7.8 – Кривые распределения частиц КГВ и его компонентов

У КГВ-2, содержащего в своем составе золу-уноса, частицы в основном имеют размер 1,1–60,35 мкм. Частиц размером 0,33–1,1 мкм (тонкая фракция) практически в 2 раза выше, чем у КГВ-1 со шлаком, что приводит к увеличению водопотребности гипсоцементного вяжущего и подтверждается экспериментально.

Экспериментальным подтверждением различий в гидравлической активности исследуемых минеральных добавок и КГВ на их основе служат данные калориметрических измерений их начального тепловыделения с момента смешивания с водой, полученные с помощью дифференциального квази-изотермического калориметра.

На рисунке 7.9 представлены зависимости $dQ/dt = f(t)$, полученные для шлака и золы-уноса, а также КГВ на их основе.

На термокинетической кривой шлака (рисунок 7.9, а) через 15 с после начала взаимодействия с водой зафиксировано максимальное значение экзоэффекта смачивания – 0,02 кВт/кг, с последующим резким снижением через 50 с термокинетического показателя практически до 0,001 кВт/кг.

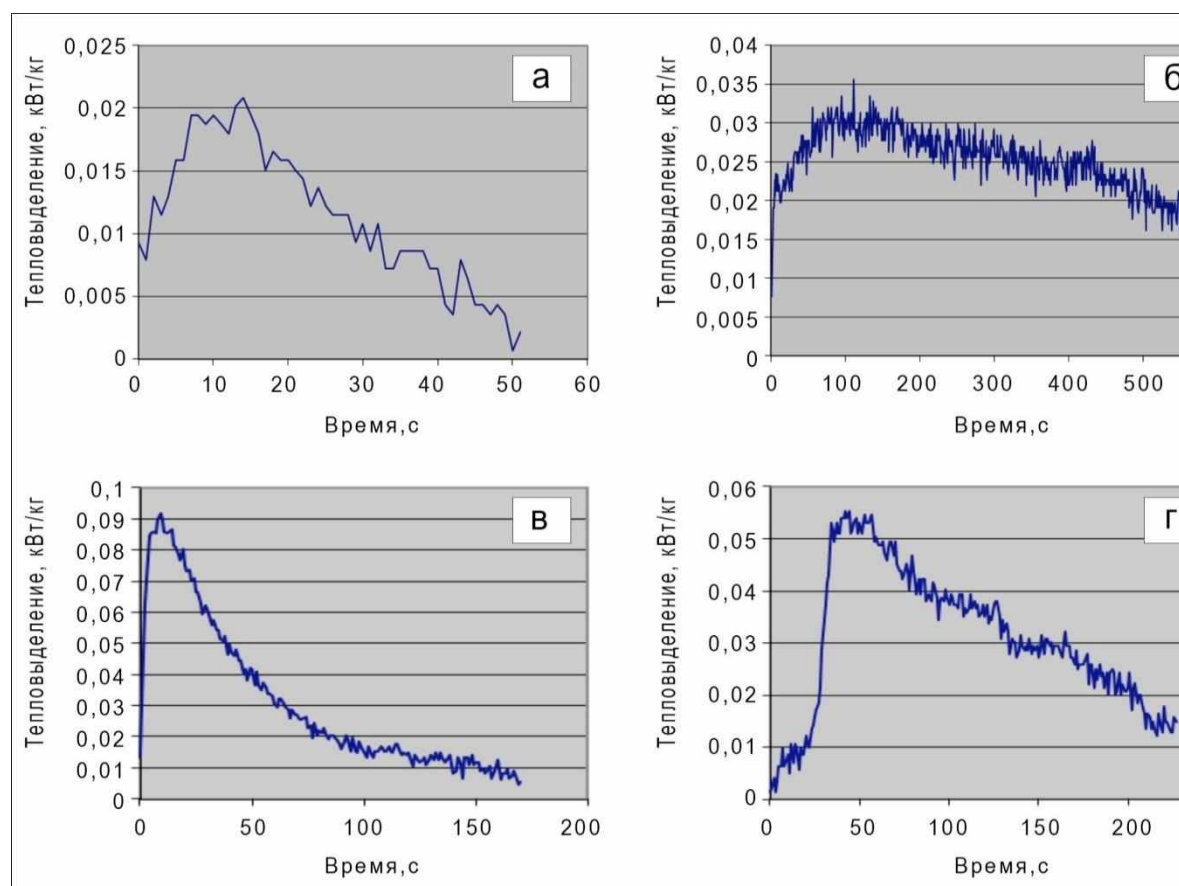


Рисунок 7.9 – Кинетика начального тепловыделения с момента смешения с водой:
 а) с шлаком); б) с золой-уноса); в) КГВ-1 (с шлаком);
 г) КГВ-2 (с золой-уноса)

У золы-уноса после начала взаимодействия с водой максимальное значение экзоэффекта смачивания (0,035 кВт/кг) зафиксировано значительно позже – через 100 с, с последующим плавным снижением на 25 % до остаточного уровня – 0,02 кВт/кг через 500–550 с. В данном случае, видимо, играет роль микропористость и более длительная реакционная активность золы-уноса за счет дефектов кристаллической структуры.

Интересно отметить, что у шлака с момента смешения максимальное значение экзоэффекта наступает примерно в 10 раз быстрее (через 10–15 с), чем у золы-уноса, что может быть связано с наличием активных центров на поверхности зерен шлака различной природы, являющихся центрами кристаллизации при образовании зародышей гидратных фаз.

У КГВ с золой-уноса после начала взаимодействия с водой через 50 с

зафиксировано максимальное значение экзоэффекта – 0,055 кВт/кг, характеризующее кристаллизацию гипса, адсорбционные процессы и химические реакции.

У КГВ со шлаком после начала взаимодействия с водой максимальное значение экзоэффекта проявляется на 30 с раньше, чем у КГВ с золой-уноса (через 20 с), и с большим значением – 0,09 кВт/кг.

Таким образом, термокинетические исследования подтверждают реакционную активность золы-уноса и шлака после начала взаимодействия с водой, а также их влияние на активность КГВ, согласуются с показателями их физико-механических характеристик.

В работе была изучена возможность замедления сроков схватывания КГВ и ускорения структурообразования гипсоцементного камня. С целью ускорения образования центров кристаллизации двуводрата для получения насыщенного раствора в воду затворения вводили 7,1 г/л полуводного гипса (таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Влияние добавки $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ на свойства КГВ

Показатели	Вид КГВ			
	КГВ-1 (с шлаком)		КГВ-2 (с золой)	
Добавка $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ г/л	–	7,1	–	7,1
В/Вяз отношение	0,44	0,44	0,5	0,51
Сроки схватывания мин.-с:				
начало	8–10	11–10	8–40	11–40
конец	11–10	13–10	11–40	13–40
Предел прочности при сжатии, МПа:				
2 часа	4,5	5,3	4,1	4,8
7 суток	13,2	15,3	8,8	10,2
28 суток	18,2	20,2	14,6	15,4
K_p	0,68	0,70	0,64	0,65

Примечание: подвижность всех смесей 0,180 м

Выявлено, что при одинаковой подвижности гипсоцементного теста (0,180 м) дополнительное введение 7,1 г/л добавки $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ позволило

в 1,4 раза замедлить сроки схватывания и повысить прочность затвердевших вяжущих во все сроки твердения.

Затвердевшее КГВ-1 с минеральной добавкой шлака в возрасте 28 суток имеет на 30% более высокие показатели прочности (20,2 МПа), чем КГВ-2 с золой-уноса (15,4 МПа), что объясняется химическим составом и гидравлической активностью шлака. Коэффициент размягчения разработанных КГВ составляет от 0,64 до 0,70.

Для подтверждения стабильности структур образцов из разработанных КГВ, твердевших в течение 1 года в нормальных условиях, были проведены РФА и микроструктурный анализ (рисунок 7.10).

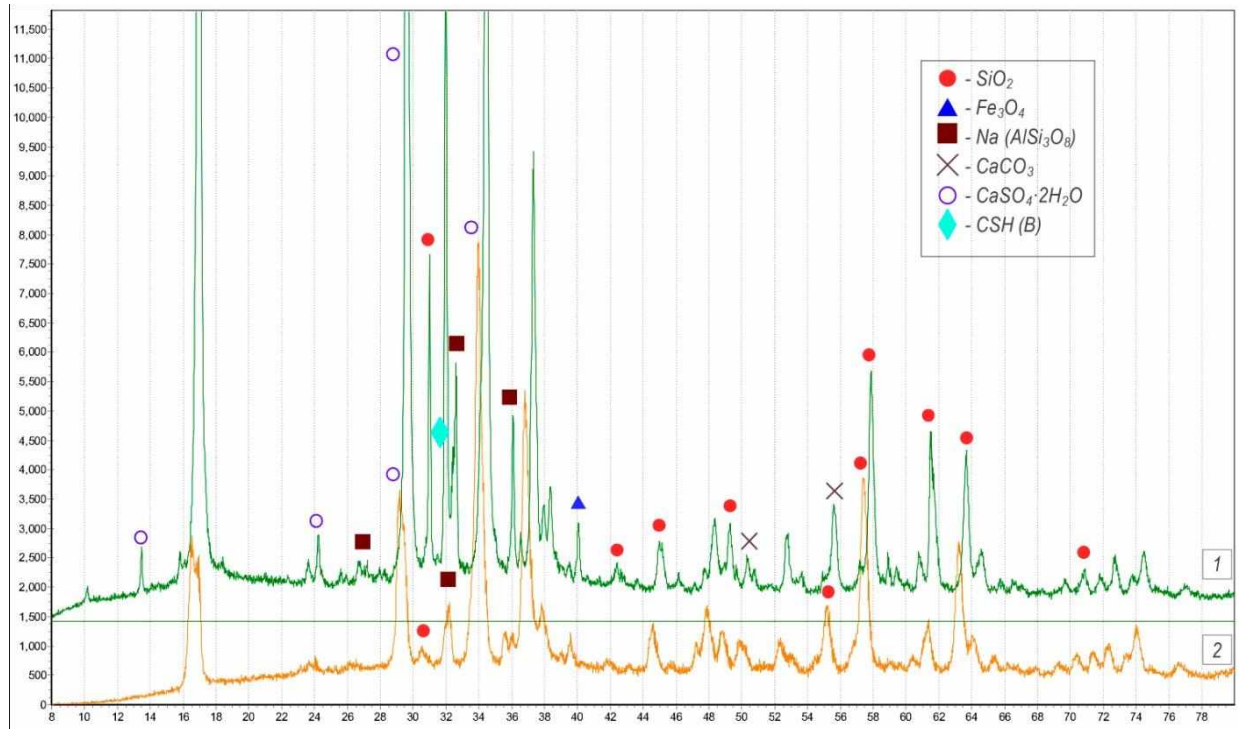


Рисунок 7.10 – РФА КГВ-1 со шлаком (1) и КГВ-2 с золой-уноса (2)

На рентгенограммах проб затвердевших КГВ образуется $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d = 7,63; 4,29; 3,8; 3,5 \dots \text{Å}$), SiO_2 ($d = 3,345; \text{Å}$), CSH(B) ($d = 3,07; 2,89; 2,785; 1,98 \dots \text{Å}$), CaCO_3 ($d = 2,088; 1,89 \dots \text{Å}$), Ca(OH)_2 ($d = 4,9 \dots \text{Å}$) низкой интенсивности, наблюдаются следы этtringита ($d = 5,6; 4,92 \dots \text{Å}$), что свидетельствует о достаточном количестве активного кремнезема в составе

минеральных добавок, создающих благоприятные условия для связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

В результате анализа рентгенограмм выявлено, что клинкерные минералы более активно прогидратировали в КГВ-2 (с золой-уноса), в большем количестве в данной системе присутствуют линии двух разновидностей силикатов типа $\text{K,Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ – анортотклаза и альбита ($d=3,888; 3,283; 3,23; 2,983 \text{ \AA}$), а также CaCO_3 ($d=2,088; 1,89\dots \text{ \AA}$) и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d=4,9\dots \text{ \AA}$) (рисунок 7.11).

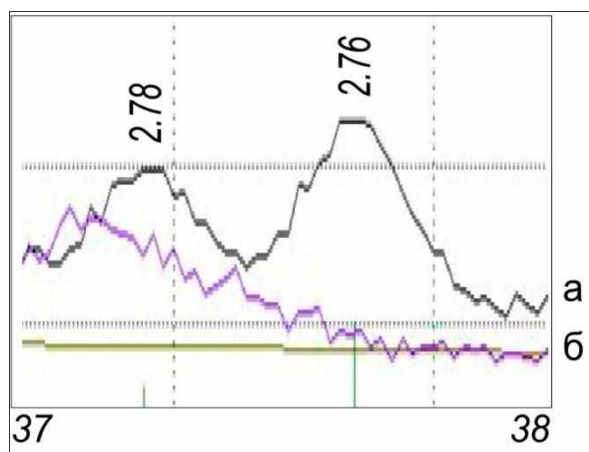
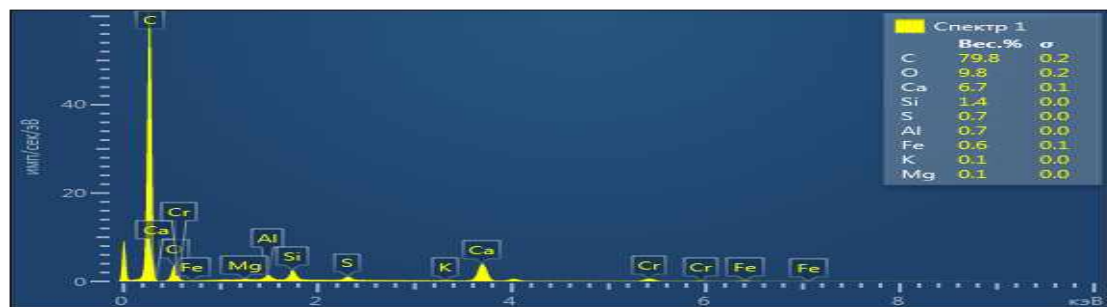
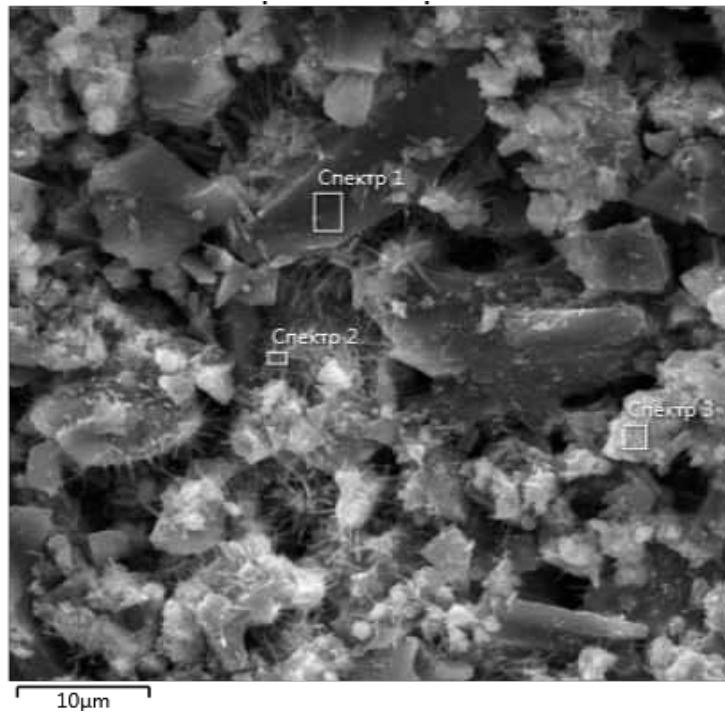


Рисунок 7.11– Профили межплоскостных расстояний алита и белита в КГВ-1 со шлаком (а) и в КГВ-2 с золой-уноса (б)

Подтверждением является полученный в точках микрозондирования элементный состав продуктов гидратации. Микроструктурным анализом было выявлено различие микроструктур затвердевших КГВ-1 и КГВ-2 (рисунок 7.12-7.13).

У КГВ-1 со шлаком сформировались мелкодисперсные кристаллогидраты с плотной упаковкой кристаллов. Также обнаружены аморфные новообразования, увеличивающие площадь контакта как между кристаллогидратными новообразованиями, так и за счет заполнения пустот между ними. Объединяясь в непрерывную структуру с прочными связями, в дальнейшем новообразования создают уплотненную оболочку вокруг кристаллов гипса. В результате такой морфологии повышаются эксплуатационные характеристики затвердевших КГВ (прочность, плотность, водостойкости и долговечность.)

a
)



б
)

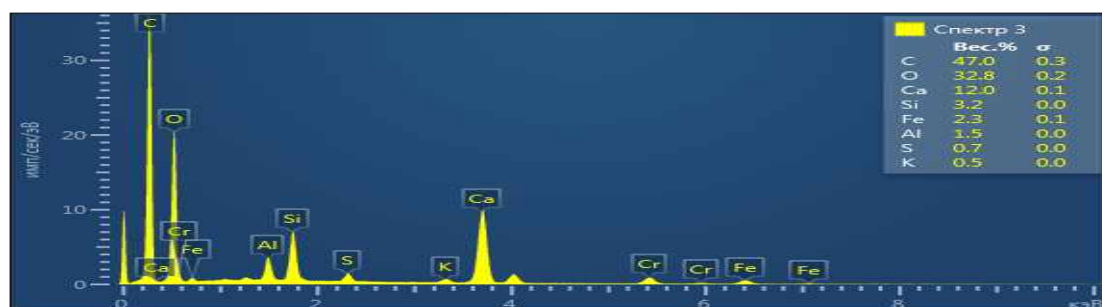
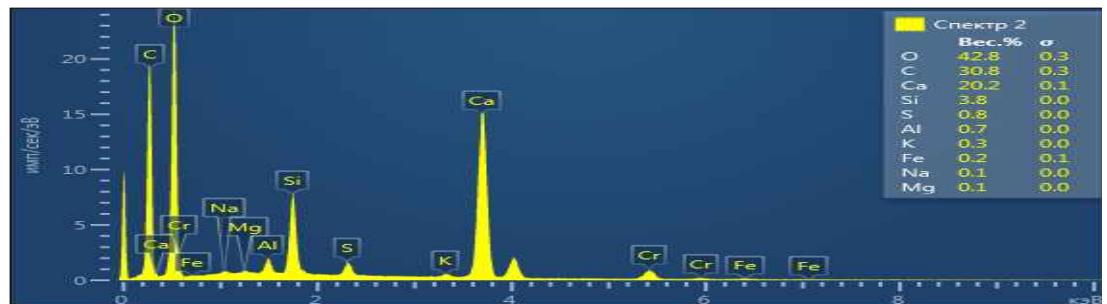


Рисунок 7.12 – Микроструктура затвердевшей матрицы КГВ -2с минеральной добавкой золы-уноса (а) и результаты рентгеновского микроанализа в точках микрозондирования (1,2,3) (б)

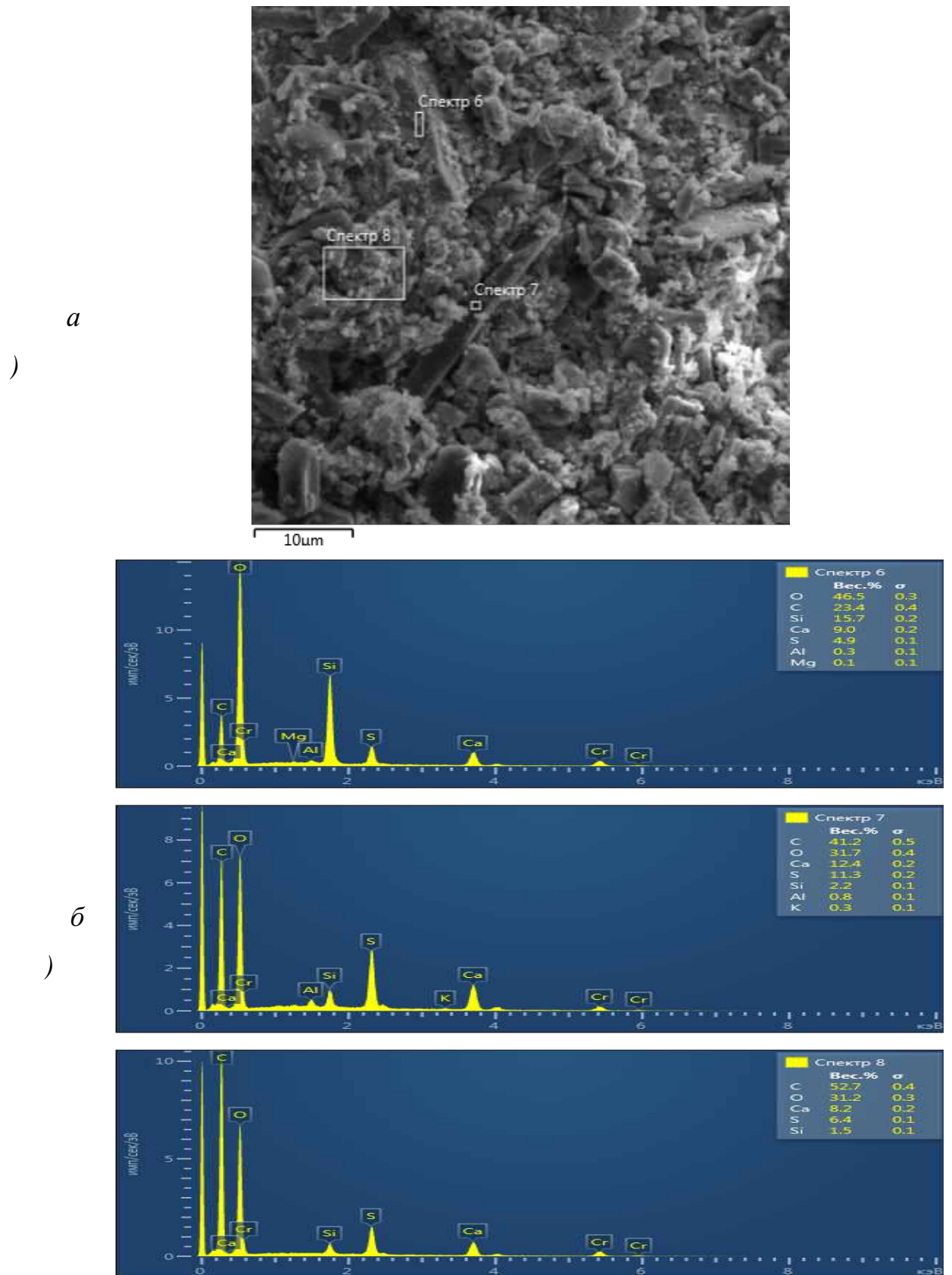


Рисунок 7.13 – Микроструктура затвердевшей матрицы КГВ-1 с минеральной добавкой шлака (*a*) и результаты рентгеновского микроанализа в точках микрозондирования (6,7,8) (*б*)

У КГВ-2 с золой-уноса образовалась неупорядоченная и более рыхлая микроструктура, состоящая из разного размера образующихся кристаллов с контактами срастания в отдельных точках, что приводит к появлению крупных пор в структуре образца и снижает его прочность.

Таким образом, было установлено, что в составе золошлаковых отходов Грозненской ТЭЦ содержатся рентгеноаморфные вещества – $K,Na(AlSi_3O_8)$ и SiO_2 , которые при взаимодействии с $Ca(OH)_2$ способны проявлять гидравлическую активность с формированием гидросиликатов кальция второй генерации, обеспечивающими конечную прочность, водостойкость и долговечность материала, что свидетельствует о возможности применения данного вида техногенного сырья в составе КГВ для ССС на их основе.

Дальнейшее повышение эффективности разработанных КГВ осуществляли путем использования органических добавок.

С целью снижения водопотребности КГВ в исследованиях применяли суперпластификатор Полипласт-СП-1, а в качестве замедлителя сроков схватывания – лимонную кислоту. Модифицирующие органические добавки вводились в гипсоцементную смесь с водой затворения.

По их консистенции при постоянном В/Вяз отношении определяли пластифицирующий эффект используемого суперпластификатора (таблица 7.6).

В результате анализа полученных данных установлено: при введении суперпластификатора Полипласт-СП-1 в количестве 0,1–0,5% (по массе) в состав КГВ повышается подвижность гипсоцементной смеси практически в 2 раза – со 120 до 220 м.

Применение лимонной кислоты (0,03–0,07 %, от массы КГВ) в качестве замедлителя сроков схватывания отодвигает начало схватывания гипсоцементной смеси с 8-10 до 19-00...29-50 мин, соответственно. Но, при этом, замедляется скорость твердения и снижается прочность гипсоцементного камня.

Таблица 7.6 – Составы разработанных КГВ и их свойства

Показатели	Вид химической добавки							
	Без добавки	СП Полипласт СП-1-			лимонная кислота			лимонная кислота + Полипласт СП-1 (0,05 +0,3)
		0,1	0,3	0,5	0,03	0,05	0,07	
Распływ конуса, мм	120	160	180	220	160	162	162	265
Сроки схватывания, мин-сек:								
начало	8-10	8-00	7-50	7-30	19-00	24-45	29-50	30-20
конец	11-10	11-00	10-50	10-30	25-30	28-45	34-50	35-30
Предел прочности при сжатии, МПа:								
2 ч	5,1	5,0	4,4	4,2	4,8	4,9	5,0	4,3
7 сут	18,5	14,7	13,8	13,5	9,3	9,8	10,3	10,2
28 сут	20,4	15,7	14,7	13,9	10,4	11,4	11,9	10,5

Примечание: испытания проводили на КГВ-2 – с минеральной добавкой золы-уноса при постоянном В/Вяж=0,46.

Совместное использование суперпластификатора Полипласт СП-1 (0,3%) и лимонной кислоты (0,05%) позволило замедлить начало схватывания гипсоцементной смеси до 30 мин 20 с и увеличить подвижность смеси до 265 мм.

7.3 Рецепттура и свойства ССС на основе КГВ

Увеличение темпов строительства невозможно без ориентации строительного комплекса на наиболее эффективные недорогие и экологичные материалы, позволяющие улучшить комфортность жилья. В связи с этим производство ССС на основе КГВ с использованием мелкого природного и техногенного заполнителя для широкой номенклатуры экологичных и недорогих материалов, способствует снижению их дефицита, а также является перспективным и востребованным.

На физико-механические свойства ССС влияние оказывает:

- соотношение между входящими в их состав компонентами (мелким заполнителем и вяжущим);
- их гранулометрический состав и качественные характеристики;
- водопотребность ССС;
- прочность, зависящая от микроструктуры, сформировавшейся в период твердения.

В связи с этим, при разработке составов ССС следует установить дозировку между гипсоцементным вяжущим и мелким заполнителем в составе ССС, а также В/Вяж отношение и консистенцию смеси. Далее, на основании полученных данных, при заданной консистенции смеси проектируется состав ССС требуемой прочности.

Определяется соотношение между вяжущим и мелким заполнителем, а также расход вяжущего, воды и мелкого заполнителя, и далее, на пробных замесах, осуществляется экспериментальная проверка физико-механических свойств гипсобетонной смеси – ее подвижность, плотность и прочность контрольных образцов, твердеющих в нормальных условиях 28 суток.

По вышеописанной методике для стеновых и отделочных материалов были разработаны и предложены составы ССС на основе КГВ.

7.3.1 ССС на основе КГВ для стеновых материалов

При разработке составов ССС на основе КГВ для стеновых материалов (камней и блоков) в качестве мелкого заполнителя применяли песок кварцевый Червленского месторождения (по ГОСТ 8736) и плотный дробленый шлак из отвалов Грозненской теплоэлектростанции (таблица 7.7).

Соотношение компонентов ССС – КГВ: заполнитель – 1:1 и 1:2.

Для определения свойств ССС, включающей КГВ и мелкий заполнитель (шлак или кварцевый песок), первоначально ее высыпали в смеситель с водой, далее перемешивали несколько минут, затем, по расплыву стандартного

конуса, определяли подвижность смеси, из которой формовали образцы – балочки размером 4х4х16 см.

Таблица 7.7 – Применяемые природные и техногенные заполнители

Заполнитель	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность кг/м ³	Модуль крупности	Максимальная крупность зерен, мм
Кварцевый песок	2620	1560	1,9	2,5
Шлак	1800	1200–1400	2,77	4

Из жестких смесей формовали образцы диаметром и высотой 30 мм в пресс-формах (давление прессования составляло 20 МПа). В возрасте 7 суток был определен предел прочности при сжатии затвердевших образцов, когда композиты набирают около 70 % марочной прочности, и через 28 суток (таблицы 7.8 – 7.10, рисунки 7.14 – 7.15).

Таблица 7.8 – Свойства ССС (со шлаком) из бетонных смесей на КГВ (с добавкой шлака/золы-уноса)

Свойства	КГВ: мелкий заполнитель					
	1:1			1:2		
В/Вяз	0,3/0,35	0,35/0,4	0,4/0,45	0,40/0,45	0,45/0,50	0,50/0,55
Распływ конуса, мм	136/142	171/196	203/241	152/123	181/162	201/206
Прочность при сжатии, МПа:						
7 суток	19,5/11,4	15,8/10,5	13,7/9,8	20,2/11,9	16,8/9,7	13,8/8,8
28 суток	32,3/19,4	27,4/17,9	23,4/16,6	34,5/20,3	28,6/17,3	23,8/14,7

В результате испытаний была установлена возможность получения из ССС на основе КГВ мелкоштучных стеновых материалов, соответствующих классам В7,5 – В35.

Установлена прямая зависимость прочностных характеристик затвердевших образцов из подвижных бетонных смесей от величины В/Вяз отношения.

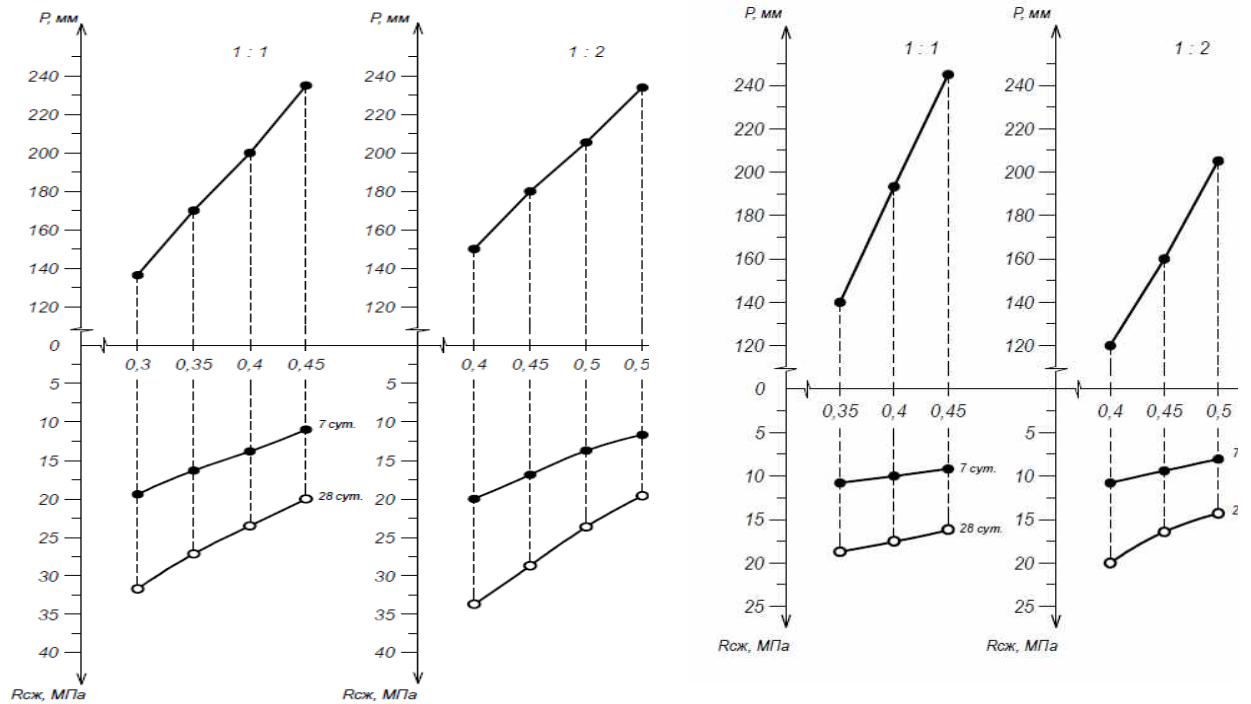


Рисунок 7.14 – Взаимосвязь реологии смеси и прочностных свойств сухой строительной смеси (со шлаком):
а) КГВ с добавкой шлака; б) КГВ с добавкой золы-уноса

Таблица 7.9– Свойства ССС (с песком) из бетонных смесей на КГВ (с добавкой шлака/золы-уноса)

Свойства	КГВ: мелкий заполнитель							
	1:1				1:2			
В/Вяз	0,25/ 0,3	0,3/ 0,35	0,35/ 0,4	0,4/ 0,45	0,4/ 0,45	0,45/ 0,5	0,5/ 0,55	0,55/ 0,6
Распływ конуса, мм	152/ 124	173/ 152	194/ 177	212/ 206	122/ 134	142/ 168	162/ 197	181/ 225
Прочность при сжатии, МПа:								
	7 суток	23,3/ 18,4	21,0/ 15,6	19,6/ 14,5	18,9/ 12,2	15,2/ 11,8	13,6/ 8,7	11,9/ 7,6
28 суток	38,4/ 29,7	34,2/ 26,5	29,3/ 24,7	26,4/ 20,9	23,4/ 19,2	21,6/ 16,1	19,6/ 12,9	17,8/ 11,9

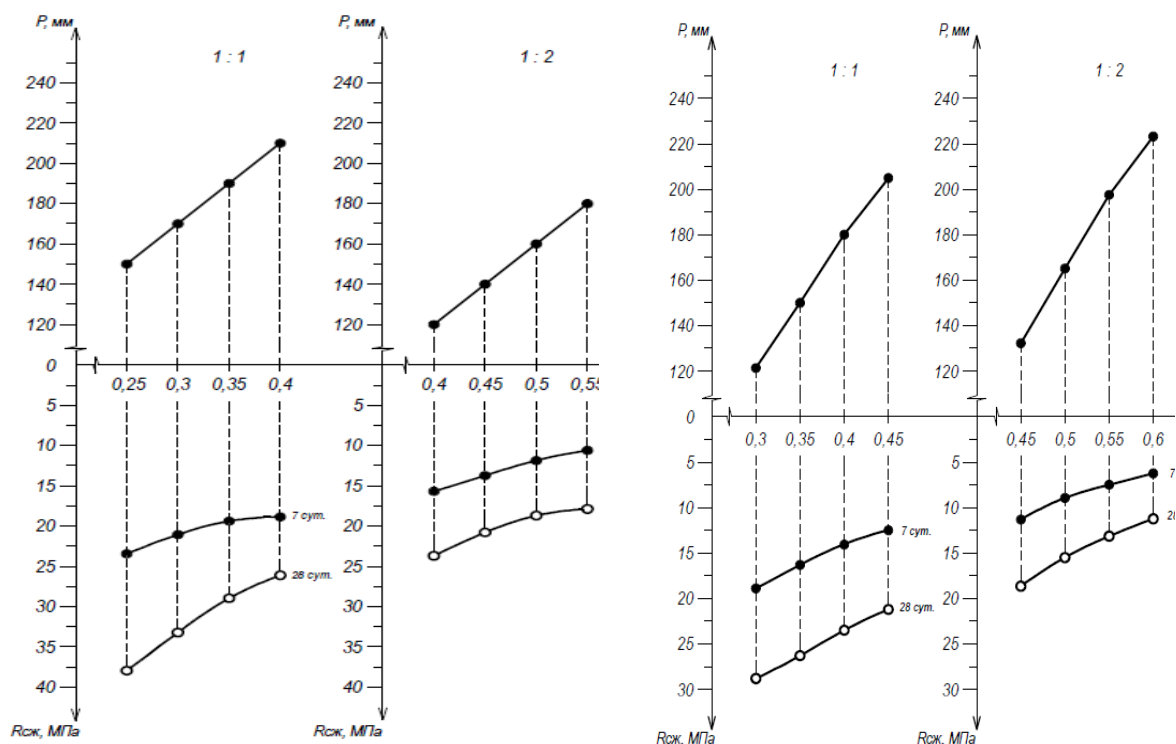


Рисунок 7.15 – Взаимосвязь реологии смеси и прочностных свойств сухой строительной смеси (с песком):

а) КГВ с добавкой шлака; б) КГВ с добавкой золы-уноса.

Таблица 7.10 – Показатели ССС их жестких бетонных смесей на КГВ (с минеральной добавкой шлака/золы-уноса)

Показатели	Соотношение КГВ: мелкий заполнитель	
	1:1	1:2
с шлаком		
Средняя плотность, кг/м ³		
7 суток		2,23/2,33
28 суток	2,24/2,26	2,22/2,24
28 суток	2,21/2,18	
Рсж, МПа:		
7 суток		23,16/7,5
28 суток	32,63/8,0	24,58/10,71
28 суток	43,83/11,43	
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

Показатели прочности затвердевших равноподвижных смесей на

заполнители из кварцевого песка ниже, чем на заполнителе из шлака, что объясняется химическим составом и более высокой гидравлической активностью шлака, с морфологическими особенностями его шероховатой поверхности, способствующей в процессе гидратации образованию более прочной контактной зоны с вяжущим.

В рамках выполнения исследований в настоящей работе на растровом электронном микроскопе Tescan MIRA 3, был проведен микроанализ структуры образцов мелкоштучных стеновых материалов (рисунок 7.16, таблица 7.11).

Таблица 7.11 – Оксидный состав продуктов гидратации в точках микрозондирования

№-ра точек	Элементный состав, мас. %							
	C	O	Si	Ca	Fe	S	K	Al
6	23,4	46,5	15,7	9,0	-	4,9	-	0,3
7	41,2	31,7	2,2	12,4	-	11,3	0,3	0,8
8	52,7	31,2	1,5	8,2	-	6,4	-	-
9	-	40,9	0,6	35,5	-	23,0	-	-
10	8,6	46,0	0,9	25,6	0,6	18,2	-	0,2
11	8,4	28,1	-	47,6	-	15,9	-	-
12	6,5	34,8	0,5	42,8	-	15,5	-	-
13	7,8	41,5	46,5	1,3	-	0,9	-	-
14	-	56,0	0,2	24,2	-	19,6	-	-
15	3,2	30,8	0,2	41,1	-	24,0	-	0,1
16	8,6	55,8	2,3	18,2	-	15,0	-	0,1

Электронно-микроскопическими исследованиями установлено (рисунок 7.16, а), что в образцах с использованием шлака в качестве мелкого заполнителя образующиеся кристаллы между собой объединены в непрерывную достаточно плотную микроструктуру с большим количеством

кристаллогидратных новообразований, обеспечивающих тесные контакты с минимальным содержанием пор.

В образцах с мелким заполнителем из кварцевого песка в качестве мелкого заполнителя (рисунок 7.16, б, в) из подвижных смесей микроструктура более рыхлая, между кристаллами новообразований просматривается наличие пор разных размеров.

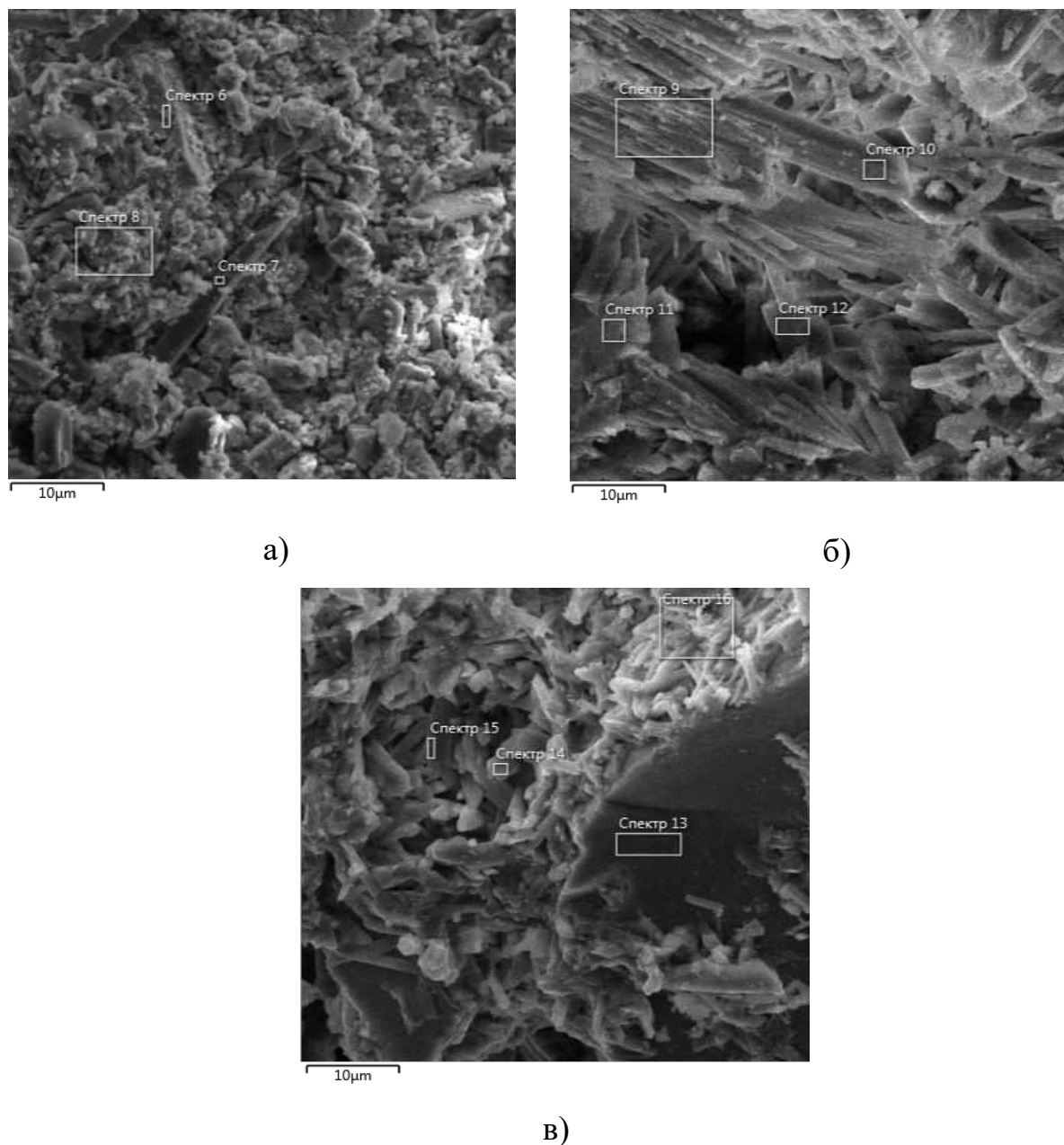


Рисунок 7.16 – Микроструктура образцов в возрасте 1 года:
а – на КГВ-1 (с шлаком) на кварцевом песке; *б*– на КГВ-2 (с золой-уноса)на шлаке;
в – на КГВ-2 (с золой-уноса)на кварцевом песке

Методом РФА установлено, что исследованные пробы затвердевших ССС на КГВ представлены следующими веществами: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d=7,63; 4,29; 3,8; 3,5 \dots \text{Å}$), CSH(B) ($d= 3,07; 2,89; 2,785; 1,98 \dots \text{Å}$), CaCO_3 ($d=2,088; 1,89 \dots \text{Å}$) и двумя разновидностями силикатов типа $\text{K,Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ ($d=3,888; 3,283; 3,23; 2,983 \dots \text{Å}$). Следов Ca(OH)_2 ($d=4,9 \dots \text{Å}$) и этtringита ($d=5,6; 4,92 \dots \text{Å}$) на рентгенограммах не обнаружено (рисунок 7.17).

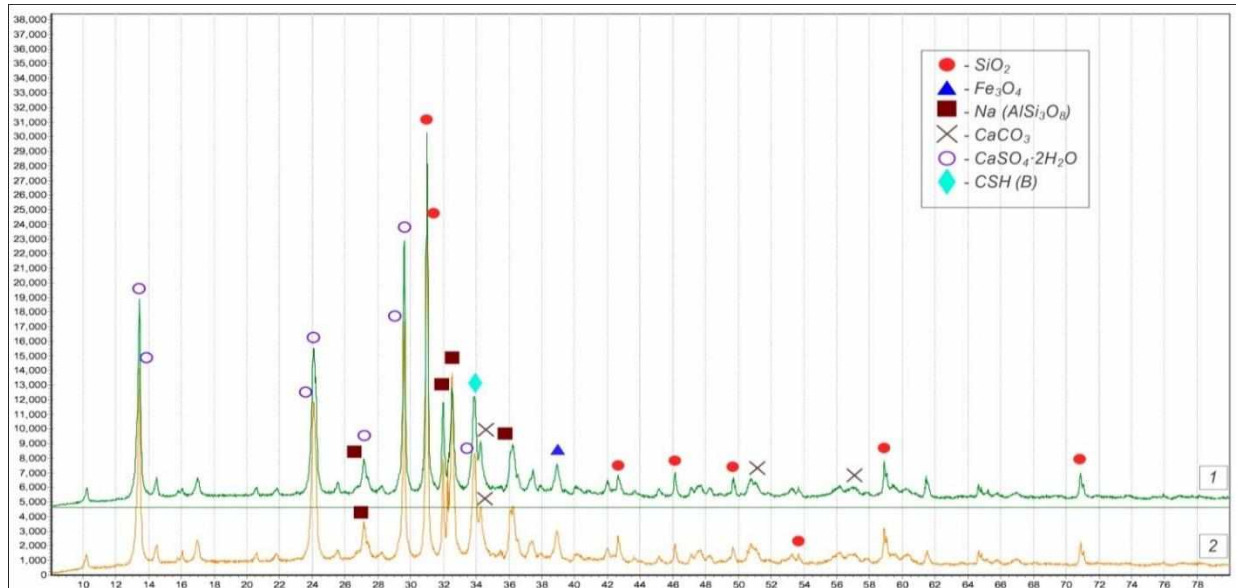


Рисунок 7.17 – РФА образцов мелкоштучных стеновых материалов на кварцевом песке в возрасте 1 года:

кривая 1 – на КГВ-1 (с шлаком); кривая 2 – на КГВ-2 (с золой-уноса)

Пики алита и белита ($d= 2,78; 2,76 \dots \text{Å}$) в КГВ-1 (1) и в КГВ-2 (2) подтверждают большую реакционную способность клинкерных минералов, проявляющуюся в образцах на основе КГВ-2 (с золой-уноса) (рисунок 7.18).

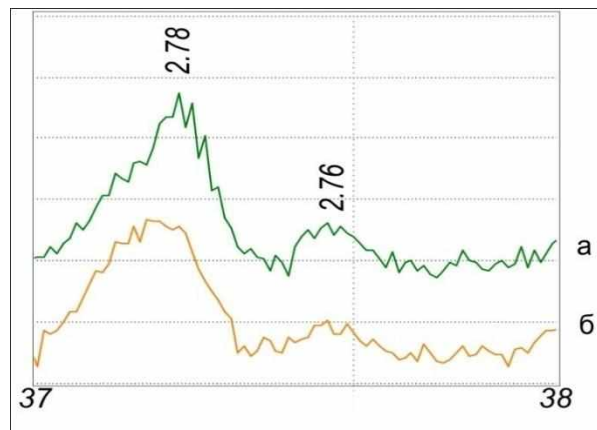


Рисунок 7.18 – Результаты РФА C_3S и C_2S

Далее, по изменению показателей прочностных характеристик и коэффициента размягчения изучался потенциал кинетики гидравлического твердения в течение 90 суток (таблица 7.12).

Таблица 7.12 – Физико-механические свойства затвердевших образцов при твердении на воздухе и в воде

№	Применяемый наполнитель	Предел прочности при сжатии (МПа) в возрасте (сутки)				Коэффициент размягчения, K_p в возрасте (сутки)			
		7	28	60	90	7	28	60	90
1	шлак	8,8	16,1	16,8	17,4	0,66	0,68	0,69	0,70
2*		5,9	11,0	11,6	12,2				
3	песок	9,8	17,2	17,6	18,0	0,68	0,70	0,69	0,73
*		6,7	12,0	12,2	13,1				

Примечание: подвижные растворные смеси на КГВ-2 с золой-уноса;
*твердение в воде при нормальных условиях

Было выявлено, что при твердении в течение 90 суток в естественных и с повышенной влажностью условиях, прочностные характеристики и коэффициент размягчения исследуемых материалов не снижаются (большие значения с использованием в качестве мелкого наполнителя кварцевого песка).

В ходе эксперимента были определены показатели деформативных и прочностных характеристик образцов (таблица 7.13).

Таблица 7.13 – Прочностные и деформативные свойства образцов сухих строительных смесей на КГВ-2

Серия	Средн. плотность, кг/м^3	Кубик. прочн. $R_{\text{куб}}$, МПа	Призм. прочн., $R_{\text{пр}}$, МПа	$R_{\text{пр}}/R_{\text{куб}}$	Модуль упруг. E_b , МПа	Коэф. Пуассона	Влажность, % мас.	Возраст бетона
ССС _{подв.} на песке	2081	16,3	14,7	0,92	14020	0,33	1,8	28 сут тверд. на возд.
ССС _{жест.} на песке	2192	17,9	16,5	0,94	17200	0,31	1,6	

Таким образом, в результате экспериментальных исследований в диссертационной работе были разработаны составы ССС на основе КГВ для

мелкоштучных стеновых материалов классов по прочности В10 – В35 с коэффициентом размягчения 0,66–0,73.

Важными характеристиками затвердевших ССС на КГВ являются деформации набухания и усадки.

Экспериментально было установлено (рисунок 7.19), что показатели деформации набухания образцов из разработанных ССС в первые сутки увеличиваются до значений 2–2,5 мм/м, значительно (в 2–2,5 раза) превышая деформации усадки (0,3–0,5 мм/м), а затем имеют затухающий характер и стабилизируются.

К 180 суткам для образцов из подвижных растворных смесей их значения составляют 0,5 мм/м и 3,0 мм/м, соответственно, а для образцов из жестких растворных смесей – 0,4 мм/м и 2,5 мм/м, соответственно.

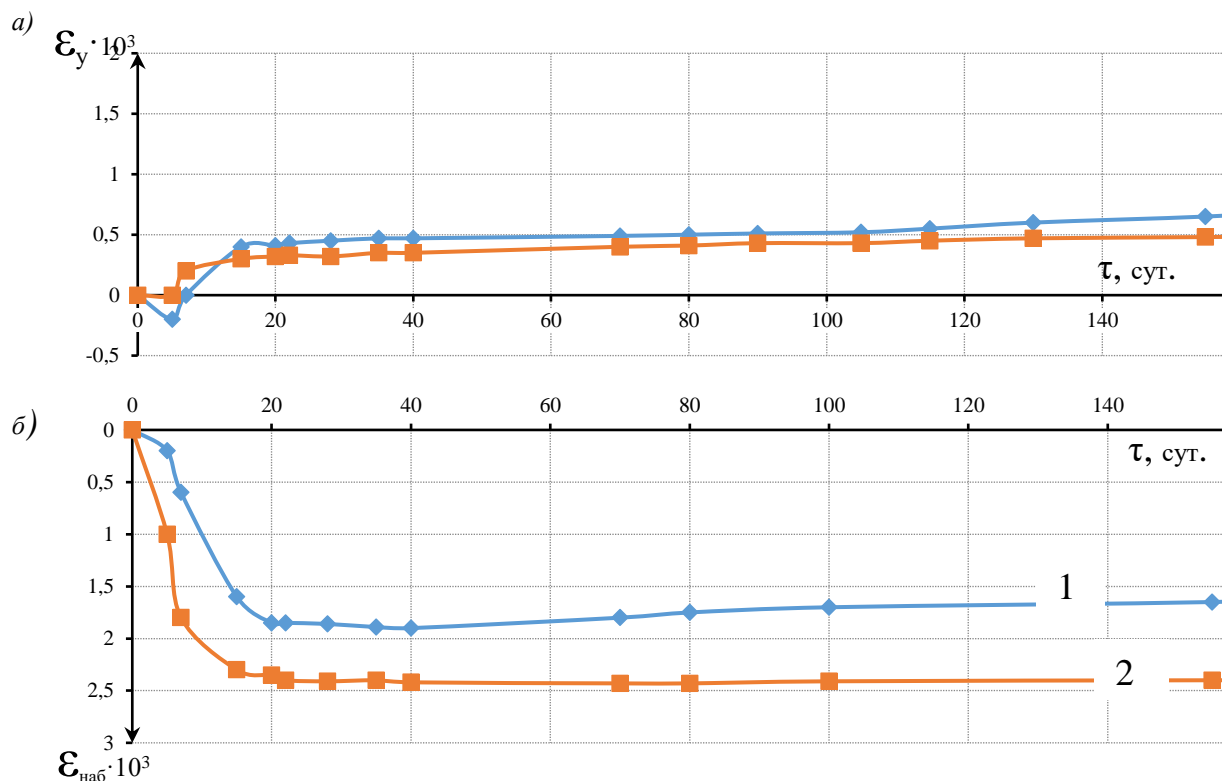


Рисунок 7.19 – Деформации усадки и набухания
(обозначения согласно таблицы 7.12)

Для определения показателей морозостойкости образцов (с ребром 7,07 см) из ССС на КГВ их замораживали при температуре 10–15°C в

лабораторной морозильной камере. Через 40 циклов морозосмен образцы класса по прочности В10 (на шлаке) имели потерю в массе 4 % при снижении прочности на 17 %, то есть их марка по морозостойкости – F35, а образцы класса по прочности В10 (на кварцевом песке) через 55 циклов морозосмен имели потерю в массе 3 % при снижении прочности на 15 %, что соответствует марке по морозостойкости – F50.

Промышленное внедрение разработанных сухих штукатурных смесей на КГВ осуществлено при изготовлении стеновых блоков на ООО «Элитстрой»

г. Грозного (рисунок 7.20).



Рисунок 7.20 – Изготовленные стеновые блоки на ООО «Элитстрой» г. Грозного

Технология изготовления мелкоштучных стеновых блоков заключалась в следующем: в формы многопустотного типа с выдвигаемым днищем заливают подвижную бетонную смесь. Формование сопровождается высокочастотной вибрацией на заполненные формовочной смесью формы. На вибростол устанавливается по две формы, которые крепятся захватами. Затем, после трехчасовой выдержки форм с изделиями и достижения распалубочной прочности, блоки удаляются из форм с помощью выпрессовочного устройства

Таким образом, проведенными испытаниями были установлены высокие эксплуатационные свойства мелкоштучных стеновых материалов из разработанных ССС на КГВ с мелким заполнителем на основе местных сырьевых ресурсов Чеченской Республики.

7.3.2 Проектирование сухих штукатурных смесей на основе КГВ

Отделочные составы на базе КГВ повышенной водостойкости могут быть применены для внутренних работ, а также в помещениях с влажным режимом. Предназначены такие смеси для грубого выравнивания различных поверхностей при ремонте, реконструкции и строительстве зданий путем однослойного или многослойного оштукатуривания стен и потолков, а также в качестве основания под последующее нанесение на него декоративных покрытий.

Сухие штукатурные смеси на основе КГВ представляют собой растворные смеси, содержащие в своем составе не менее 50% сульфата кальция в качестве основного активного компонента вяжущего, а также мелкозернистый заполнитель фракции не более 2,5 мм. Для регулирования свойств в сухие гипсовые смеси вводят специальные порошкообразные модифицирующие добавки различного назначения. В рамках проведения исследований в настоящей диссертационной работе разработаны составы сухих штукатурных смесей на основе КГВ и исследованы их свойства, согласно действующему государственному стандарту (таблица 7.14).

Свойства штукатурных смесей на КГВ (класса В2) должны

характеризоваться показателями их качества в сухом состоянии, а также растворных (готовых для применения) и затвердевших смесей.

Таблица 7.14 – Требования к сухим штукатурным смесям на КГВ (класс В2)

Наименование показателя	Нормативные показатели по ГОСТ Р 58279-2018
Содержание гипсового вяжущего, %	Более 50
Влажность, не более	0,5
Грансостав, мм, %, не более:	
5	не допускается
1,25	1,0
0,2	12
0,125	15,0
Насыпная плотность	не нормируется
Удельн. эффектив активность естеств. радионуклидов (ГОСТ 30108-94), Аэфф, Бк/кг	до 370

В качестве вяжущего вещества в составе сухих штукатурных смесей использовали КГВ с активными минеральными добавками следующего состава: 70:20:10 – гипс:цемент:шлак и 70:12:18 – гипс:цемент:зола-уноса, показатели свойств которых представлены в таблице 7.5).

Для улучшения технологичности при нанесении штукатурных смесей и предотвращения их растрескивания в процессе эксплуатации в их составе при соотношении КГВ: мелкий заполнитель – 1:3 в качестве заполнителя применяли кварцевый песок Червленского месторождения, а также плотный дробленый шлак из отвалов Грозненской ТЭЦ.

Максимальный размер частиц мелкого заполнителя для штукатурных смесей на КГВ зависит от назначения смеси:

- смесь кладочная и штукатурная – не более 2,5 мм;
- смесь штукатурная, верхний слой – не более 1,2 мм.

Для регулирования подвижности растворной смеси и скорости набора прочности применяли комплекс органических модификаторов производства

ООО «АДДИТИВ ПРЛЮС», г. Подольск в сухом виде:

– стабилизатор MAPF Forbo-Crete S 010 при дозировке 0,07% (по воде), позволяющий контролировать подвижность смеси без потери удобоукладываемости и способствует ее сопротивлению к расслоению;

– загуститель MAPF № T10 – 0,1% (от массы КГВ), обладающий выраженным тиксотропным эффектом загущения, а также снижающий водопоглощение, улучшающий перерабатываемость раствора и фиксирующую способность;

– водоудерживающую добавку – КМЦ (карбоксиметилцеллюлозу, 0,5% по массе), позволяющую в течение 30 минут и более сохранять удобоукладываемость и клеящую способность раствора. В качестве замедлителя сроков схватывания применяли лимонную кислоту в количестве 0,1–0,2%, по массе.

Приготовление штукатурной растворной смеси на КГВ осуществляли следующим образом. Первоначально в необходимое количество воды вводили лимонную кислоту (0,1–0,2% по массе) для увеличения временного интервала между началом и концом ее схватывания.

Затем при постоянном перемешивании (не менее 3 мин) в полученный раствор добавляли мелкий заполнитель (в соотношении 1:3, по массе), предварительно приготовленное КГВ с минеральными и модифицирующими добавками для придания формовочной смеси требуемой вязкости и пластичности.

Основные показатели качества штукатурных смесей на КГВ в соответствии с действующими российскими техническими нормативными правовыми актами представлены в таблицах 7.15 – 7.16 и на рисунках 7.21 – 7.22.

Согласно ГОСТ Р 58279-2018 проводили испытания растворных смесей и затвердевших растворов из сухих штукатурных смесей на основе КГВ. Подвижность растворной смеси определяли на встряхивающем столике по расплыву стандартного конуса (РК), диаметр которого должен составлять

150±10 – 160±10 мм. Затем формовали образцы-балочки размером 4x4x16 см.

Таблица 7.15 – Свойства растворяемых смесей с песком на КГВ (с минеральной добавкой шлака/золы-уноса)

Показатели	Соотношение КГВ: кварцевый песок 1:3			
	1	2	3	4
№ п/п				
В/Вяж	0,55/0,6	0,62/0,63	0,65/0,65	0,7/0,75
Расплав, мм	120/135	150/150	165/160	190/210
Риз, МПа: 7 суток	3,5/1,6	3,0/1,4	2,7/1,4	2,3/1,3
Рсж, МПа: 7 суток 28 суток	9,3/4,7 15,8/8,6	7,5/3,3 13,3/7,6	6,8/3,2 12,2/6,8	5,8/3,2 10,3/5,4

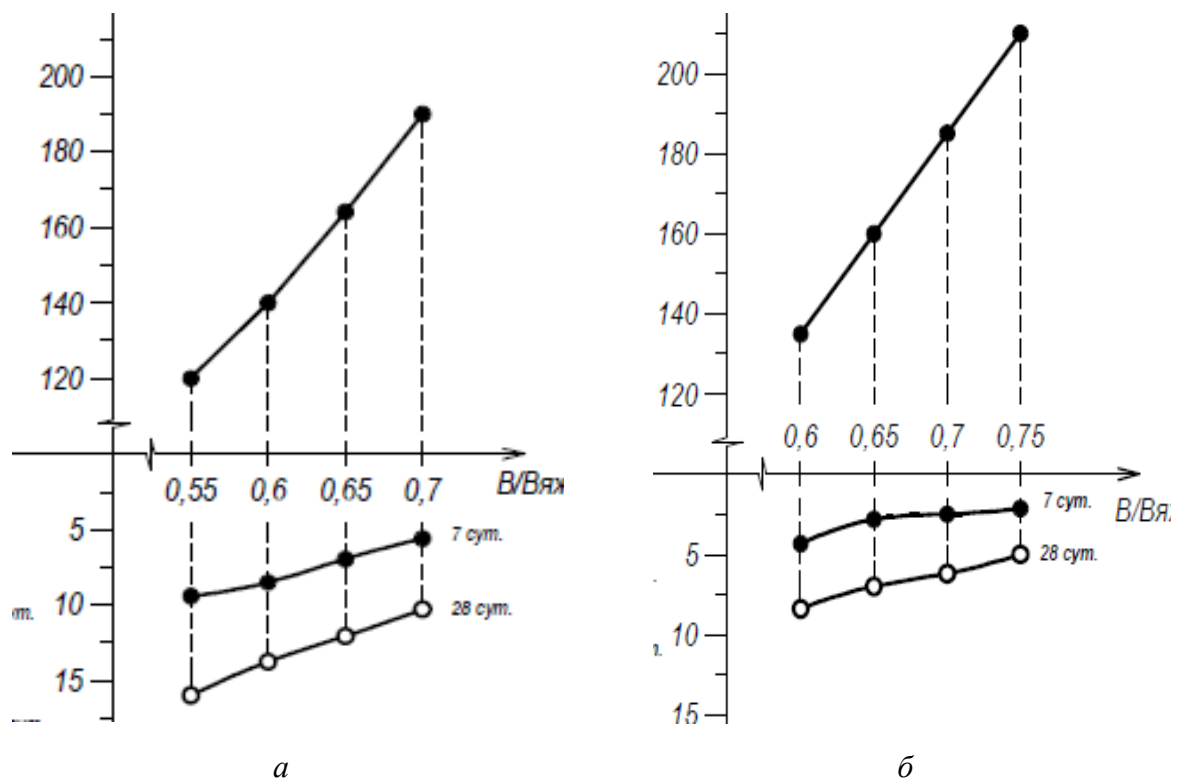


Рисунок 7.21 – Связь подвижности смесей и прочности при сжатии композитов с песком на КГВ:

а- на КГВ с добавкой шлака; *б*- с добавкой золы-уноса

Таблица 7.16 – Показатели растворных смесей со шлаком на КГВ (с добавкой шлака/золы-уноса)

Показатели	Соотношение КГВ: шлак 1:3		
	1	2	3
№ п/п			
В/Вяж	0,46/0,51	0,51/0,54	0,54/0,6
Расплав, мм	151/152	166/168	195/224
Риз, МПа: 7 суток	6.4/4.3	5.7/3.8	4.3/3.0
Рсж, МПа: 7 суток 28 суток	19,0/12,2 33,2/20,9	15,8/9,4 27,8/16,1	13,4/8,1 22,3/13,8

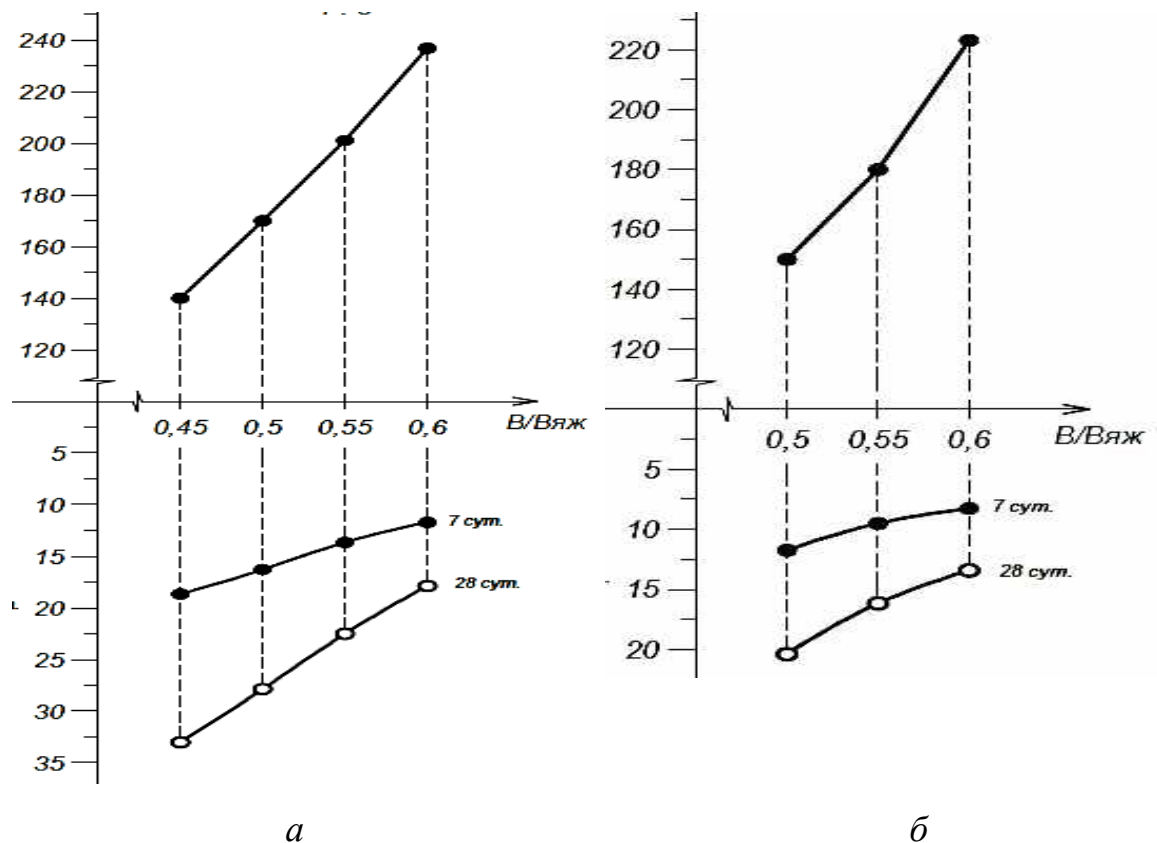


Рисунок 7.22 – Связь подвижности смесей и прочности при сжатии композитов со шлаком на КГВ:
а- на КГВ с добавкой шлака; б- с добавкой золы-уноса

В результате проведенных испытаний было установлено:

–при соотношении КГВ: мелкий заполнитель – 1:3 значения

прочностных свойств затвердевших растворных смесей закономерно снижаются с увеличением $V/V_{\text{яж}}$ отношения.

– у затвердевших растворных смесей с кварцевым песком на КГВ-1 (с минеральной добавкой шлака) предел прочности при сжатии в 7-ми суточном возрасте в 2,3 раза выше, чем на КГВ-2 (с минеральной добавкой золы-уноса) и составляет от 3,2 до 9,3 МПа;

– у затвердевших растворных смесей со шлаком на КГВ – 1 (с минеральной добавкой шлака) предел прочности при сжатии в 7-ми суточном возрасте в 1,7 раза выше, чем на КГВ-2 (с минеральной добавкой золы-уноса) и составляет от 8,1 МПа до 19 МПа.

Разработанные рецептуры сухих штукатурных смесей на основе КГВ по удобоукладываемости, жизнеспособности, прочности сцепления с основанием (адгезии), водоудерживающей способности, плотности и прочности соответствуют требованиям ГОСТ Р 58279-2018 (таблица 7.17).

Внедрение разработанных сухих штукатурных смесей на основе КГВ осуществлялось при отделке жилых и общественных зданий Чеченской Республики (на объектах строительства ООО «Успех»).

Толщина штукатурного слоя составила около 20 мм. Общий объем опытной партии штукатурной смеси, приготовленной для данного объекта, составил около 60 м³, что равно 3000 м² поверхности стен. Качество оштукатуренных поверхностей проверяли в возрасте 7 и 28 суток методами неразрушающего контроля. При изучении не наблюдалось усадочных деформаций, трещин, высолов или других неблагоприятных явлений.

Таким образом, разработанные сухие штукатурные смеси на основе КГВ по основным физико-техническим характеристикам соответствуют или превосходят нормативные требования, а по характеристикам долговечности и экономичности превосходят производимые аналоги на основе традиционных гипсовых вяжущих. Согласно полученным значениям коэффициента размягчения, они классифицируются как гипсовые материалы повышенной водостойкости ($0,6 < K_p \leq 0,8$). Таким образом, разработанные сухие

строительные смеси являются перспективными для оштукатуривания поверхностей при проведении внутренних отделочных работ, а также при проведении наружных работ с условием защиты от длительного воздействия влаги.

Таблица 7.17 – 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 (при производстве работ вручную)
			160±10 (при механизир. производстве работ)
Начало схватывания, мин	35	35	не менее 30 (при производстве работ вручную)
	65	65	не менее 60 (при механизирован.. производстве работ)
Жизнеспособность, мин	75	75	Не нормируется
Водоудерживающая способность, %	96	97	Не менее 95%.
Предел прочности при изгибе (7 сут), МПа	1.4	1,6	не менее 1,0 .
Предел прочности при сжатии, (7 сут), МПа	3,0...7,0	9,0...19,0	Не менее 2,0
Прочность сцепления с основанием (7 сут), МПа	0.35	0,36	Не менее 0,3
Стойкость к образованию трещин в возрасте 1 сут	Отсутствие трещин в слое проектной толщины (20 мм)	Отсутствие трещин в слое проектной толщины (20 мм)	Отсутствие трещин в слое проектной толщины

В качестве мелкого заполнителя штукатурных сухих смесей на основе

КГВ рекомендуется использовать местные сырьевые материалы ЧР – кварцевый песок и дробленый шлак из золоотвалов предприятий теплоэнергетики, что снижает их себестоимость.

Выводы по 7 главе

1. Практически обоснована эффективность применения тонкодисперсных золы-уноса и шлака в качестве минеральных добавок в составе КГВ, обеспечивающих физические, механические и эксплуатационные свойства ССС на их основе для стеновых изделий и штукатурных растворов.

2. Установлено, что в составе золошлаковых отходов Грозненской ТЭЦ содержатся рентгеноаморфные вещества – $K,Na(AlSi_3O_8)$ и SiO_2 , которые при взаимодействии с $Ca(OH)_2$ способны проявлять гидравлическую активность с формированием гидросиликатов кальция второй генерации, которые обеспечивают конечную прочность, водостойкость и долговечность материала, что свидетельствует о возможности применения данного вида техногенного сырья в составе КГВ для ССС на их основе.

3. Изучен характер влияния минеральных добавок на процессы структурообразования при твердении КГВ с оптимизированным гранулометрическим составом их частиц, что приводит к синтезу в матрице композита низкоосновных гидросиликатов, гидроалюмосиликатов кальция и повышению его водостойкости.

4. 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), что согласуется с показателями их физико-механических характеристик, представляя практический интерес с точки зрения управления структурно механическими свойствами растворяемых смесей на разработанных вяжущих.

5. Разработаны составы ССС на основе КГВ для мелкоштучных

стеновых материалов классов по прочности В10 – В35 с коэффициентом размягчения 0,66–0,73.

6. Разработаны рецептуры сухих штукатурных смесей на основе КГВ, по основным физико-техническим свойствам они соответствуют или превосходят нормативные требования, а по характеристикам долговечности и экономичности превосходят производимые аналоги на основе традиционных гипсовых вяжущих.

7. В качестве мелкого заполнителя сухих штукатурных смесей на основе КГВ рекомендуется использовать местные сырьевые материалы ЧР – кварцевый песок и π дробленый шлак из золоотвалов предприятий теплоэнергетики, что снижает их себестоимость.

8. Установлены высокие эксплуатационные свойства мелкоштучных стеновых материалов из разработанных ССС на КГВ с мелким заполнителем из местных сырьевых ресурсов Чеченской Республики.

9 Выпущены опытно-промышленные партии мелкоштучных стеновых материалов и сухих штукатурных смесей из разработанных ССС на основе КГВ с мелким заполнителем из местных сырьевых ресурсов Чеченской Республики. Данные материалы и изделия на их основе являются экономически эффективными в результате применения местного природного и техногенного сырья, повышения скорости строительного производства с одновременным упрощением технологии.

8. ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

8.1 Разработка нормативных документов

Для широкомасштабного внедрения результатов диссертационной работы создан комплекс регламентирующей документации:

– Технологический регламент на производство мелкоштучных стеновых материалов из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и брака (Приложение 1);

– Стандарт организации «Пористые вторичные заполнители из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для бетонов и строительных растворов и теплоизоляции» (Приложение 2);

– Стандарт организации «Композиционные гипсовые вяжущие с использованием золошлаковых отходов» (Приложение 3);

– Рекомендации по изготовлению изделий из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем (Приложение 4);

– Технологический регламент на производство композиционного гипсового вяжущего для производства мелкоштучных стеновых материалов (Приложение 5);

– Технические условия «Строительные штукатурные растворы марок М75...М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье» (Приложение 6);

– Рекомендации на приготовление и применение строительных штукатурных растворов марок М75 ... М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье (Приложение 7);

– Технологический регламент на производство высококачественных бетонных смесей повышенной жизнеспособности с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья (Приложение 8);

– Технологический регламент на производство мелкозернистых бетонных композитов на наполненном вяжущем с наполнителем из отходов дробления бетонного лома (Приложение 9).

8.2 Внедрение результатов работы

8.2.1 Общие сведения о результатах выпуска опытных партий и их внедрения

Не во всех регионах Российской Федерации имеются качественные природные заполнители, поэтому проблема повышения эффективности техногенного сырья, в том числе отходов различных производств, приобретает несомненную актуальность.

В настоящей работе разработаны и предложены строительные композиты различного функционального назначения:

- легкие бетонные композиты на основе вторичного сырья из керамического кирпичного боя (ККБ) и брака, в том числе на композиционных гипсовых вяжущих;
- высококачественные бетоны (ВКБ) для монолитного строительства на основе отходов сноса (материал от рециклинга бетона, ККБ и др.);
- строительные растворы на основе некондиционного и техногенного сырья в виде очень мелких песков и золошлаковых смесей;
- мелкозернистые бетоны (МЗБ) на основе отсеков дробления для специальных конструкций и элементов мощения.

Также для получения выше обозначенных строительных композитов разработаны специальные виды добавок и композиционных вяжущих (КВ) – комплексная органоминеральная добавка (КМД), наполненные вяжущие (НВ) с применением тонкомолотого наполнителя из вторичного сырья и химических модификаторов, а также более водостойкие гипсодержащие вяжущие для легких композитов стенового назначения.

Ввиду целого ряда преимуществ монолитной технологии, в сравнении с другими методами возведения зданий и сооружений, в настоящее время данный способ интенсивно развивается по всей стране. Одним из ключевых показателей монолитных бетонов и технологии монолитного строительства является получение цельных однородных конструкций повышенной сеймоустойчивости, надежности и долговечности, что очень актуально для регионов с повышенной сеймоактивностью.

Разработанные в рамках данной диссертационной работы составы

строительных композитов отвечают требованиям соответствующих нормативных документов как по технологическим параметрам, так и по физико-механическим и эксплуатационным свойствам.

Внедрение полученных результатов, в зависимости от вида и назначения исследуемого композита, осуществлено на различных объектах строительства и производственных предприятиях (таблица 8.1).

8.2.2 Внедрение легких бетонных композитов на основе ККБ

Вышеобозначенные нормативно-технические документы, разработанные в рамках настоящей диссертационной работы, были использованы в условиях производственного внедрения результатов работ на предприятии ООО «МУСТАНГ» (г. Хасавюрт) при выпуске экспериментальной партии стеновых изделий (рисунок 8.1).

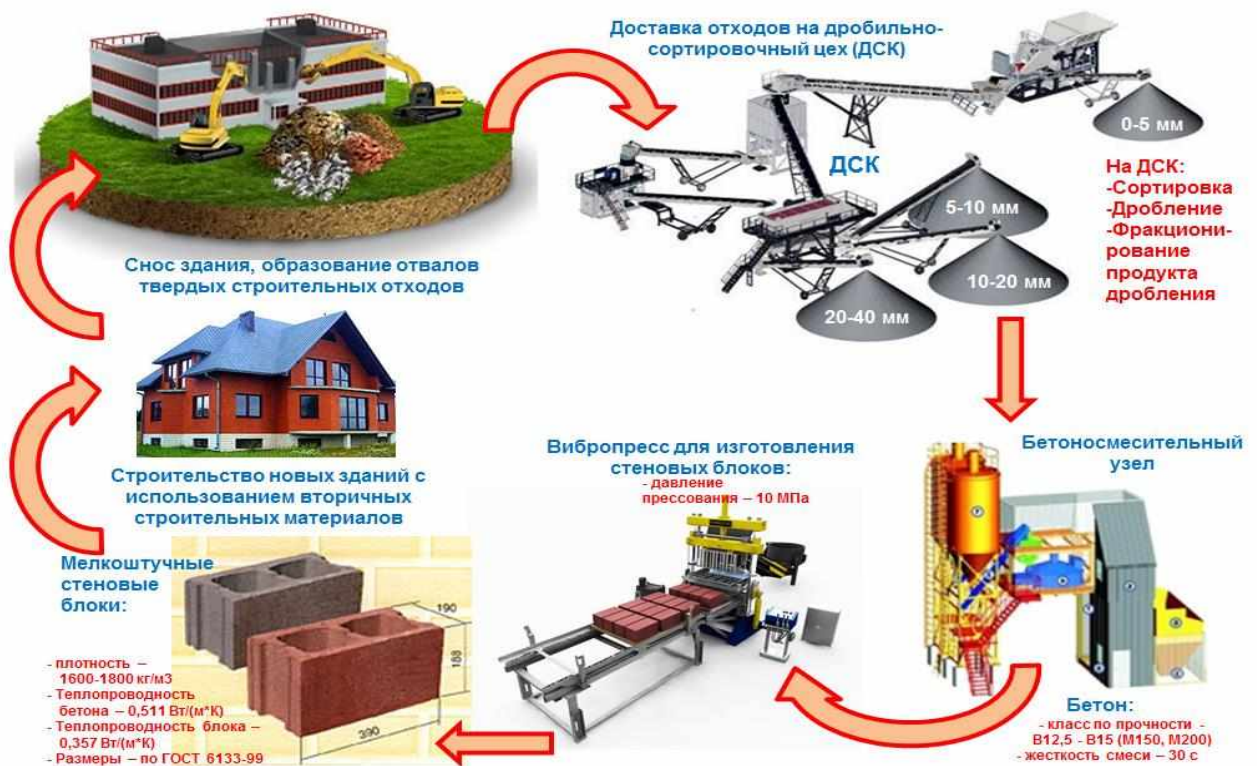


Рисунок 8.1 – Технологический цикл рециклинга кирпича для изготовления стеновых изделий

Таблица 8.1 – Сводные данные о внедрении строительных композитов на различных объектах строительства

№ п/п	Объект внедрения	Область внедрения	Организация, через которую выполнено производство / внедрение	Объем внедрения / производства	Наименование внедренного материала	Документ о внедрении
1.	Строительство жилого дома в г. Хасавюрт	Ограждающие конструкции здания	ООО «Мустанг»	10 000 шт.	Стеновые блоки на основе ККБ	Рис. 8.2, Прил. 10 и 11
2.	Строительство 3-х домов коттеджного типа в г.Грозный	Перегородки и ограждающие конструкции здания	ЗАО «Внешторгсервис (выпуск), ООО «ПГС-85» (внедрение)	7 500 шт.	Стеновые блоки на основе КГВ	Рис. 8.3, Прил. 12 и 13
3.	Торгово-развлекательный центр «Грозный Молл», г.Грозный	Монолитные колонны	ООО «Град»	125 м ³	Бетон В30	Прил. 15 и 16
4.	То же	Диафрагмы жесткости	ООО «СК Чеченстрой»	85 м ³	Бетон В40	Прил. 14, 15 и 16
5.	Реконструкция Аргунского гидроузла (с.Чири-Юрт)	Конструкция водораспределительного узла	ООО «Град» (выпуск), ООО «Водстрой» (внедрение)	25 м ³	Бетон В60	Рис. 8.7, Прил. 17 и 18
6.	Строительство общественного здания по пр. Х.Исаева, д.7	Штукатурные работы	ООО «Успех»	60 м ³ или 3 000 м ²	Раствор М150	Рис. 8.9, Прил. 19
7.	Строительство жилого дома по ул. Петропавловское ш., д. б/н	Кладочные работы		250 м ³	Раствор М100	Рис. 8.10, Прил. 19

Продолжение таблицы 8.1

№ п/п	Объект внедрения	Область внедрения	Организация, через которую выполнено производство / внедрение	Объем внедрения / производства	Наименование внедренного материала	Документ о внедрении
8.	Строительство жилого комплекса «Grozny Towers»	Несущие стены	ООО «Дика-стройпроект»	2 800 м ³	Бетон В30	Рис. 8.8, Прил. 25
		Плиты перекрытий и покрытия		1 750 м ³	Бетон В40	
		Фундаментная плита		1 500 м ³	Бетон В60	
		Наружные и внутренние штукатурные работы		35 м ³	Наружные и внутренние штукатурные работы	
		Каменные работы		200 м ³	Кладочный раствор	
		Внутренние штукатурные работы		45 м ³	Сухие строительные смеси	
9.	Внутридворовые пешеходные дорожки ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова	Тротуарная плитка	ООО «СтройГрупп»	1 250 м ²	Мелкоштучные элементы мощения	Рис. 8.11 и 8.12, Прил. 20 и 22

Экспериментальная партия стеновых изделий размером 388x190x188 мм приведена на рисунке 8.2.



Рисунок 8.2 – Экспериментальная партия стеновых изделий:
а – готовые изделия; б – расположение пустот

Из данных стеновых изделий ООО «Мустанг» построен в 2019 году жилой дом в г. Хасавюрт (рисунок 8.3).



Рисунок 8.3 – Процесс возведения жилого дома

В течение трех лет проводилось наблюдение за строительным объектом, никаких дефектов в процессе эксплуатации не обнаружено.

Прочность при сжатии выпущенной экспериментальной партии - 23,2 МПа, что удовлетворяет нормативным требованиям. При этом, фактические величины физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик, отличались от заданных не более, чем на 4 %. Соответствующие акты приведены в Приложениях 10 и 11.

8.2.3 Мелкозернистые бетоны на основе КГВ для мелкоштучных стеновых материалов

Опытно-промышленная партия мелкоштучных строительных изделий на основе КГВ и золошлаковых смесей выпущена ЗАО «Внешторгсервис» на технологической линии полусухого прессования ИП Умарова Л.Ш. (г. Грозный).

Внедрение опытной партии строительных изделий в промышленных условиях проводилось ООО «ЛГС-85» (г. Грозный) в ходе возведения трех коттеджей в п. Мичурина (Чечня) (рисунок 8.4).



Рисунок 8.4 – Построенные коттеджи с использованием мелкоштучных строительных изделий на основе КГВ и золошлаковых смесей

Размеры блоков опытной партии, предназначенных для:

- ограждающих стен – 20/30/60 см;
- перегородок 10/30/60 см.

Количество блоков в партии – 7 500 штук, из них:

– 6000 шт. – для ограждающих стен;

– 1500 шт. – для перегородок.

Общим объемом бетона выпущенной партии блоков составил около 215 м³.

Использование композиционного материала на гипсовом вяжущем является более эффективным по сравнению с традиционным бетоном. Количество требуемого раствора снижается в 2 раза, а скорость возведения возрастает до пяти раз, при снижении массы стеновых изделий (в расчете на 1 м² кладки) на 50%. Установлено, что применение разработанных материалов и изделий на их основе уменьшает затраты на треть по сравнению с традиционным кирпичом.

Соответствующий акт о производстве экспериментальной полупромышленной партии стеновых изделий приведен в Приложении 12, а акт о строительстве коттеджей - в Приложении 13.

8.2.4 Внедрение высококачественных бетонов (ВКБ) на основе отходов разборки зданий и сооружений при монолитном строительстве

Основные результаты исследований высококачественных бетонов (ВКБ) на основе отходов разборки зданий и сооружений апробированы автором в промышленных условиях на ООО «СК Чеченстрой» и ООО «Град» при строительстве торгово-развлекательного центра «Грозный Молл» (г. Грозный) (рисунок 8.5 и 8.6).



Рисунок 8.5 – Лаборанты испытательной лаборатории ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова на посту контроля качества строительных материалов (стройплощадка ТРЦ «Грозный Молл»)

Объем партии ВКБ, предназначенной для устройства:

- колонн из бетона класса В30 125 м³;
- диафрагм жесткости из бетона класса В40 85 м³.

Общий объем бетона, произведенного по рекомендуемым составам в рамках настоящей диссертационной работы, с учетом технологических потерь, составил более 112 м³.



Рисунок 8.6 – Контроль качества бетона конструкции: лаборанты испытательной лаборатории ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова во время определения физико-механических свойств монолитных конструкций неразрушающими методами

Соответственные акты экспериментального полупромышленного внедрения бетонных смесей приведены в Приложениях 14-15.

Справка о внедрении высококачественных монолитных бетонов представлена в Приложении 16.

Кроме того, опытная партия монолитного бетона более высокого класса (В60), полученная в рамках настоящей диссертационной работы с комплексным использованием отходов разборки зданий и сооружений, выпущена на базе РБУ ООО «ГРАД».

Бетонная смесь марки БСТ В60 П4 готовилась с применением наполненных вяжущих типа НВ М750 Д20 и химических добавок Линамикс ПК (0,3 % от массы Ц) и Линамикс РС (0,7 % от массы Ц).

Указанная партия бетонной смеси внедрена на объекте «Реконструкция Аргунского гидроузла (с.Чири-Юрт)» при устройстве монолитной конструкции водораспределительного узла предприятием ООО «Водстрой» (рисунок 8.7).



Рисунок 8.7 – Объект внедрения ВКБ класса В60 «Реконструкция Аргунского гидроузла (с.Чири-Юрт)» при устройстве монолитной конструкции водораспределительного узла предприятием ООО «Водстрой»

Документ о качестве бетонной смеси опытной партии, выпущенной на ООО «ГРАД», и справка о ее внедрении от ООО «Водстрой» и других предприятий представлены в Приложениях 17, 18 и 25.

Кроме того, при строительстве комплекса многоэтажных жилых зданий «Grozny Towers» со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом, возводимых с IV квартала 2020 года (окончание – IV квартал 2023 г.) в г.Грозный по ул. Шейха Али Митаева, б/н, компанией ООО «Дика-стройпроект», выполнено комплексное внедрение современных полифункциональных строительных композитов гидратационного твердения, получаемых на основе комплексного использования техногенного сырья (рисунок 8.8), а именно:

- высококачественные и высокопрочные монолитные бетоны различных классов по прочности на сжатие, в т.ч. водонепроницаемые составы тяжелых

бетонов для устройства подземных частей зданий и сооружений;

- строительные растворы на основе комплексной модифицирующей добавки для каменной кладки при заполнении проемов и внутренних отделочных работ, включая сухие строительные смеси различного назначения.



**СТРОИТЕЛЬСТВО КОМПЛЕКСА МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
СО ВСТРОЕННЫМИ
НЕЖИЛЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ И ПОДЗЕМНЫМ ПАРКИНГОМ РАСПОЛОЖЕННОГО
ПО АДРЕСУ: ЧЕЧЕНСКАЯ РЕСПУБЛИКА, Г. ГРОЗНЫЙ, ЛЕНИНСКИЙ РАЙОН, УЛ. ШЕЙХА
АЛИ МИТАЕВА, Б/Н**

**ЗАСТРОЙЩИК: ООО «ДИКА-СТРОЙПРОЕКТ»
КОНТАКТНОЕ ЛИЦО: т. 8 (938) 893-04-44
ОТДЕЛ ПРОДАЖ: т. 8 (938) 000-59-00**

**НАЧАЛО СТРОИТЕЛЬСТВА: IV КВАРТАЛ 2020 г.
ОКОНЧАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА: IV КВАРТАЛ 2023 г.**

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ:

ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА	КВ.М.	8 035,0
НЕЖИЛАЯ ПЛОЩАДЬ	КВ.М.	2 880,0
ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ КВАРТИР	КВ.М.	54 189,0
ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ ПАРКИНГА	КВ.М.	12 920,0
КОЛИЧЕСТВО ЭТАЖЕЙ	ЭТАЖ	30
КОЛИЧЕСТВО НАДЗЕМНЫХ ЭТАЖЕЙ	ЭТАЖ	28
КОЛИЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ЭТАЖЕЙ	ЭТАЖ	2
КОЛИЧЕСТВО КВАРТИР – ВСЕГО		582
В ТОМ ЧИСЛЕ:		
1-КОМНАТНЫЕ	ШТУК/КВ.М.	96
2-КОМНАТНЫЕ	ШТУК/КВ.М.	268
3-КОМНАТНЫЕ	ШТУК/КВ.М.	162
4-КОМНАТНЫЕ	ШТУК/КВ.М.	86
КОЛИЧЕСТВО МАШИНОМЕСТ В ПАРКИНГЕ	ШТ.	430



Рисунок 8.8 – Строительство жилого комплекса «Grozny Towers», где внедрены составы полифункциональных строительных композитов гидратационного твердения, получаемых на основе комплексного использования техногенного сырья

Высококачественные монолитные бетонные смеси марок БСТ В60 П5 F600 W20, БСТ В40 П5 F200 W8 и БСТ В30 П5 F200 W6, согласно ГОСТ 7473-2010, и другие композиционные материалы, предложенные ГНТУ, применялись ООО «Дика-стройпроект» для различных конструктивных элементов возводимых зданий.

Бетонные смеси и строительные растворы, применяемые на объекте строительства, имеют хорошую однородность, высокую сохраняемость (около 3-9

часов в зависимости от вида композита) и соответствуют ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия и ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия.

Производственные испытания полифункциональных строительных композитов гидратационного твердения, получаемые на основе комплексного использования техногенного сырья, показали эффективность их применения при возведении монолитных конструкций зданий и сооружений.

Справка о внедрении предприятием ООО «Дика-стройпроект» полифункциональных строительных композитов на основе техногенного сырья представлена в приложении 25.

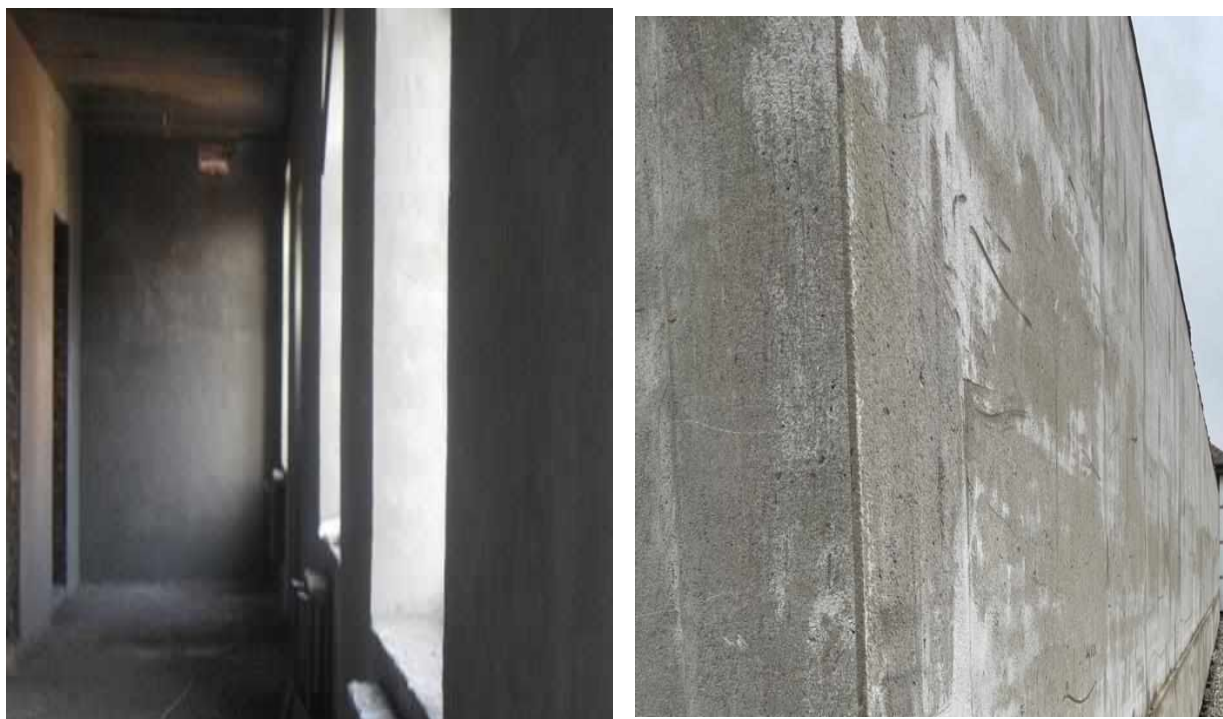
8.2.5 Строительные растворы на основе некондиционного и техногенного сырья для отделочных и кладочных работ

Результаты исследования строительных растворов на основе некондиционного и техногенного сырья внедрены при строительстве жилых и общественных зданий Чеченской Республики, в частности, при отделочных и кладочных работах.

Для промышленного внедрения были использованы производственные составы строительных растворов на мелких песках с добавкой КМД, обеспечивающей получение растворов с маркой М150 и М100 (табл. 8.5).

Разработанные рецептуры соответствовали всем требованиям, предъявляемым к строительным растворам по удобоукладываемости, жизнеспособности, прочности сцепления с основанием (адгезии), вододерживающей способности, морозостойкости, постоянству объема, плотности и прочности на сжатие.

Внедрение выполнено на объектах строительства, возводимых ООО «Успех» и ООО «Дика-стройпроект» (рисунки 8.9 и 8.10).



а)

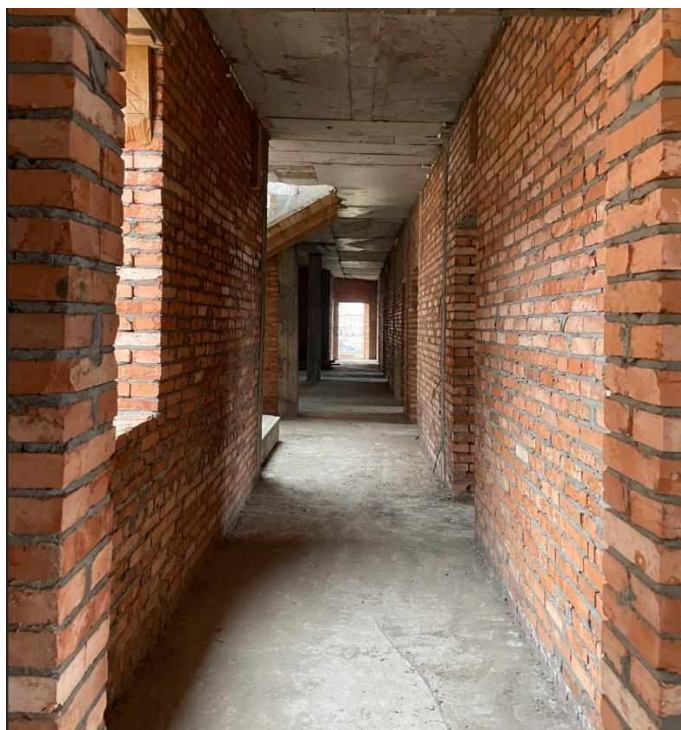
б)

Рисунок 8.9 – Штукатурные работы внутренние (а) и наружные (б) на объекте строительства общественного здания, возводимого предприятием ООО «Успех» по пр. Х. Исаева, д.7

Для приготовления штукатурного строительного раствора по технологии, представленной в 6-й главе настоящей диссертационной работы, использовалась рецептура М150. Толщина штукатурного слоя составила около 2,0 см. Общий объем опытной партии штукатурной смеси, приготовленной для данного объекта, составил около 60 м³, что равно 3000 м² поверхности стен.

Качество оштукатуренных поверхностей проверяли в возрасте 7 и 28 суток методами неразрушающего контроля. Усадочные деформации, трещины, высолы или другие неблагоприятные явления не наблюдались.

Кладочные растворы М100 на мелких песках с добавкой КМД отличались повышенной прочностью сцепления с основанием, водоудерживающей способностью и удобоукладываемостью, жизнеспособностью в течение 6 часов без потери качества технологических свойств.



Кладочный раствор
на основе КМД
M100, $V = 250 \text{ м}^3$

Рисунок 8.10 – Каменная кладка внутренних стен на объекте строительства жилого дома, возводимого предприятием ООО «Успех» по ул. Петропавловское шоссе, д. б/н

Производственные испытания строительных растворов с КМД, полученной механохимической активацией золошлаковых смесей, показали, что по всем параметрам наиболее эффективным составом является предлагаемый разработчиками состав, который содержит добавку КМД в количестве до 3% при расходах цемента 400–450 кг.

Выпуск кладочного строительного раствора предлагаемого состава с начала внедрения технологии его изготовления составил 250 м^3 .

Справка о внедрении предприятием ООО «Успех» строительных растворов на основе техногенного сырья представлена в приложении 19.

8.2.6 Мелкозернистые бетоны на основе отсеков дробления бетонного лома для изготовления мелкоштучных элементов мощения

Для всех стран характерно мощение тротуаров и пешеходных проходов из современных экономичных материалов из мелкозернистого бетона, которые

создают архитектурную выразительность и имеют небольшую стоимость. Мелкозернистый бетон с правильно подобранным составом характеризуется высококачественной структурой и отличается высокой технологичностью, позволяет сравнительно просто изготавливать изделия как методом прессования с немедленной распалубкой, так и методом литья, и, кроме этого, он легко и эффективно модифицируется с помощью различных добавок, обеспечивая получение материалов с различным комплексом свойств. Его несомненное достоинство — использование в качестве заполнителя дешевых местных техногенных отходов, методов механоактивации бетонной смеси, которые позволяют получать высокопрочные мелкозернистые бетоны для изготовления специальных тонкостенных конструкций, мелкоштучных изделий для дорожного строительства и т.д. К тому же такая технология, как известно, позволяет снизить себестоимость бетона на 15–25 % в сравнении с тяжелыми бетонами на крупном заполнителе.

Так, результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в данной работе, позволили организовать производство прессованной брусчатки на предприятии Чеченской Республики ООО «Строй Групп» (рис. 8.10), на котором в соответствии с планом освоения новых видов продукции, экономически целесообразных строительных материалов и оптимизации производственного процесса внедрена технология изготовления цементобетонных изделий методом прессования из жестких формовочных смесей по ГОСТ 26633, предназначенных для устройства сборных покрытий тротуаров, пешеходных и садово-парковых дорожек и др., с применением нефракционированного и небогащенного мелкого заполнителя из отсева дробления бетонного лома.

Определение удобоукладываемости формовочной массы, выполненное по ГОСТ 10181, показало, что жесткость бетонной смеси составляла 60–80 секунд.

Для уплотнения формовочной смеси использовали пресс-установки с давлением прессования около 30 МПа. Время прессования обычно не превышало 10–12 секунд.

Распалубочная прочность прессованных изделий составляла не менее 1,0–1,2

МПа, что позволяло осуществлять их бездефектное пакетирование.

Технологические поддоны со свежесформованными изделиями подавались на участок твердения, где подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) в специальной камере с гидроизоляцией, влажность в камере – 95 %, а температура – не менее 60 °С. Продолжительность ТВО – 12 часов. ТВО позволило добиться 75 % прочности цементобетонных изделий после 12 часов пропарки.

Прессованная цементобетонная плитка внедрена при благоустройстве внутренней дворовой территории ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, где выложены дорожки площадью более 500 м² (рисунки 8.11 и 8.12).

Экономический эффект от внедрения технологии мелкозернистых бетонов на основе отсевов дробления бетонного лома составил более 520 рублей на 1 м³ бетона.



Рисунок 8.11 – Опытная партия мелкоштучных элементов мощения из мелкозернистого бетона на основе отсевов дробления бетонного лома, выпущенная на технологической линии ООО «СтройГрупп»

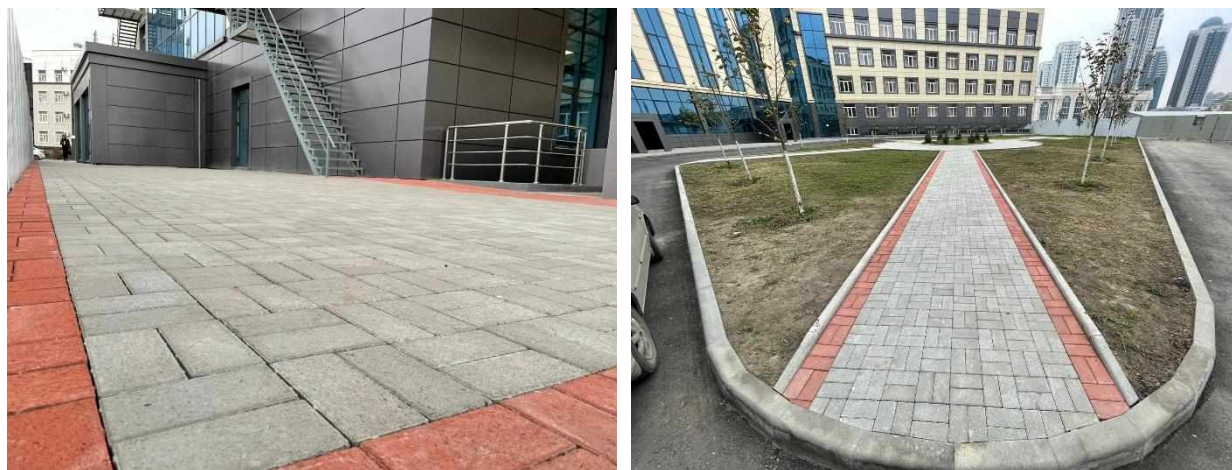


Рисунок 8.12 – Укладка из опытной партии тротуарной плитки при благоустройстве внутренней дворовой территории ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2021 г.

Акт выпуска и внедрения опытно-промышленной партии мелкоштучных элементов мощения из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья представлен в Приложении 20.

8.3 Техничко-экономическое обоснование результатов работы

Техничко-экономическая эффективность получения полифункциональных композитов с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья складывается из следующих факторов:

1. Использование доступного, дешевого и часто не востребованного местного сырья, включая отходы разборки зданий и сооружений, золошлаковые смеси и другие продукты производства и потребления продукции;
2. Экономия цемента (до 2,0 раз) за счет замены ее тонкомолотыми минеральными наполнителями техногенной природы (МНТП);
3. Существенным снижением стоимости экономических затрат на доставку и использование качественных привозных сырьевых материалов для бетона;
4. Возможность использования разработанных нами композитов на основе вторичного сырья в конструкциях, эксплуатируемых во влажных средах, без дополнительной теплоизоляции, благодаря высокой долговечности и

практически абсолютной водонепроницаемости данных составов бетонов.

Гарантированно снизить стоимость бетонной смеси и полуфабрикатов на ее основе можно путем внедрения эффективных композиционных материалов, в первую очередь, полужункциональных строительных композитов на основе техногенного сырья.

Разработка технико-экономического обоснования на основе сравнения вариантов составов бетонной смеси определяет целесообразность применения различных разновидностей исследуемого материала. При технико-экономическом обосновании сравниваются предлагаемые композиты на основе вторичного сырья с эталонными образцами, т.е. с традиционными бетонами или растворами того же качества.

Экономический эффект \mathcal{E} от применения нового материала вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E} = [C_{\text{КОНТР.}} - C_{\text{ПРЕДЛ.}}] \cdot V \quad (8.1)$$

где $C_{\text{КОНТР.}}$, $C_{\text{ПРЕДЛ.}}$ – стоимости одного кубического метра композита контрольного и предлагаемого составов, руб/м³; V – объем производства, м³.

Стоимость 1 м³ i -го композита любого состава (контрольного, предлагаемого), исследованных в данной работе, рассчитаем по следующей формуле:

$$C_{\text{Б}}^i = C_{\text{ВЯЖ.}} \cdot m_{\text{ВЯЖ.}} + C_{\text{В}} \cdot m_{\text{В}} + C_{\text{П}} \cdot m_{\text{П}} + C_{\text{Щ}} \cdot m_{\text{Щ}} + C_{\text{Д}} \cdot m_{\text{Д}} + C_{\text{Н}} \cdot m_{\text{Н}} \quad (8.2)$$

где $C_{\text{ВЯЖ.}}$ – стоимость 1 кг вяжущего, руб.; $C_{\text{В}}$ – стоимость 1 литра воды, руб.; $C_{\text{П}}$ – стоимость 1 кг мелкого заполнителя (песка), руб.; $C_{\text{Щ}}$ – стоимость 1 кг крупного заполнителя (щебня), руб.; $C_{\text{Д}}$ – стоимость 1 кг добавки, руб.; $C_{\text{Н}}$ – стоимость 1 кг наполнителя, руб.; $m_{\text{ВЯЖ.}}$, $m_{\text{В}}$, $m_{\text{П}}$, $m_{\text{Щ}}$, $m_{\text{Д}}$, $m_{\text{Н}}$ — соответственно масса вяжущего, воды, песка, щебня, добавки и наполнителя на 1 м³ бетона, кг.

При определении стоимости 1 м³ бетона или строительного раствора контрольного и предлагаемого составов стоимость компонентов смеси принята по таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Стоимость компонентов бетонной или растворной смеси

Наименование	Стоимость, руб./кг.	Примечание
Портландцемент М500 Д0 «Чеченцемент»	6,30	Данные АО «Чеченцемент» на I квартал 2021 г.
Портландцемент М500 Д0 «Новоросцемент»	6,50	Данные ОАО «Верхнебаканский цементный завод» на I квартал 2021 г.
Песок из осева дробления керамического кирпичного боя (ККБ)	0,73	Данные ООО «Мустанг» на I квартал 2021 г.
Песок из отсева дробления бетонного лома	0,81	
Песок керамзитовый, фр. 0–5 мм	2,42	Данные на I квартал 2021 г.
Песок Алагирского месторождения	0,32	Данные на I квартал 2021 г. от ООО «Прогресс», РСО-Алания
Песок Червленского месторождения	0,27	Данные ГУП «Чеченкарьеруправление» на I квартал 2021 г.
Щебень из ККБ, фр. 5–20 мм	1,2	Данные ООО «Мустанг» на I квартал 2021 г.
Щебень керамзитовый, фр. 5–20 мм	2,05	Данные на I квартал 2021 г.
Щебень Алагирского месторождения фр. 5–20 мм	0,45	Данные ООО «Прогресс» на I квартал 2021 г., РСО-Алания
Щебень Аргунского месторождения фр. 5–20 мм	0,34	Данные ГУП «Чеченкарьеруправление» на I квартал 2021 г.
Щебень Серноводского месторождения фр. 5–20 мм	0,38	
Добавка СП-1	40	Данные на I квартал 2021 г.
Добавка суперпластификатор С-3	45	Данные на I квартал 2021 г. URL: https://fibroblok.ru/catalog/dobavki/s3
Добавка «Д-5» (комплексная полифункциональная добавка)	92	Данные ООО «ТОКАР» на I квартал 2021 г., г. Владикавказ

Продолжение таблицы 8.2

Добавка «Динамик ПК» (пластификатор)	78	Данные ООО «Полипласт-Юг» на I квартал 2021 г., г. Краснодар
Добавка «Динамик РС» (замедлитель)	43	
Модификатор бетона МБ 10–30С производства НИИЖБ (г. Москва)	20,5	Данные на I квартал 2021 г. URL: http://www.masterbeton-mb.ru
Модифицирующая добавка Murasan BWA 17 для полусухого вибропрессования	85	Данные на I квартал 2021 г. URL: http://www.alexir.ru/product/plastifikator-murasan-bva-19-10kg/
Вода затворения	0,2	Данные на I квартал 2021 г.
Наполненное вяжущее НВ М750 Д20	7,14	Расчет по формуле 8.3
Наполненное вяжущее НВ М600 Д40	6,17	
Минеральный порошок в виде известняковой муки	2,11	Данные на I квартал 2021 г.
МНТП из бетонного лома	1,47	Расчет по формуле 8.5
МНТП из ККБ	1,39	Расчет по формуле 8.6
Комплексная модифицированная добавка (КМД)	1,95	Расчет по формуле 8.7

8.3.1 Расчет материальных затрат на разработку легких бетонных композитов на основе ККБ

Для определения сравнительных стоимостей исследуемых бетонов использовались составы, представленные в таблице 8.3.

Стоимость 1 м³ предлагаемого состава $C_{Б.1}^{ПРЕДЛ.}$ керамобетонной смеси на вторичных заполнителях из ККБ (состав 1, таблица 8.3), согласно формуле 8.2, будет равна:

$$\begin{aligned}
 C_{Б.1}^{ПРЕДЛ.} &= 6,3 \cdot 315 + 1,2 \cdot 790 + 0,73 \cdot 540 + 0,2 \cdot 232 + 40 \cdot 4,7 = \\
 &= 1984,5 + 948 + 394,2 + 46,4 + 188 = 3561,1 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Стоимость 1 м³ предлагаемого состава $C_{Б,2}^{ПРЕДЛ.}$ керамобетонной смеси на вторичных заполнителях из ККБ (состав 2, таблица 8.3) будет равна:

$$C_{Б,2}^{ПРЕДЛ.} = 6,3 \cdot 422 + 1,2 \cdot 936 + 0,73 \cdot 0 + 0,2 \cdot 266 + 40 \cdot 6,3 = \\ = 2658,6 + 1123,2 + 0 + 53,2 + 252 = 4087,0 \text{ руб.}$$

Для контрольного состава керамзитобетонной смеси $C_{Б}^{КОНТР.}$ класса В15 (М200) составит:

$$C_{Б}^{КОНТР.} = 6,3 \cdot 310 + 2,05 \cdot 495 + 2,42 \cdot 751 + 0,2 \cdot 225 = \\ = 1953 + 1014,8 + 1817,4 + 45 = 4830,2 \text{ руб.}$$

Таблица 8.3 – Рецептура составов легких бетонов, применяемых для производства мелкоштучных стеновых материалов

№ состава	Расход материалов, кг, на 1 м ³ керамобетона					В/Ц	ρ бетона, кг/м ³	R ²⁸ _{сж} , МПа,	Стоимость 1 м ³ бетона	Экономический эффект в ...	
	Ц	Щ	П	В	Добавка СП-1*					руб.	%
1	Бетонный композит на основе ККБ плотной структуры (предлагаемый состав 1)										
	315	790	540	232	4,7	0,73	1735	22,7	3561,1	1269,1	26
2	Бетонный композит крупнопористой структуры (предлагаемый состав 2)										
	422	936	-	266	6,3	0,63	1418	19,1	4087,0	743,2	15
3	Эталонный керамзитобетон (контрольный состав)										
	310	495	751	225	-	0,73	1649	21,5	4830,2	0	-

* - Дозировка суперпластификатора СП-1 дана по жидкому раствору с концентрацией 35 %.

Экономический эффект на 1 м³ композита от использования предлагаемых составов составит:

– при использовании композита плотной структуры на вторичных заполнителях из ККБ (состав 1, таблица 8.3):

$$\mathcal{E} = 4830,2 - 3561,1 = 1269,1 \text{ руб/м}^3.$$

– при использовании композита крупнопористой структуры на вторичном крупном заполнителе из ККБ (состав 2, таблица 8.3):

$$\varepsilon = 4830,2 - 4087,0 = 743,2 \text{ руб/м}^3.$$

Экономия денежных средств, главным образом, происходит за счет использования вторичных заполнителей из дешевого, доступного сырья в виде ККБ и создания крупнопористой структуры в бетонной смеси.

Рассчитаем возможную экономию денежных средств при внедрении предлагаемых составов на предприятии ООО «Мегастройинвест» г. Грозный, выпускающего в настоящее время 75 000 штук условного мелкоштучного стенового прессованного блока в год. Соответствующий протокол о намерениях внедрения результатов настоящей диссертационной работы между кафедрой «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова и производственным предприятием ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ» подписан (Приложение 21).

В расчетах учтено конструктивное решение выпускаемых блоков – рядовые для наружных стен размеров 388x190x188 мм, пустотелые с несквозными пустотами.

Годовая производительность в рублях при производстве мелкоштучных стеновых изделий из предлагаемых $P_{Б.1}^{\text{ПРЕДЛ.}}$ и $P_{Б.2}^{\text{ПРЕДЛ.}}$ и контрольной $P_{Б}^{\text{КОНТР.}}$ бетонных смесей при объеме их выпуска $V = 75\ 000$ штук составит:

$$P_{Б.1}^{\text{ПРЕДЛ.}} = V \cdot C_{Б.1}^{\text{ПРЕДЛ.}} = 75 \cdot 3561,1 = 267\ 082,5 \text{ тыс. руб. в год};$$

$$P_{Б.2}^{\text{ПРЕДЛ.}} = V \cdot C_{Б.2}^{\text{ПРЕДЛ.}} = 75 \cdot 4087,0 = 306\ 525,0 \text{ тыс. руб. в год};$$

$$P_{Б}^{\text{КОНТР.}} = V \cdot C_{Б}^{\text{КОНТР.}} = 75 \cdot 4830,2 = 362\ 265,0 \text{ тыс. руб. в год};$$

Экономический эффект от внедрения композита на вторичных заполнителях из ККБ взамен традиционного керамзитобетона на портландцементе для выпуска мелкоштучных стеновых изделий составит:

– от внедрения композита плотной структуры (состав 1, таблица 8.3):

$$\Delta_{Б.1}^{\text{ПРЕДЛ.}} = 362\ 265,0 - 267\ 082,5 = 95\ 182,5 \text{ тыс. руб. в год.}$$

– от внедрения композита крупнопористой структуры (состав 2, таблица 8.3):

$$\Delta_{Б.2}^{\text{ПРЕДЛ.}} = 362\,265,0 - 306\,525,0 = 55\,740,0 \text{ тыс. руб. в год.}$$

Таким образом, на основании проведенных исследований можно констатировать, что легкий композит, изготовленный с использованием вторичных заполнителей из ККБ, является эффективным композиционным материалом для производства на его основе строительных изделий стенового назначения. Его применение по сравнению с равнопрочным легким керамзитобетоном позволяет снизить себестоимость выпускаемой продукции более чем на 15–25 %. Трудозатраты на производство вторичного заполнителя из ККБ меньше в 1,5–2 раза по сравнению с трудозатратами получения керамзита того же качества. Кроме того, вторичные заполнители из ККБ получают без термической их обработки, по сравнению с керамзитом и его разновидностями, затраты на топливо и энергию у которых составляют – 25–32 % от всех затрат их производства.

Экономическая эффективность от использования предлагаемых легких композитов на вторичных заполнителях из ККБ составляет до 25 %, что соответствует 55 740,0 тыс. руб. в год или 743,2 руб. на 1 м³ композита.

8.3.2 Расчет материальных затрат на получение высококачественных бетонов на основе отходов разборки зданий и сооружений

С целью технико-экономического обоснования эффективности получения высококачественных бетонов (ВКБ), получаемых на основе техноогненного сырья, произведена сравнительная их оценка с составами контрольных рецептур (табл. 8.4).

Таблица 8.4 – Составы бетонов контрольного и предлагаемых составов

№ состава	Наименование состава	Проектный класс бетона (марка) бетона	Требуемая прочность, МПа	Расход компонентов бетонной смеси, кг/м ³													Стоимость 1 м ³ бетона	Экономический эффект		
				Щебень			Песок		Вяжущее			МНТП		Вода	Добавка			руб.	%	
				Аргунский	Серноводский	Алагирский (плавильной)	Червленский	Алагирский (привозной)	ПЦ М500 Д0	ПЦ М500 Д0 «Новоросцем»	НВ М600 Д40	НВ М750 Д20	из бетонного лома		из ККБ	Динамикс ПК (% от массы)				Динамикс РС (% от массы)
1.	Контрольный 1	В30 (М400)	39,3	-	-	980	-	850	400	-	-	-	-	-	168	3,2 (0,8)	-	3516,2	0	-
2.	Предлагаемый 1			1000	-	-	855	-	-	-	385	-	-	-	-	161	1,16 (0,3)	2,7 (0,7)	3185,2	331,0
3.	Контрольный 2	В40 (М500)	52,4	-	-	945	-	700	-	460 +120**	-	-	-	-	170	3,68 (0,8)	-	4213,5	0	-
4.	Предлагаемый 2			-	1000	-	700	-	455	-	-	-	50	20	171	3,64 (0,8)	-	3854,9	358,6	10
5.	Контрольный 3	В80 (М1000)	104,7	-	-	980	-	660	-	570 +80***	-	-	-	-	182	7,5 (1,1)	-	6618,6	0	-
6.	Предлагаемый 3			-	1000*	-	605	-	-	-	-	700	-	-	168	2,8 (0,4)	-	5793,4	825,2	12

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

** – применялся минеральный порошок в виде известняковой муки;

*** – применялся модификатор бетона МБ 10-30С производства НИИЖБ (г. Москва).

Стоимость 1 м³ бетона контрольного состава $C_B^{КОНТР.}$ согласно формуле 8.2 составит (составы 1, 3 и 5, таблица 8.4):

– контрольный 1 (В30):

$$C_{B.1}^{КОНТР.} = 6,3 \cdot 400 + 0,45 \cdot 980 + 0,32 \cdot 850 + 0,2 \cdot 168 + 78 \cdot 3,2 = \\ = 2520 + 441 + 272 + 33,6 + 249,6 = 3516,2 \text{ руб.}$$

– контрольный 2 (В40):

$$C_{B.2}^{КОНТР.} = 6,5 \cdot 460 + 2,11 \cdot 120 + 0,45 \cdot 945 + 0,32 \cdot 700 + 0,2 \cdot 170 + \\ + 78 \cdot 3,68 = 2990 + 253,2 + 425,3 + 224 + 34 + 287 = 4213,5 \text{ руб.}$$

– контрольный 3 (В80):

$$C_{B.3}^{КОНТР.} = 6,5 \cdot 570 + 20,5 \cdot 80 + 0,45 \cdot 980 + 0,32 \cdot 660 + 0,2 \cdot 182 + \\ + 78 \cdot 7,5 = 3705 + 1640 + 441 + 211,2 + 36,4 + 585 = 6618,6 \text{ руб.}$$

Стоимость 1 м³ бетона предлагаемого состава $C_B^{ПРЕДЛ.}$ на основе местных материалов и наполненных вяжущих с наполнителем из техногенных отходов также находим по формуле 8.2. Для этого необходимо определить в первую очередь стоимость наполненных вяжущих марок НВ М750 Д20 и НВ М600 Д40, составы которых представлены в Главе 5.

Стоимость наполненного вяжущего ($C_{НВ}$) определяется по формуле:

$$C_{НВ} = C_{ПЦ} \cdot m_{ПЦ} + C_{МНТП} \cdot m_{МНТП} + C_{Д} \cdot m_{Д} \quad (8.3)$$

где $C_{ПЦ}$ – стоимость 1 кг портландцемента, руб.; $C_{МНТП}$ – стоимость 1 кг минерального наполнителя техногенной природы (МНТП), руб.; $C_{Д}$ – стоимость 1 кг добавки, руб.; $m_{ПЦ}$, $m_{МНТП}$, $m_{Д}$ – соответственно количество (доля) портландцемента, наполнителя, добавки в 1 кг НВ, кг.

Стоимость наполнителя $C_{МНТП}$, включающей в себя затраты на транспортирование ее на завод и на операции по сушке и первоначальному помолу, а также последующему совместному помолу с цементом и добавкой,

при тарифе на электроэнергию 1 кВт·ч = 3,2 руб. находят по формуле:

$$C_{\text{МНТП}} = C_{\text{МНТП}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}} + C_{\text{МНТП}}^{\text{ККБ}} \quad (8.4)$$

где $C_{\text{МНТП}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}}$ и $C_{\text{МНТП}}^{\text{ККБ}}$ – стоимости минерального наполнителя из бетонного лома и кирпичного боя соответственно, руб.

$C_{\text{МНТП}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}}$ и $C_{\text{МНТП}}^{\text{ККБ}}$ определяются по формулам (8.5 и 8.6):

$$C_{\text{МНТП}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}} = C_{\text{ОД}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}} + C_{\text{ТРАНС.}} + C_{\text{СУШКА}} + C_{\text{ПОМОЛ}} \quad (8.5)$$

$$C_{\text{МНТП}}^{\text{ККБ}} = C_{\text{ОД}}^{\text{ККБ}} + C_{\text{ТРАНС.}} + C_{\text{СУШКА}} + C_{\text{ПОМОЛ}} \quad (8.6)$$

где $C_{\text{ОД}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}}$ и $C_{\text{ОД}}^{\text{ККБ}}$ – стоимости отсевов дробления бетонного лома и керамического кирпичного боя (ККБ) соответственно, руб., $C_{\text{ТРАНС.}}$, $C_{\text{СУШКИ}}$ и $C_{\text{ПОМОЛА}}$ – стоимости на транспортировку, сушку и помол сырья для МНТП, руб.

Расход на транспортировку определяется из расчета средней стоимости 1 рейса (10 т.) по городу, равной 1500 руб.

Расход на сушку определяется из расчета, что производительность сушилки мощностью 3,5 кВт (при тарифе на электроэнергию 1 кВт·ч = 3,2 руб.) составляет 50 кг.

Расход на помол определяется из расчета, что производительность мельницы мощностью 2,7 кВт составляет 30 кг.

Тогда, согласно формулам 8.5 и 8.6 стоимость МНТП будет равна:

$$C_{\text{МНТП}}^{\text{БЕТ.ЛОМ.}} = 0,81 + 0,15 + 0,22 + 0,285 = 1,47 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{МНТП}}^{\text{ККБ}} = 0,73 + 0,15 + 0,22 + 0,285 = 1,39 \text{ руб.}$$

А стоимость 1 кг НВ по формуле 8.3 будет равна:

– марка НВ М750 Д20:

$$\begin{aligned} C_{\text{НВ М750 Д20}} &= 6,3 \cdot 0,8 + 1,47 \cdot 0,13 + 1,39 \cdot 0,05 + 92 \cdot 0,02 = \\ &= 5,04 + 0,1911 + 0,0695 + 1,84 = 7,14 \text{ руб.} \end{aligned}$$

– марка НВ М600 Д40:

$$\begin{aligned} C_{\text{НВ М600 Д40}} &= 6,3 \cdot 0,6 + 1,47 \cdot 0,27 + 1,39 \cdot 0,11 + 92 \cdot 0,02 = \\ &= 3,78 + 0,3969 + 0,1529 + 1,84 = 6,17 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 8.4.

Зная стоимость НВ, можно определить стоимость предлагаемых составов ВКБ по формуле 8.2 (составы 2, 4 и 6, таблица 8.4):

– предлагаемый 1 (В30):

$$\begin{aligned} C_{Б.1}^{\text{ПРЕДЛ.}} &= 6,17 \cdot 385 + 0,34 \cdot 1000 + 0,27 \cdot 855 + 0,2 \cdot 161 + 78 \cdot 1,16 + 43 \cdot 2,7 = \\ &= 2375,5 + 340 + 230,9 + 32,2 + 90,5 + 116,1 = 3185,2 \text{ руб.} \end{aligned}$$

– предлагаемый 2 (В40):

$$\begin{aligned} C_{Б.2}^{\text{ПРЕДЛ.}} &= 6,3 \cdot 455 + 0,38 \cdot 1000 + 0,27 \cdot 700 + 0,2 \cdot 171 + 78 \cdot 3,64 + 1,47 \cdot 50 + 1,39 \cdot 20 = \\ &= 2866,5 + 380 + 189 + 34,2 + 283,9 + 73,5 + 27,8 = 3854,9 \text{ руб.} \end{aligned}$$

– предлагаемый 3 (В80):

$$\begin{aligned} C_{Б.3}^{\text{ПРЕДЛ.}} &= 7,14 \cdot 700 + 0,38 \cdot 1000 + 0,27 \cdot 605 + 0,2 \cdot 168 + 78 \cdot 2,8 = \\ &= 4998 + 380 + 163,4 + 33,6 + 218,4 = 5793,4 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Расчет экономии денежных средств при использовании предлагаемых составов на наполненном вяжущем с МНТП из техногенного сырья по формуле 8.1:

$$\mathcal{E}_1 = 3516,2 - 3185,2 = 331 \text{ руб./м}^3.$$

$$\mathcal{E}_2 = 4213,5 - 3854,9 = 358,6 \text{ руб./м}^3.$$

$$\mathcal{E}_3 = 6618,6 - 5793,4 = 825,2 \text{ руб./м}^3.$$

С переходом на бетоны более высоких классов экономия от использования предлагаемых составов ВКБ на основе вторичного сырья увеличивается. Это объясняется тем, что в бетонах более высоких классов доля вторичного сырья также больше.

Экономия денежных средств в размере до 825 руб. на 1 м³, главным образом, складывается за счет использования дешевого, доступного местного природного и техногенного сырья, использования НВ с тонкомолотыми МНТП из бетонного лома и кирпичного боя, химических модификаторов структуры бетона, позволяющих сэкономить вяжущее за счет их водоредуцирующих, цементосберегающих и пластифицирующих эффектов.

8.3.3 Расчет материальных затрат на получение строительных растворов на основе КМД

Расчет ожидаемого годового экономического эффекта от использования строительных растворов с комплексной модифицированной добавкой (КМД) на строительных площадках выполнен в соответствии с существующими методиками определения экономической эффективности применения новой продукции, согласно которым экономическая эффективность определяется по разности произведенных затрат в расчете на сопоставимую единицу выполняемых работ.

Расчет годового экономического эффекта от применения предлагаемых решений производится по формуле 8.1.

Для составления сметы стоимости 1 м³ строительных растворов примем стоимость компонентов растворной смеси, как указано в табл. 8.5. Сравним качество растворной смеси на основе базовой контрольной рецептуры и предлагаемой.

Стоимость КМД рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{КМД}} = C_{\text{ЗШС}} \cdot m_{\text{ЗШС}} + C_{\text{д}} \cdot m_{\text{д}}, \quad (8.7)$$

где $C_{\text{ЗШС}}$, $C_{\text{д}}$ – стоимость 1 кг кремнеземистого компонента и добавки суперпластификатора соответственно, руб.; $m_{\text{ЗШС}}$, $m_{\text{д}}$ – количество кремнеземистого компонента и добавки суперпластификатора соответственно, кг.

Стоимость золошлаковой смеси $C_{\text{ЗШС}}$ включает в себя (согласно формуле 8.5) затраты на транспортирование ее на завод и на операции по сушке и первоначальному помолу, а также последующему совместному помолу с суперпластификатором, и составляет по калькуляции 1,3 руб./кг.

Стоимость 1 кг КМД по формуле 8.7 будет равна:

$$C_{\text{КМД}} = 1,3 \cdot 0,985 + 45 \cdot 0,015 = 1,28 + 0,67 = 1,95 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономический эффект от применения строительных растворов марок на основе мелких песков с добавкой КМД М100 и М150

вместо стандартного строительного раствора равен:

$$\mathcal{E}_1 = 3482,2 - 3090,5 = 391,7 \text{ руб./м}^3 \text{ (для М100)}$$

$$\mathcal{E}_2 = 3814,4 - 3597,6 = 216,8 \text{ руб./м}^3 \text{ (для М150)}$$

Таблица 8.5 – Стоимость ингредиентов строительного раствора

Наименование состава	Наименование сырья	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м ³ , кг	Стоимость за ед. изм. в руб.	Цена расходуемого материала на 1 м ³ раствора	Экономический эффект в ...	
						руб.	%
М100							
Предлагаемый состав №1	ПЦ М500 Д0 «Чеченцемент»	кг	418	6,3	2633,4	236,6	11
	Песок Червленного месторождения	кг	1182	0,27	319,1		
	КМД	кг	45	1,95	87,8		
	Вода	кг	251	0,2	50,2		
	Итого по предлагаемому варианту						
Контрольный состав №1	ПЦ М500 Д0 «Новоросцемент»	кг	470	6,5	3055,0	-	-
	Песок Алагирского месторождения	кг	1155	0,32	369,6		
	Вода	кг	288	0,2	57,6		
	Итого по контрольному варианту						
М150							
Предлагаемый состав №2	ПЦ М500 Д0 «Чеченцемент»	кг	475	6,3	2992,5	216,8	6
	Песок Червленного месторождения	кг	860	0,27	232,2		
	ОДБЛ	кг	280	0,81	226,8		
	КМД	кг	47	1,95	91,7		
	Вода	кг	272	0,2	54,4		
	Итого по предлагаемому варианту						
Контрольный состав №2	ПЦ М500 Д0 «Новоросцемент»	кг	520	6,5	3380,0	-	-
	Песок Алагирского месторождения	кг	1172	0,32	375,0		
	Вода	кг	297	0,2	59,4		
	Итого по контрольному варианту						

Таким образом, показана экономическая целесообразность производства строительных растворов на местных мелких песках с добавкой

комплексной модифицированной добавки. Экономическая эффективность повышается за счет снижения себестоимости растворов, роста доходов ТЭЦ от реализации отходов производства, и уменьшения вредного воздействия на окружающую среду, а также благотворного влияния на социальную обстановку в регионе.

8.3.4 Расчет материальных затрат на изготовление мелкозернистых бетонов на основе отсевов дробления для специальных конструкций и элементов мощения

Исходные данные для расчета экономической эффективности использования бетонных композитов мелкозернистой структуры на наполненных вяжущих и отсевах дробления бетонного лома представлены в таблице 8.2.

Для определения сравнительных стоимостей исследуемых бетонов использовались составы, представленные в таблице 8.6.

Стоимость 1 м³ предлагаемого состава $C_{Б.1}^{ПРЕДЛ.}$ мелкозернистой бетонной смеси на основе НВ и ОДБЛ (состав 1, таблица 8.6) согласно формуле 8.2 будет равна:

$$\begin{aligned} C_{Б.1}^{ПРЕДЛ.} &= 7,14 \cdot 400 + 0,81 \cdot 1050 + 0,27 \cdot 500 + 0,2 \cdot 135 = \\ &= 2856 + 850 + 135 + 27 = 3868 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Стоимость 1 м³ предлагаемого состава $C_{Б.2}^{ПРЕДЛ.}$ мелкозернистой бетонной смеси на основе НВ и ОДБЛ (состав 2, таблица 8.6) будет равна:

$$\begin{aligned} C_{Б.2}^{ПРЕДЛ.} &= 6,17 \cdot 460 + 0,81 \cdot 973 + 0,27 \cdot 500 + 0,2 \cdot 142 = \\ &= 2838 + 788 + 135 + 28 = 3789 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Для контрольного состава мелкозернистой бетонной смеси на основе ПЦ М500 Д0 «Новоросцемент» и природного песка Алагирского месторождения $C_{Б}^{КОНТР.}$ составит:

$$\begin{aligned} C_{Б}^{КОНТР.} &= 6,5 \cdot 550 + 0,32 \cdot 1353 + 85 \cdot 3,2 + 0,2 \cdot 145 = \\ &= 3575 + 433 + 272 + 29 = 4309 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таблица 8.6 – Составы мелкозернистых бетонных композитов на наполненных вяжущих (НВ) и отсевах дробления бетонного лома (ОДБЛ)

№	Вид вяжущего	Расход материалов, кг/м ³							R на сжатие, МПа	Цена 1 м ³ , руб.	Экономический эффект в ...	
		НВ	ПЦ	ОДБЛ	П (Червл.)	П (Алагир.)	Д*	Вода			руб.	%
1	Предлагаемый состав № 1 на основе НВ М750 Д20	400	-	1050	500	-	-	135	51,3	3868	441	10
2	Предлагаемый состав № 2 на основе НВ М600 Д40	460	-	973	500	-	-	142	48,1	3789	520	12
3	Контрольный состав ПЦ	-	550	-	-	1353	3,2	145	49,8	4309	0	0

* - Модифицирующая добавка Murasan BWA 17 для полусухого вибропрессования

Экономический эффект на 1 м³ мелкозернистого композита от использования предлагаемых составов равен:

– при использовании мелкозернистого композита на основе НВ М750 Д20 (состав 1, таблица 8.6):

$$\mathcal{E} = 4309 - 3868 = 441 \text{ руб/м}^3.$$

– при использовании мелкозернистого композита на основе НВ М600 Д40 (состав 2, таблица 8.6):

$$\mathcal{E} = 4309 - 3789 = 520 \text{ руб/м}^3.$$

Экономия денежных средств главным образом происходит за счет использования наполненных вяжущих НВ на основе дешевого и доступного местного сырья в виде бетонного лома и ККБ.

Рассчитаем возможную экономию денежных средств при внедрении предлагаемых составов на предприятии ООО «СтройГрупп» (г. Грозный) с

максимальной мощностью около 494 000 м² (или 24 700 м³) пресованных мелкоштучных элементов мощения (тротуарной плитки) в год. Протокол о намерениях внедрения результатов настоящей диссертационной работы между кафедрой «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова и производственным предприятием ООО «СтройГрупп» подписан (Приложение 22).

В расчетах учтен выпуск базового элемента типа «Прямоугольник» с размерами 197x97x50 мм.

Тогда, годовая производительность в рублях при производстве пресованной тротуарной плитки из предлагаемых $P_{Б.1}^{ПРЕДЛ.}$ и $P_{Б.2}^{ПРЕДЛ.}$ и контрольной $P_{Б}^{КОНТР.}$ бетонных смесей при объеме их выпуска $V = 24\,700\text{ м}^3$ бетона составит:

$$P_{Б.1}^{ПРЕДЛ.} = V \cdot C_{Б.1}^{ПРЕДЛ.} = 24,7 \cdot 3868 = 95\,539,6 \text{ тыс. руб. в год};$$

$$P_{Б.2}^{ПРЕДЛ.} = V \cdot C_{Б.2}^{ПРЕДЛ.} = 24,7 \cdot 3789 = 93\,588,3 \text{ тыс. руб. в год};$$

$$P_{Б}^{КОНТР.} = V \cdot C_{Б}^{КОНТР.} = 24,7 \cdot 4309 = 106\,432,3 \text{ тыс. руб. в год}.$$

Экономический эффект от внедрения мелкозернистого композита на наполненных вяжущих НВ на основе дешевого и доступного местного сырья в виде бетонного лома и ККБ взамен традиционному мелкозернистому бетону на портландцементе для выпуска пресованной тротуарной плитки составит:

– от внедрения мелкозернистого композита на основе НВ М750 Д20 (состав 1, таблица 8.6):

$$\Delta_{Б.1}^{ПРЕДЛ.} = 106\,432,3 - 95\,539,6 = 10\,892,7 \text{ тыс. руб. в год}.$$

– от внедрения мелкозернистого композита на основе НВ М600 Д40 (состав 2, таблица 8.6):

$$\Delta_{Б.2}^{ПРЕДЛ.} = 106\,432,3 - 93\,588,3 = 12\,844,0 \text{ тыс. руб. в год}.$$

Таким образом, на основании проведенных исследований можно констатировать, что мелкозернистые композиты на основе НВ и вторичных заполнителей из бетонного лома, является эффективным материалом для

производства на его основе прессованных мелкоштучных элементов мощения. Его применение, по сравнению с равнопрочным мелкозернистым бетоном на основе природного сырья, позволяет снизить себестоимость выпускаемой продукции на 10–12 %.

Экономическая эффективность от использования предлагаемых мелкозернистых композитов на основе НВ и вторичных заполнителей из бетонного лома составляет до 12 %, что соответствует 12 844,0 тыс. руб. в год или 520 руб. на 1 м³ мелкозернистого композита.

Выводы по 8 главе

На базе производственных предприятий ООО «Мустанг», ООО «Град», ООО «Успех», ООО «СтройГрупп» и ИП Умарова Л.Ш. в промышленных условиях подготовлены опытные партии композиционных строительных материалов, разработанных в рамках диссертационной работы, включая мелкоштучные стеновые изделия, составы высококачественной монолитной бетонной смеси, элементы мощения и другое.

Выполнено внедрение опытных партий композиционных материалов ведущими в регионе строительными компаниями ООО «ПГС-85», ООО «СК Чеченстрой», ООО «Водстрой», ООО «СтройГрупп».

Разработана нормативно-техническая документация, апробированная в производственных условиях при широкомасштабном внедрении результатов настоящей диссертационной работы, включая:

- Технологический регламент на производство мелкоштучных стеновых материалов из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и брака;
- Стандарт организации «Пористые вторичные заполнители из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для бетонов и строительных растворов и теплоизоляции»;
- Стандарт организации «Композиционные гипсовые вяжущие с использованием золошлаковых отходов»;

- Рекомендации по изготовлению изделий из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем;
- Технологический регламент на производство композиционного гипсового вяжущего для производства мелкоштучных стеновых материалов;
- Технические условия «Строительные штукатурные растворы марок М75...М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье»;
- Рекомендации на приготовление и применение строительных штукатурных растворов марок М75 ... 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.

На основании расчета материальных затрат на разработку в рамках диссертационной работы новой продукции, технико-экономически обосновано получение зеленых композитов широкого функционального назначения с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья.

Установлено, что экономия денежных средств при внедрении предлагаемых нами зеленых композитов, достигаемая за счет применения дешевого, доступного и часто невостребованного местного природного и техногенного сырья, использования НВ с тонкомолотыми МНТП из бетонного и кирпичного лома, химических модификаторов структуры бетона, позволяющих экономить вяжущее за счет их водоредуцирующих, цементосберегающих и пластифицирующих эффектов, находится в интервале 217 – 1270 руб. на 1 м³ продукции, в зависимости от вида получаемого композиционного материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ зарубежных и отечественных источников по увеличению производства и использования композиционных вяжущих показал, что 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 проч. вяжущих) и изготавливать «зеленые» композиты с требуемыми физико-механическими, технологическими, эксплуатационными показателями, обеспечивающими комфортные условия для жизнедеятельности человека и комфортной среды его обитания.

2. 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.

3. Установлены технологические параметры стабилизации седиментационных показателей цементно-водных суспензий с использованием тонкомолотых минеральных техногенных добавок. Подтверждена эффективность применения этих наполнителей из бетонного лома и керамического кирпичного боя в высокоподвижных бетонных смесях в качестве стабилизатора микроструктуры, предотвращающего процесс водоотделения и расслоения смеси.

4. Установлены особенности структурообразования цементного камня в высокоэффективных композитах в присутствии суперпластификатора. Выявлено, что сохраняемость бетонных смесей можно повысить до 10 часов

за счет применения химической добавки «Динамикс РС» в комплексе с суперпластификатором «Динамикс ПК», в результате чего замедляется твердение бетонной смеси более, чем в два раза. Этот эффект имеет актуальность при непрерывном монолитном бетонировании на различных строительных объектах.

5. Доказан потенциал самозалечивания сквозных трещин в композите с шириной раскрытия в диапазоне 0,6–0,8 мм, основанный на эффекте смачивания поверхностей, которые могут появиться в конструкциях в процессе эксплуатации вследствие динамических нагрузок, включая сейсмические воздействия. Этот эффект проявляется в результате фильтрации воды сквозь материал, что приводит к гидратации ранее негидратировавших зерен портландцемента и росту новообразований в микроструктуре композитной матрицы.

6. Разработаны оптимальные рецептуры и исследованы технические свойства лёгких бетонов на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя. Показано, что бетоны крупнопористой структуры, обладающие минимальной 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.

7. 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 последующей гидратации вяжущего в порах осаждаются новообразования, что способствует формированию дополнительных связей между цементной матрицей и заполнителем и усиливает 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 заполнителем, способствует повышению прочности бетона при сжатии на 11–27 % и позволяет использовать отход ККБ без обогащения и фракционирования.

9. Установлена взаимосвязь между силой 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.

10. Показано, что для улучшения технологических и физико-механических свойств строительных растворов на мелких местных песках целесообразно модифицировать составы комплексной модифицирующей добавкой (КМД), 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 %).

11. 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 которых образуется дополнительное количество стабильных, водонерастворимых и цементирующих гидратных новообразований (гидросиликатов, алюмосиликатов, гидроалюминатов, гидроалюмоферритов кальция, и др.), оптимизирующих структуру и обеспечивающих высокие показатели функциональных и эксплуатационных свойств (предела прочности при сжатии на 15–20 %, росту модуля упругости, коэффициента Пуассона и призмной прочности).

12. 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. 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.

13. Выпущена опытная партия стеновых блоков на основе ККБ (388x190x188 мм) с несквозными пустотами, изготовленных 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю.М. Обзор современных высокоэффективных бетонов / Ю.М. Баженов, Р.С. Федюк, В.С. Лесовик // Научные исследования и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. – С. 45–49.
2. Modified binder for sprayed concrete / V.A. Alekseev, Yu.M. Bazhenov, S.I. Vazhenova, O.Yu. Vazhenova, N.A. Golovashchenko, N.S. Mironchuk // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 5 (1005). – С. 18–19.
3. Каприелов, С.С. Некоторые особенности механизма действия органоминеральных модификаторов на цементные системы / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 1. – С. 40–46.
4. Каприелов, С.С. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, В.Г. Дондуков // Строительные материалы. – 2017. – № 11. – С. 4–10.
5. Алешко, О.С. Промышленность строительных материалов в ресурсном обеспечении экономического развития России / О.С. Алешко // Научные труды: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук. 2008. – № 6. – С. 439–461.
6. Волков, Ю. Бетон основа для современных небоскребов / Ю. Волков, А. Звездов // Строительство. – 2004. – №5. – С.56–59.
7. Научные основы природопользования [Электронный ресурс] // 2020. – URL: <http://www.voronova-on.ru/prirodopolzovanie/naucnyaosnovyaprirodopolzovaniya/index.html> (доступ свободный).
8. Доклад конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года // Источник: документ ООН A/CONF.151/26/Rev.1. – Vol. I. – С. 3–7.

9. Программный план «Повестка дня на XXI век» (Agenda 21) / Организация объединённых наций. – 1993. – 300 с.

10. Ларичкин, Ф.Д. О методологии обоснования параметров кондиций на месторождениях многокомпонентных руд: анализ нормативно-методической документации / Ф.Д. Ларичкин, Азим Иброхим, Ю.Г. Глущенко, В.Н. Переин, Б.С. Хамзин // Горный журнал. – 2011. – № 7. – С. 36–39.

11. Ларичкин, Ф.Д. О методологии обоснования параметров кондиций на месторождениях многокомпонентных руд: учет специфики комплексного использования сырья при обосновании параметров кондиций / Ф.Д. Ларичкин, Азим Иброхим, Ю.Г. Глущенко, В.Н. Переин, Б.С. Хамзин // Горный журнал. – 2011. – № 8. – С. 69–72.

12. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 368 с.

13. Лесовик, В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья / В.С. Лесовик // Научные и инженерные проблемы строительной-технологической утилизации техногенных отходов: материалы конференции. БГТУ им. В. Г. Шухова, 15–23 марта 2014 г. Белгород, 2014. –С.17–21.

14. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология / П.И. Боженков. – М.: Ассоциация строительных ВУЗов, 1994. – 268 с.

15. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

16. Макаров, В.Н. Экологические проблемы утилизации горнопромышленных отходов: в 2 ч. / В.Н. Макаров – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. –Ч.1. –132 с.; –Ч. 2. –146 с.

17. Суворова, О.В. Возможности и перспективы использования отходов горнопромышленного комплекса для получения стекла и стеклокристаллических материалов / О.В. Суворова [и др.] // Экология промышленного производства. – 2011. –№ 1. –С. 54–60.

18. Гуревич, Б. И. Бетоны из вторичного сырья / Б. И. Гуревич [и др.]. – Апатиты: КНЦ РАН, 1997. –160 с.

19. Золотухина, Н. В. Бетон с карбонатным микронаполнителем / Н.В. Золотухина, Н. П. Лукутцова, Е. Г. Боровик // В сборнике: Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России Труды II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией А.Ю. Столбоушкина, Е.А. Алешиной, О.В. Матехиной, Е.А. Благиных. – 2019. – С. 189–192.

20. Макаров, В. Н. Использование горнопромышленных отходов как сырья для производства строительных и технических материалов / В. Н. Макаров [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 1999. –Т. 7. –№ 2. –С. 183–187.

21. Михайлов, Б. К. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы / Б.К. Михайлов, Ю.А. Киперман, М.А. Комаров, В.А. Коткин, Е.А. Каменев, А.Б. Аширматов; под ред. Б.К. Михайлова. — М.: Научный мир, 2012. — 236 с.

22. Гончарова, Л.И. Потенциал техногенного минерального сырья в России и проблемы его рационального использования / Л.И. Гончарова, Ф.Д. Ларичкин, В.Н. Переин // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2015. –№ 5(41). –С.104–117.

23. Lesovik, V. Geonics (geomimetics) as a theoretical basis for new generation compositing / V. Lesovik, A. Volodchenko, E. Glagolev, I. Lashina, Н.В. Fischer // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Sep. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences". – 2019. –Р. 344–347.

24. Чернышева, Н.В. Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем / С.В. Шаталова, Н.В. Чернышева, Е.С. Глаголев, Е.Н. Лесниченко, М.Ю. Дребезгова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. –№ 10. –С. 11–18.

25. Фишер, Х.-Б. Перекристаллизация частиц гипса / Х.-Б. Фишер, Х. Рихерт, А.Ф. Бурьянов, В.С. Лесовик, В.В. Строкова // Современные

строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова» (24–26 марта 2015 г., г. Грозный). В 2-х томах. Т.1. – Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2015. – С.248–253.

26. Autoni, M. Investigation on of cement substitution by combined addition of calcined clays and limestone / M. Autoni, I. Rossen, K. Serivencr, R. Castello, A. Alujas Diaz, I.F. Martinelia //Cementing a sustainable future XIII ICCS International Congress of the chemistry of cement – Abstracts and proceedings. Madrid, 3–8 July 2011. – Madrid, 2011 – P.96.

27. Hans-Ulrich, K. Erfahrungen beim Einsatz industriell nachgestellter Gipsmörtel zur Sanierung historischer Bauwerke / K. Hans-Ulrich // Weimarer gipstagung – Weimar, 2011. – P.177–183.

28. Кутателадзе, К.С. К вопросу использования горных пород в стекольной промышленности / К.С. Кутателадзе // Использование в стекольном производстве недефицитных материалов. – М.: ВНИИЭСМ, 1971. –С. 3–11.

29. Мулеванов, С.В. Особенности кристаллизации стекла на основе отходов обогащения фосфоритной руды / С.В. Мулеванов // Стекло и керамика. – 2008. –№ 6. –С.13–14.

30. Pelino, M. Crystallization of glasses obtained by recycling goethite industrial wastes to produce glass-ceramic materials / M. Pelino [et al.] // Journal of Material Science. – 1994. –Vol. 29. –P. 2087–2094.

31. Marabini, A. M. New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass- and rock-wool fibre / A. M. Marabini [et al.] // International Journal of Mineral Processing. – 1998. – Vol. 53. – P. 121–134.

32. Yang, M. Preparation of $\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{SiO}_2$ glass ceramics from coal gangue / M. Yang [et al.] // International Journal of Mineral Processing. – 2012. –Vol. 102–103. –P. 112–115.

33. Gorai, B. Premchand. Characteristics and utilization of copper slag - a review / B. Gorai, R.K. Jana // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2003. – Vol. 39. – № 4. – P. 299–313.

34. Piatak, N. M. Characteristics and environmental aspects of slag: a review / N. M. Piatak, M. B. Parsons, R. R. Seal // *Applied Geochemistry*. – 2015. – Vol. 57. – P.236–266.

35. Kim, J.-K. Experimental study of the fatigue behavior of high strength concrete / J.-K. Kim, Y.-Y. Kim // *Cement and Concrete Research*. – 1996. – Vol. 26, – Issue 10. – P. 1513–1523.

36. Aitcin, P.C. High-performance concrete. / P.C. Aitcin – London: E&FN SPON, 1998. – 591 p.

37. Skazlic, M. Perspectives of designing with new concrete types / M. Skazlic, D. Bjegovic – Zagreb: Annual 2005 of the Croatian Academy of Engineering, 2005. – P. 167–178.

38. Shi, C. A review on ultra high performance concrete: Part 1. Raw materials and mixture design / C. Shi, Z. Wu, J. Xiao, D. Wang, Z. Huang, Z. Fang // *Construction and Building Materials*. – 2015. – №101. – P. 741–751.

39. Richard, P., Cheyrezy, M. Composition of reactive powder concretes / P. Richard, M. Cheyrezy // *Cement and Concrete Research*. – 1995. – № 25. – P. 1501–1511.

40. Демьянова, В.С. Эффективные строительные материалы с использованием техногенных отходов [Текст] / В.С. Демьянова, А.Д. Гусев. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 127 с.

41. Баженов, Ю.М. Бетоны XXI века [Текст] / Ю.М. Баженов // Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: сб. науч. тр. Междунар. конф. – Белгород, 1995. – С.3–5.

42. Баженов, Ю.М. Мелкозернистые бетоны из вторичного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений [Текст]:

научное издание / Ю.М. Баженов, Д.К.-С. Батаев, С.-А.Ю. Муртазаев, Х.Н. Мажиев. – Грозный: ИП «Султанбегова Х.С.», 2011. –342 с.

43. Bataev, D.K.-S. Utilization of cement kiln dust in production of alkali-activated clinker-free binders / D.K.-S. Bataev, M.Sh. Salamanova, S.A.Yu. Murtazaev, S.S. Viskhanov // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). – 2019. –С. 457–460.

44. Батаев Д.К.-С. Рецептуры высокопрочных бетонов на техногенном и природном сырье / Д.К.-С. Батаев, М.С. Сайдумов, Т.С.А. Муртазаева, Д.М. Дудаев, М.К. Салгириев // В сборнике: Актуальные проблемы современной строительной науки и образования: материалы всероссийской научно-практической конференции. 2017. –С. 109–116.

45. Батаев, Д.К.-С. Улучшенные составы ремонтных бетонов на основе техногенного сырья / Д.К.-С. Батаев, Ш.И. Апкаров, М.В. Эдилсултанова // В сборнике: Экология, здоровье и образование в XXI веке. Глобальная интеграция современных исследований и технологий: материалы III Кавказского экологического форума. 2017. –С. 115–118.

46. Муртазаев, С.А.Ю. Перспективы использования отходов цементной промышленности / С.А.Ю. Муртазаев, В.Х. Хадисов, М.Ш. Саламанова, М.М. Мовсулов // В сборнике: Современные проблемы в строительстве: постановка задач и пути их решения: сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. –С. 258–265.

47. Murtazaev, S.-A. High-quality concretes for foundations of the multifunctional high-rise complex(MHC) "Akhmat Tower" / Murtazaev S.-A., Saydumov M., Alaskhanov A., Nakhaev M. // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Сер. "Springer Proceedings in Earthand Environmental Sciences" 2019. –С. 365–368.

48. Murtazaev S.-A.Yu. High-quality concrete for the device of the bearing monolithic structures of buildings and structures / S.-A.Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, A.Kh. Alaskhanov, M.R. Nakhaev // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. –С. 481–485.

49. Фомина, Е.В. Повышение эффективности газобетона за счет применения отходов угледобычи / Е.В. Фомина, В.С. Лесовик, А.Е. Фомин, М.В. Абсиметов, М.Ю. Елистраткин // Региональная архитектура и строительство. – 2018. –№ 4 (37). –С. 38–47.

50. Калашников, В.И. Ресурсосберегающие порошковые фибробетоны с использованием техногенных отходов / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, В.М. Володин, А.Д. Гусев // Строительные материалы. – 2012. –№ 8. –С. 52–53.

51. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон [Текст] / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. –М.: Стройиздат, 2012. – 208 с.

52. Сайдумов, М.С. Техногенные отходы как сырьевая база для получения современных строительных композитов / Сайдумов М.С., Муртазаев С.А.Ю., Аласханов А.Х., Дагин И.С., Нахаев М.Р. // Экология и промышленность России. – 2019. –Т. 23. –№ 7. –С. 31–35.

53. Шишакина, О.А. Обзор направлений утилизации техногенных отходов в производстве строительных материалов / О.А. Шишакина, А.А. Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 4. – С. 198–203.

54. Иванова, О.А., Реховская, Е.О. Утилизация и переработка пластиковых отходов / О.А. Иванова, Е.О. Реховская // Молодой ученый. – 2015. –№ 21. –С. 54–56. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/101/22978> (дата обращения: 05.04.2020).

55. Волынкина, Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России / Е.П. Волынкина // Вестник Сибирского

государственного индустриального университета. – 2017. – № 2 (20). – С. 43–49.

56. Ветошкин, А. Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления / А. Г. Ветошкин – М.: Лань, 2016. – 304 с.

57. Metallurgicheskiy shlak i zoloshlakovye otkhody [Электронный ресурс]. URL: <http://x1om.ru/recycling-and-disposal/metallurgicheskij-shlak-i-zoloshlakovye-otbody/> (дата обращения: 05.04.2020).

58. Исмаилова, З.Х. Строительные растворы с использованием комплексных минеральных добавок из золошлаковых смесей / Исмаилова З.Х., Муртазаев С.А.Ю., Успанова А.С. // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. – С. 347–354.

59. Аласханов, А.Х. Бетоны на основе композиционных гипсовых вяжущих с наполнителем из золошлаковых смесей / А.Х. Аласханов, С.А.Ю. Муртазаев, З.Х. Исмаилова, Н.В. Чернышева // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства; Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. – С. 16–25.

60. Patil, S.B., Vyas, A.K., Gupta, A.B., Patil, R.S. Imperial smelting furnace slag as fine aggregate in cement concrete mixes / S.B. Patil, Vyas, A.K., Gupta, A.B., Patil, R.S. Journal of solid waste technology and management. Widner University, USA. 2016. – Vol. 42. – №. 2. – P.128–136.

61. Бабачев, Г.Н. Зола и шлаки в производстве строительных материалов / Пер. с болгарского Л. Шариновой. Киев: Будшельник, 1987. – 136 с.

62. Ефимов, Н.Н. Экологические аспекты и проблемы утилизации и рециклинга золошлаковых отходов тепловых электростанций / Н.Н. Ефимов,

Е.А. Яценко, В.А. Смолий, А.С. Косарев, В.В. Копица // Экология промышленного производства. 2011. – № 2. – С. 40–44.

63. Горшков, Р.К. Использование вторичных ресурсов в промышленности строительных материалов: методология и практика: монография. М.: Экслибрис-Пресс, 2004. –288 с.

64. Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов [Электронный ресурс]. URL: <https://infourok.ru/statya-ispolzovanie-promishlennih-othodov-v-proizvodstve-stroitelnih-materialov-3421162.html> (дата обращения: 20.03.2020).

65. Воробьева, А.А. Получение облицовочной керамики с эффектом остекловывания на основе малопластичной глины и техногенного отхода Владимирской области / А.А. Воробьева, В.Н. Шахова, Е.С. Пикалов [и др.] // Стекло и керамика. 2018. – № 2. – С. 13–17.

66. Виткалова, И.А. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования / И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов [и др.] // Экология промышленного производства. 2018. –№ 2. – С. 2–6.

67. Trifonova, T.A. Polymeric Coatings Composition Based on Modified Oligopiperylene Styrene Binders with Galvanic Sludge as a Filler / T.A. Trifonova, O.G. Selivanov, N.V. Chukhlanova, N.V. Selivanova // Chemical Engineering and Science, Newark, De. USA. 2013. –Vol. 1. –№. 4. –P. 75–78.

68. Худякова, Л.И. Использование отходов горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. –Т. 2. –№ 2 (6). –С. 45–56.

69. Проблема утилизации техногенных отходов промышленности [Электронный ресурс]. URL: <https://knowledge.allbest.ru/ecology/2c0b65625b2bc69b4d43a88421316c360.html> (дата обращения: 05.04.2020).

70. Чупшев, В.Б. Использование вторичных отходов мусороперерабатывающих заводов в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 2007. –№ 2. –С. 45–49.

71. Виткалова, И.А. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов / И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов [и др.] // Экология промышленного производства. 2018. –№ 3. –С. 2–6.

72. Колосова, А.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова [и др.] // Фундаментальные исследования. 2017. –№ 10 (3). –С. 459–465.

73. Шахова, В.Н. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования / В.Н. Шахова, А.А. Воробьева, Е.С. Пикалов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2016. –№ 11 (2). –С. 320–325.

74. Кулифеев, В.К., Тарасов, В.П., Кропачев, А.Н. Комплексное использование сырья и отходов. Переработка техногенных отходов. М.: Изд. дом МИСиС, 2009. –90 с.

75. Чупрова, Л.В. Отходы производства и потребления стекла как сырье для получения качественной продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. –№ 12 (4). –С. 640–644.

76. Elkersh, H., El-Haggar, S. Recycling of lead crystal glass sludge to produce foam glass / H. Elkersh, S. El-Haggar // International journal of environmental technology & management. – Inderscience Publishers.UK. 2015. –Vol. 18. –№. 5–6. –P. 448–464.

77. Маркова, А.А. Комплексная утилизация отходов Владимирской области в производстве высокопрочной строительной керамики из местной малопластичной глины / А.А. Маркова, В.Ю. Чухланов, А.А. Подолец [и др.] // Экология промышленного производства. – 2016. –№ 3 (95). –С. 14–17.

78. Шахова, В.Н. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол / В.Н. Шахова, И.А. Виткалова, А.С. Торлова [и др.] // Экология и промышленность России. – 2019. –№ 2. –С. 36–41.

79. Lin, K.L. Effects of sintering temperature on the characteristics of solar panel waste glass in the production of ceramic tiles / K.L. Lin, T.C. Lee, C.L. Hwang // *Journal of material cycles and waste management*. Springer-verlag Tokyo inc. Japan. – 2014. – Vol. 17. – № 1. – P. 194–200.

80. Полянских И.С. Применение техногенных отходов в качестве сырья для производства строительных материалов и изделий / И.С. Полянских, А.Д. Игнатьева, М.О. Мазитов [и др.] // *Студенческий*. – 2018. – № 1–1 (21). – С. 6–9. [Электронный ресурс]. URL: <https://sibac.info/journal/student/21/93793> (дата обращения: 05.04.2020).

81. Волженский, А.В., Буров, Ю.С., Колокольников, Ю.С. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, Ю.С. Колокольников. – М.: Кнорус, 2016. – 480 с.

82. Лукаш, А.А., Лукутцова, Н.П. Эффективные строительные материалы и изделия из техногенных отходов для жилищного строительства / А.А. Лукаш, Н.П. Лукутцова // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. – № 2. – С. 26–37.

83. Совершенствование и повышение долговечности строительных конструкций на основе вторичного сырья Приморья: науч.-практ. рекомендации. Вып.5 / Дальневосточ. гос. техн. ун-т; под общ. ред. П.П. Ступаченко. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1995. – 70 с.

84. Klose, G-R. «Recycling of construction waste» / G-R. Klose // *Isoliertechnik*. – 1994. – № 2. – P.23–28.

85. Рахимов, Р.З. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья / Р.З. Рахимов, У.Х. Магдеев, В.Н. Ярмаковский // *Материалы межд. конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008»*. Современные проблемы строительного материаловедения и технологии, 2008. – С.441–448.

86. Donovan Christine, T. Recycling of construction waste. The new solutions of old problems / T. Donovan Christine //Resour. Recycl. – 1991. – № 8. – P.146–155.

87. Карабан, Г.Л. Использование отсевов дробления гранитного щебня при борьбе со скользкостью /Г.Л. Карабан, Н.В. Борисюк //Автомобильные дороги. – 1994. – № 10–11. – С.13–14.

88. Зольникова, Г.С. Использование отсевов дробления горных пород в строительстве полевых дорог //Тезисы докладов на конференции по использованию местных каменных материалов и отходов промышленности при строительстве дорожных и аэродромных одежд. -М.: СоюздорНИИ, 1980. -С.8-9.

89. Самодуров, С.И. Отсевы дробления гранитного щебня - нужный дорожно-строительный материал / С.И. Самодуров /Центральное Воронежское обл. правл. ВНТО стройиндустрия //Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Интенсификация производства нерудных строительных материалов» (г. Павловск, 20–22 сентября 1989г.). – М.: Стройиздат, 1989. – С.225–228.

90. Сайдумов, М.С. Отсевы дробления бетонного лома и горных пород для получения бетонных композитов [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 02.07.2012 / Сайдумов Магомед Саламувич. – Белгород, – 2012. – 216 с.

91. Меркин, А.П. Композиционные ПВХ-олигомерные материалы, имитирующие природный камень / А.П. Меркин, Л.Э. Вительс, С.А. Юрманов // Строительные материалы. – 1990. – №. 8. – С.16–17.

92. Холопова, Л.М., Каменюк, Е.Ф. Способы утилизации отходов добычи и обработки декоративного камня / Л.М. Холопова, Е.Ф. Каменюк – Л.: ЛДНТП, 1982. – 24с.

93. Плотникова, Л.В. Экологическая безопасность и контроль качества окружающей среды в строительстве и стройиндустрии в соответствии с

международными стандартами ИСО–14000 / Л.В. Плотникова – М.: изд-во Российской экономической академии, 2002. – 144 с.

94. Черных, В.Ф. Стеновые и отделочные материалы /В.Ф. Черных. – М.: Мосгражданиздат, 1991. – 188 с.

95. Рахимова, Н.Р. Оптимизация эксплуатационных характеристик полиминеральных отделочных покрытий / Н.Р. Рахимова, А.М. Сулейманов, В.Г. Хозин // Актуальные проблемы строительного материаловедения. Тезисы докл. третьих академических чтений. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 1997. – 146 с.

96. Скришшкова, Н.К. Расширение сырьевой базы, комплексное использование минеральных ресурсов и промышленных отходов для получения строительных материалов /Н.К. Скришшкова, О.Н. Борохова, Г.А. Куликова //Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Тезисы докладов к предстоящей Всесоюзной конференции. Часть 10. Теоретические проблемы строительного материаловедения и эффективные стеновые материалы. – Белгород: 1991. – С.72–73.

97. Бабков-Эстеркин, В.И., Воронцов, А.В. Использование отходов горнодобывающей промышленности при производстве декоративно-отделочного материала на стекольном вяжущем / В.И. Бабков-Эстеркин, А.В. Воронцов // Комплексное освоение техногенных месторождений. Сборник тезисов докладов Всесоюзной научно-практической конференции. – Челябинск: 1990. – ч. II. – С.63.

98. Пак, А.А. Способы защиты поверхности газобетонных изделий от внешнего воздействия / А.А. Пак, Г.Г. Краснова // Технология и свойства строительных и технических материалов на основе минерального сырья Кольского полуострова. – Апатиты, 1996. – 108 с.

99. Савилова, Г.Н., Омельченко, Л.М., Каплан, М.Б. «Теплый Дом» – основные аспекты качества системы теплоизоляции / Г.Н. Савилова, Л.М. Омельченко, М.Б. Каплан //Строительные материалы. –2003. – № 4. – С.40–42.

100. Горегляд, С.Ю. Отечественные строительные материалы – 2003 // Строительные материалы. – 2003. – № 4. – С.50–51.

101. Ястребова, Н.Б. Разрушение защитно-декоративных покрытий фасадов зданий в современных условиях / Н.Б. Ястребова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI. –2003. – № 2. – С.48–49.

102. Облицовочные плиты от ОАО «Искитимский шиферный завод» // Стройпрофиль. – 2003. – № 1. – С.35–42.

103. Полимерные напольные покрытия для предприятий пищевой промышленности //Стройпрофиль. – 2003. – № 1. – С.48–49.

104. Кузин, А.В. Покрытие для дорог и пола с противоскользким эффектом / А.В. Кузин, Н.В. Зименко, С.М. Мозолин [и др.]. //Современные проблемы строительного материаловедения. Четвертые академические чтения РААСН. Материалы Международной научно-технической конференции. – Пенза: Пензенская гос. арх.-строит. Академия, 1998. Часть II. – С.179.

105. Арасланкин, С.В. Современные методы технико-экономической оптимизации составов сухих строительных смесей / С.В. Арасланкин, С.Г. Кострюков, О.Б. Томилин // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие Смеси». 2019. –№1 (54). –С.56–65.

106. Наркевич, Ф.Ф. К вопросу о классификации сухих строительных смесей / Ф.Ф. Наркевич, Е.И. Дяченко //Строительные материалы. – 2002. – № 9. – С.10–11.

107. Денисов, Г. А. Производство и использование сухих строительных смесей / Г. А. Денисов // Строительные материалы XXI века. – 2011. – № 1. – С. 14–17.

108. Халиуллин, М.И. Сухие строительные смеси на основе композиционных гипсовых вяжущих / М.И. Халиуллин, Р.З. Рахимов, А.Р. Гайфуллин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. –№1(31). –С.153–159.

109. Flowable fill composition and method: United States Patent 5951751 (США) МПК6 C04B 28/22 Williams Devon, Eliassen Michael, Derks Robert A. Primary Class: 106/706. Publication Date: 09/14/1999. – 5 p.

110. Zubereitung fbr wandputz, insbesondere zum auftragen einer flchenbeschichtung mit rauher, einen glanzoder glitzereffekt bewirkenden oberflchenstruktur: Заявка 19624149 Германия МПК6 С 04 В 16/06/ Tesch R. – № 19624149.9.

111. Краснов, М.В. Ячеистый бетон из мелких отсеков дробления бетонного лома / М.В. Краснов, Ю.Д. Чистов // Компания ООО Стройсервис [Электронный ресурс]. URL: <http://www.masterbetonov.ru/content/view/544/233/> (Дата обращения: 02.04.2020).

112. Сторожук, Н. А. Мелкозернистый бетон / Н. А. Сторожук, О. Н. Яременко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2012. С.24–29.

113. Лободенко, Е.А. Перспективы технологии производства армированных ячеистых бетонов автоклавного твердения / Е.А. Лободенко, Е.В. Михайлова, К.В. Гусев // Вестник МГСУ. 2018. Т.13. Вып. 6 (117). – С.740–747.

114. Process for producing improved concrete pavement having water permeabilite: Пат. 2107225 Канада МПК6 В 28 В11/08/ Domon Shozo, Sato Road Co. Ltd.

115. Галкин, В.В. Трещиностойкость и прочность сталефибробетона для производства колец и труб с заменой части гранитного щебня на отходы от его дробления / В.В. Галкин, Н.Н. Черноусов //Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сборник научный трудов Международной научно-практ. конференции. – Пенза: 2001. – С.51–53.

116. Болдырев, А.М. Проблема подбора материалов металлических матриц и неметаллических наполнителей в металлобетонах / А.М. Болдырев, А.С. Орлов, Е.Г. Рубцова // Тезисы докл. Международной конф. Часть 3. Проблемы архитектурно-строительного материаловедения и

ресурсосберегающие технологии производства изделий и конструкций. – Белгород: 1995. – С.65–66.

117. Кухаренко, Л.В. Серобетон на основе местного сырья и промышленных отходов Норильского региона / Л.В. Кухаренко, Н.В. Личман, И.В. Никитин //Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Пенза: 2001. – С.163–165.

118. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия [Текст]. –Введ. 2015-01-30. – М.: Стандартиформ, 2015. – 8 с.

119. Лесовик, В.С. Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород /В.С. Лесовик, С-А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов. – Грозный, МУП "Типография", 2012. –192 с.

120. Сайдумов, М.С. Техногенные отходы как сырьевая база для получения современных строительных композитов / М.С. Сайдумов, С.А.Ю. Муртазаев, А.Х. Аласханов, Дагин И.С. [и др.] // Экология и промышленность России. 2019. –Т. 23. –№ 7. –С. 31–35.

121. Исмаилова, З.Х. Строительные растворы для штукатурных работ с использованием очень мелких песков Чеченской Республики / З.Х. Исмаилова, А.С. Успанова, Б.А. Салмурзаева // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2015. –С. 215–218.

122. Сайдумов, М.С. Повышение эффективности использования отсеков дробления твердых отходов разборки зданий и сооружений в технологии бетонов / М.С. Сайдумов, Д.К.С. Батаев, Д.М. Дудаев [и др.] // В сборнике: Актуальные проблемы современной строительной науки и образования: материалы всероссийской научно-практической конференции. 2017. – С. 124–129.

123. Муртазаев, С.А.Ю., Сайдумов, М.С., Аласханов, А.Х. Бетоны мелкозернистой структуры на основе рециклирования отсевов дробления бетонного лома / С.А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов, А.Х. Аласханов // В сборнике: Научно-технические технологии и инновации: сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. –С. 279–286.

124. Teycheni, P.C. Crushed Rock Aggregates in Concrete «Quarry Management and Products» May, 1978. – № V. – P.122–136.

125. Березин, Д.В. Защита среды обитания человека и окружающей природной среды путем использования отходов дробления горных пород в строительстве: автореф. дис. ... докт. техн. наук /Дмитрий Валерьевич Березин. – Тольятти: – 1999. – 45 с.

126. Джигит, С.Г. Использование отходов камнедробления для сборных конструкций / С.Г. Джигит //Бетон и железобетон. – 1987. – № 7. – С.38–39.

127. Сопин, М.В. Получение высококачественных строительных песков из отсевов дробления вмещающих пород железорудных месторождений / М.В. Сопин, М.М. Косухин, В.Д. Кузнецов [и др.]. //Международная научно-практическая конференция «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века». Часть 2. Проблемы строительного материаловедения и новые технологии. – Белгород. – 2000. – С.379–382.

128. Капустин, Ф.Л. Получение обогащенного песка из отсевов дробления горных пород на пневматическом классификаторе / Ф.Л. Капустин, В.Б. Пономарев // Обогащение руд. – 2016. –№ 4 (364). –С. 56–60.

129. Буравчук, Н.И. Новые нерудные строительные материалы из техногенного сырья / Н.И. Буравчук, О.В. Гурьянова, Г.Н. Пак, // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2018. –Т. 1. –№ 3. –С. 334–339.

130. Генкель, А.В. Повышение эффективности производства щебня и способы применения отсевов дробления // А.В. Генкель, И.А. Гришин, К.В. Бурмистров [и др.] // Горная промышленность. – 2015. –№ 6 (124). –С. 64.

131. Доровских, Д.В. Структура и свойства бетонных композитов, полученных с применением отсевов дробления без их обогащения и фракционирования // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2018. – № 3. – С. 20–23.

132. Курочка, П.Н. Мелкозернистые бетоны на основе отсевов дробления горных пород: монография / П.Н. Курочка, И.В. Колесников, И.П. Пахрудинов [и др.]. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщ., 2010. – 129 с.

133. Шейнин, А.М. Применение мелких и очень мелких песков в цементном бетоне / А.М. Шейнин [и др.] // Автомобильные дороги. – 1985. – №5. – С.17–20.

134. Левин, Л.И., Тарасова, В.Н. Влияние вида мелкого заполнителя на свойства бетона с пластификатором / Л.И. Левин, В.Н. Тарасова // Бетон и железобетон. – 1990. – № 10. – С.13–15.

135. Коршунов, В.И. Применение отсевов дробления и мелких песков в малощебеночных бетонах для дорожных и аэродромных покрытий / В.И. Коршунов, Ю.Г. Ланге, А.М. Шейнин [и др.]. // Сб. тр. «Повышение эффективности строительства и долговечности цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов». – М.: СоюздорНИИ, 1987. – С.25–35.

136. Муртазаев, С.А.Ю. Использование механоактивированных отсевов дробления бетонного лома в производстве бетонокомпозитов / С.А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов, М.А.-В. Абдуллаев [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – № 3 (22). – С. 136–140.

137. Якобсон, М.Я. Опыт и перспективы применения дорожных бетонов с отсевами дробления / М.Я. Якобсон, А.М. Шейнин // Строительные материалы. – 2004. – № 9. – С. 10–11.

138. Борисенко, Ю.Г., Солдатов, А.А., Калгин, Ю.И. Структура и адсорбционная активность минеральных порошков на основе высокодисперсных отсевов дробления керамзита для дорожных асфальтобетонов / Ю.Г. Борисенко, А.А. Солдатов, Ю.И. Калгин // Научный

вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4 (24). – С. 97–102.

139. Хамидулина, Д.Д. Отсевы дробления - эффективный способ повышения качества бетонов / Д.Д. Хамидулина, М.С. Гаркави, В.И. Якубов [и др.] // Строительные материалы. – 2006. – № 11. – С. 50–52.

140. Горностаева, Т.А. Мелкозернистые бетоны с использованием отсеков дробления щебня изверженных горных пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 06.12.2005 / Горностаева Татьяна Александровна – М.: – 2005. – 18 с.

141. Капустин, Ф.Л. Повышение эффективности использования отсеков дробления скальных горных пород / Ф.Л. Капустин, В.А. Перепелицын, В.Б. Пономарев [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 3. – С. 103–107.

142. Salamanova, M.Sh. Cement concrete composites on the basis of by-passed stone and stone milling wastes / M.S. Salamanova, M.S. Saidumov, S.A. Aliev [and etc.] // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). – 2016. – Т. 61. – № 4. – С. 327–336.

143. Rakhimbayev, S.M., Tolypina, N.M., Khakhaleva, E.N. Filler adhesion theory by cement stone / S.M. Rakhimbayev, N.M. Tolypina, E.N. Khakhaleva // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Т. 8. – № 4. – С. 24938–24946.

144. Kapustin, F.L. Enhancing efficiency of rock crushing screening utilization / F.L. Kapustin, V.A. Perepelitsyn, V.B. Ponomarev [and etc.] // Journal of Mining Science. – 2017. – Т. 53. – № 3. – С. 519–523.

145. Olzvoibaatar, L. Some results of study for processing concrete with environment-friendly using filler of waste concrete / L. Olzvoibaatar // Инновационные подходы в современной науке: сборник статей по материалам LIV международной научно-практической конференции. 2019. – С. 105–110.

146. Магеррамова, И.А. Исследование свойств композиционных материалов, наполненных неорганической матрицей / И.А. Магеррамова, С.А.

Ращепкина, И.Н. Сеницына // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 2–2. – С. 246–250.

147. Аласханов, А.Х. Разработка составов наполненных вяжущих на основе вторичного сырья для монолитных высокопрочных бетонов / А.Х. Аласханов, Т.С.А. Муртазаева, Омаров А.О. [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. – Т. 46. – № 3. – С. 129–138.

148. Barabash, I. Properties of concrete on activated composite binders / I. Barabash, N. Zubchenko // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – № 1 (111). – С. 9–11.

149. Shadykanov, K. Improving the efficiency of manufacturing fine-grained concrete through the use of man-made sands and composite binders / K. Shadykanov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Т. 14. – № 18. – С. 3284–3288.

150. Lesovik, R.V. High-strength fiber-reinforced concrete containing technogenic raw materials and composite binders with use of nanodispersed powder / R.V. Lesovik, S.V. Klyuyev, A.V. Netrobenko [and etc.] // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. Т. 9. № 12. С. 1153–1157.

151. Мозаичная каменная штукатурная смесь «Авангард - П» / Строительные материалы, где их можно приобрести. – 2001. – № 15. – С.43.

152. Герасимова, Л.Г. Пигменты и наполнители из техногенных отходов / Л.Г. Герасимова, И.В. Лазарева, А.И. Алексеев [и др.]. // Строительные материалы. – 2002. – № 4. – С.32–34.

153. Gesteinsmehle fer selbstverdichtenden beton. Buchenan G., Hellemeier B. Betonwerk + Fertigteil - Techn. – 2001. – 67. – № 11. – P.32–38.

154. Пуляев, С.М. Бетоны на заполнителях из бетонного лома для сборных железобетонных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 19.04.2005 / Пуляев Сергей Михайлович. – М.: – 2005. – 20 с.

155. Баженов, Ю.М. Строительные композиты на основе бетонного лома и отходов камнедробления / Ю.М. Баженов, С-А.Ю. Муртазаев, М.С.

Сайдумов // Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2014 – 336 с.

156. Хадисов, В.Х. Перспективы использования вторичных заполнителей из кирпичного боя в современном строительстве / В.Х. Хадисов, А.З. Абуханов, М.Р. Хаджиев [и др.] // Фундаментальные основы строительного материаловедения: сборник докладов Международного онлайн-конгресса. 2017. –С. 914–920.

157. Батаев, Д.К.С. О возможности использования отходов разборки зданий и сооружений в качестве мелкозернистого наполнителя для бетонных смесей / Д.К.С. Батаев, Х.Н. Мажиев, М.А.В. Абдуллаев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Ответственные редакторы: Батаев Д.К.-С.; Гапуров Ш.А. 2007. –С. 64–66.

158. Гумерова, Г.И., Сибгатуллина, О.С., Семенов, Л.С. Проектирование линии для переработки отходов строительства и сноса / Г.И. Гумерова, О.С. Сибгатуллина, Л.С. Семенов // ХИМИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ – XVIII: сборник трудов международной научной конференции. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). 2018. –С. 33–38.

159. Sandrolini, F. Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants / F. Sandrolini, E. Franzoni // Cement and Concrete Research. 2001. –Т. 31. –№ 3. –С. 485–489.

160. Mohajerani, A. Recycling waste materials in geopolymer concrete / A. Mohajerani, D. Suter, T. Jeffrey-Bailey [and etc.] // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2019. –Т. 21. –№ 3. –С. 493–515.

161. Liu, L. Development of a CO₂ solidification method for recycling autoclaved lightweight concrete waste / L. Liu, J. Ha, T. Hashida [and etc.] // Journal of Materials Science Letters. 2001. –Т. 20. –№ 19. –С. 1791–1794.

162. Iizuka, A. Material recycling process for waste concrete / A. Iizuka, A. Yamasaki, Y. Yanagisawa // *Kagaku Kogaku Ronbunshu*. – 2010. –Т. 36. –№ 4. – С. 207–211.

163. Nakagawa, M. Chemical extraction and mechanical crushing method for fine aggregate recycling from waste concrete / M. Nakagawa, K. Kumagai, Y. Yanagisawa [and etc.] // *Journal of Chemical Engineering of Japan*. – 2010. –Т. 43. –№ 10. –С. 906–912.

164. Tsimas, S., Zervaki, M. Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants / S. Tsimas, M. Zervaki // *Management of Environmental Quality: An International Journal*. – 2011. –Т.22. –№1. –С. 7–17.

165. Sabai, M.M. Concrete block production from construction and demolition waste in Tanzania / M.M. Sabai, M.-G.D.-M. Cox, E.L.-C. Egmond [and etc.] // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2013. –Т. 72. –С. 9–19.

166. ГОСТ Р 57678-2017. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация строительных отходов [Текст]. –Введ. 2018-05-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 20 с.

167. ГОСТ Р 54098-2010. Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения [Текст]. –Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 14 с.

168. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [Текст]. –Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 20 с.

169. ГОСТ Р 53691-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования [Текст]. –Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 39 с.

170. ГОСТ Р 52104-2003. Ресурсосбережение. Термины и определения [Текст]. –Введ. 2004-06-30. – М.: Госстандарт России, 2003. – 30 с.

171. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения [Текст]. –Введ. 2002-06-30. – Минск:

Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 20 с.

172. ГОСТ Р 51769-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Документирование и регулирование деятельности по обращению с отходами производства и потребления. Основные положения [Текст]. – Введ. 2002-01-01. – М.: Госстандарт России, 2002. – 26 с.

173. Никуличев, Ю.В. Управление отходами. Опыт Европейского союза. Аналит. обзор / РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глоб. и регионал. пробл. Отд. проб. европ. безопасности. – М., 2017. – 55 с.

174. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Article 3, clause 12–13.

175. Bartoleto, A.P. Waste prevention policy and behaviour. New approaches to reducing waste generation and its environmental impacts / A.P. Bartoleto // Routledge studies in waste management and policy. – L.; N.Y.: Routledge, 2015. – P. 30.

176. Construction and demolition waste – Environment – European Commission. – Mode of access: <http://ec.europa.eu/environment/waste/constructiondemolition.htm>

177. Директива Совета Европейского союза 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. по полигонам захоронения отходов. – Режим доступа: <http://law.edu.ru/norm/norm.asp?normID=1375073>

178. Florea, M.V.A. Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use / M.V.A. Florea, H.J.H. Brouwers // Cement and Concrete Research. – 2013. – Vol. 52. – PP. 11–21.

179. Surya, M. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure / M. Surya, V.V.L. Kanta Rao, P. Lakshmy // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 104. – PP. 1158–1167.

180. Gary Ong, K.C., Akbarnezhad, A. Microwave-Assisted Concrete Technology: Production, Demolition and Recycling. 2014. – С.235–240.

181. Alwaeli, M. Waste utilization in concrete technology as a substitute for natural aggregates in the context of circular economy: an overview / M. Alwaeli, M. Alshawaf, // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 19th International Scientific GeoConference SGEM 2019. – Sofia, 2019. –С. 151–158.

182. Муртазаев С-А.Ю. Эффективные бетоны и растворы на основе техногенного сырья для ремонтно-строительных работ: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05: защищена 20.03.2009 / Муртазаев Сайд-Альви Юсупович. – Белгород: – 2008. – 43 с.

183. Saydumov, M.S. Strength and strain properties of concrete, comprising filler, produced by screening of waste crushed concrete / Mintshev M.S., Saydumov M.S., Aliev S.A. [and etc.] // Modern Applied Science. – 2015. –Т.9. –№4. –С.32–44.

184. Галицкова, Ю.М. Результаты исследования отходов строительства / Ю.М. Галицкова // Технические науки. – 2015. -№5 (36). –Ч.2. –С.45–47.

185. Олейник, С.П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений / С.П. Олейник // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2016. –Т.3. –№2. –10 с. – URL: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> (доступ свободный).

186. Банникова, А.С. Рециклинг в строительстве: проблемы и перспективы развития на территории восточной Сибири / А.С. Банникова, К.В. Чепелева, В.В. Пухова // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – №10. –С.14–21.

187. Бедов, А.И. Вопросы утилизации отходов бетонного лома для получения крупного заполнителя в производстве железобетонных изгибаемых элементов / А.И. Бедов, Е.В. Ткач, А.А. Пахратдинов // Вестник МГСУ. – 2016. –С.91–100.

188. Безгодков И.М. Физико-механические характеристики бетона на щебне из дробленого бетона / И.М. Безгодков, А.А. Пахратдинов, Е.В. Ткач // Вестник МГСУ. – 2016. №10. – С.24–34.

189. Головин, Н.Г. Повторное использование — одно из направлений решения экологической проблемы при производстве изделий и конструкций из бетона / Н.Г. Головин, Л.А. Алимов, В.В. Воронин [и др.] // Бетон и железобетон — пути развития: сб. тр. 2-й Всеросс. (Международ.) конф. по бетону и железобетону (г. Москва, 5-9 сентября 2005 г.): в 5-ти кн. М.: Информполиграф, 2005. —Т. 5. —С. 194–203.

190. Балакшин, А.С. Малоцебечные бетоны на основе отходов бетонного лома / А.С. Балакшин, В.В. Воронин // Промышленное и гражданское строительство. — 2009. —№ 9. —С. 47–49.

191. Воронин, В.В. Малоцебечные бетоны на щебне из бетонного лома / В.В. Воронин, Л.А. Алимов, А.С. Балакшин // Технологии бетонов. — 2010. — № 3–4. —С. 28–30.

192. Шевченко, В.А. Исследование возможности получения заполнителя для бетонов из бетонного лома / В.А. Шевченко, С.А. Шатрова // Эпохи науки. Технические науки. — 2017. —№9. — С.165–169.

193. Коровкин, М.О. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона / М.О. Коровкин, А.И. Шестернин, Н.А. Ерошкина [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2015. —№3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-droblenogo-betonnogo-loma-v-kachestve-zapolnitelya-dlya-samouplotnyayuschegosya-betona/viewer> (дата обращения 18.10.2020).

194. Гусев, Б.В. Вторичное использование бетонов / Б.В. Гусев, В.А. Загурский. — М.: Стройиздат, 1988. —97 с.

195. Курочка, П.Н. Свойства щебня из продуктов дробления вторичного бетона как инертного заполнителя бетонных смесей / П.Н. Курочка, Р.Р. Мирзалиев // Инженерный вестник Дона, 2012. —№4. —Ч.2. — URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1441 (дата обращения 18.10.2020).

196. Арсентьев, В.А., Мармандян, В.З., Добромислов, Д.Д. Современные технологические линии для строительного рециклинга / В.А. Арсентьев, В.З.

Мармандян, Д.Д. Добромыслов // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 64–66.

197. Несветаев, Г.В. Самоуплотняющиеся бетоны (SCC): усадка / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. – 2009. – № 8. – С. 52–54.

198. Nesvetaev, G.V. E-modulus and creep coefficient of self-compacting concretes and concretes with some mineral additives / G.V. Nesvetaev, Yu.I. Koryanova, A.V. Kolleganov // Solid State Phenomena. – 2018. – Т. 284. – С. 963–969.

199. Тыртыгин, В.Н. Получение вяжущих и сырьевой шихты из бетонного лома / В.Н. Тыртыгин, В.П. Скрипник, Н.А. Собгайда [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т.18. – №7. – С.203–207.

200. Пуляев, С.М. Исследование процесса раннего структурообразования бетона на щебне из бетонного лома / С.М. Пуляев, М.Б. Каддо, И.С. Пуляев // Вестник МГСУ. – 2012. – №1. – С.68–71.

201. Романенко, И.И. Вторичное использование в дорожном строительстве щебня полученного из дробленого бетона / И.И. Романенко, И.Н. Петровнина, Э.М. Пинт [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2015. – Т.7. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vtorichnoe-ispolzovanie-v-dorozhnom-stroitelstve-schebnya-poluchennogo-iz-droblenogo-betona/viewer> (доступ свободный).

202. Магсумов, А.Н. Использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя для производства бетонных смесей / А.Н. Магсумов, Н.М. Шарипянов, // Символ науки. – 2018. – №6. – С.29–32.

203. Фахратов, М.А. Организация переработки отходов бетона и вторичное использование бетонов в строительстве / М.А. Фахратов, М.Ф. Кужин, // Системные технологии. – 2018. – №26. – С.100–103.

204. Фахратов, М.А. Организационные проблемы использования промышленных отходов / М.А. Фахратов, Д.А. Файзуллин // Инженерный вестник Дона. 2018. – №3. – URL: URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionnye-problemy-ispolzovaniya-promyshlennyh-othodov/viewer> (доступ свободный).

205. Кальгин, А.А. Промышленные отходы в производстве строительных материалов / А.А. Кальгин, О.Ш. Кикава, В.В. Баев. – М.: 2002. –155 с.

206. Задиранов, А.Н. Перспективы применения современных технологий при переработке строительных отходов / А.Н. Задиранов, М.Ю. Малькова, Т.Н. Нурмагомедов [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». – 2017. –Т. 18. –№ 2. –С. 236–244.

207. Parks, A. Repaving, reworking, recycling / A. Parks // American City & County. – 1993. –Т. 108. –№ 10. –С. 60–65.

208. Ocheretny, V.P. Fine wall materials made of industrial wastes / V.P. Ocheretny, V.P. Kovalsky // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. –№ 1 (58). –С. 16–21.

209. Xu, D. Future resources for eco-building materials: i. metallurgical slag / D. Xu, H. Li // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. – 2009. –Т. 24. –№ 3. –С. 451–456.

210. Peter, J. Carbon reinforced concrete - processing and demolition / J. Peter, K. Jan // Современные проблемы в строительстве: постановка задач и пути их решения: сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. –С. 250–257.

211. Szilagyı, H. Romanian resources of waste and industrial by-products as additions for cementitious mixtures / H. Szilagyı, C. Baeră, A. Hegyi, A. Lăzărescu // В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. 2018. –С. 325–332.

212. Шахтамиров, И.Я. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Чеченской республики в 2010 г. / И.Я. Шахтамиров. - Грозный, 2011. -181с.

213. Батдалов, М.М. Использование кирпичного боя для производства строительных композитов / М.М. Батдалов, В.Х. Хадисов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – №4(23). – С.102–105.

214. Хадисов, В.Х. Использование вторичного сырьевого ресурса в производстве стеновых материалов / В.Х. Хадисов, А.З. Абуханов, М.Р. Хаджиев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2019. – Т. 15. – № 1 (15). – С. 97–104.

215. Murtazaev, S.-A.Yu. Building demolition products as a secondary raw material for high-strength concrete / S.-A.Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, A.Kh. Alaskhanov [and etc.] // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. –С. 476–480.

216. Murtazaev S.A.Yu. Highly fine-dispersed binders with a filler of a different nature for the injectable solidification of structurally unstable soil / S.A.Yu. Murtazaev, M.R. Nakhaev, I.Ya. Kharchenko // В сборнике: ibausil conference proceedings. 2018. –С. 699–706.

217. Saidumov, M.S. Regulation of persistence (viability) of concrete mixtures using modern plasticizing agents / M.S. Saidumov, A.Kh. Alaskhanov, T.S.-A. Murtazaeva [and etc.] // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. –С. 486–490.

218. Salamanova, M.Sh. Features of production of fine concretes based on clinkerless binders of alkaline mixing / M.Sh. Salamanova, S.-A.Yu Murtazaev., Z.Kh. Ismailova [and etc.] // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Сеп. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences" 2019. –С. 385–388.

219. Aliev, S.A. Ecological aspect of the usage of aly and slag waste in the chechen republic / S.A. Aliev, M.Sh. Salamanova, M.Sh. Mintsaeв [and etc.] // В сборнике: Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” (ISEES 2018) International Symposium on Engineering and Earth Sciences. Сер. "Advances in Engineering Research" 2018. –С. 38–41.

220. Хасиев, А.А. Цементобетонные покрытия на основе отходов камнедробления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 18.05.2013 / Хасиев Ахмет Абдуллаевич. – Грозный: – 2013. – 24 с.

221. Успанова А.С. Строительные штукатурные растворы на некондиционных мелких песках и техногенном сырье: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 22.12.2012 / Успанова Асет Сутьяновна. – Грозный: – 2012. – 24 с.

222. Аксенова, Л.Л. Переработка и утилизация строительных отходов для получения эффективных зеленых композитов / Л.Л. Аксенова, Л.В. Хлебенских, С.Н. Хлебенских. — Текст: непосредственный, электронный // Современные тенденции технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Казань, октябрь 2014 г.). — Казань: Бук, 2014. — С. 63–65. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/123/6266/> (дата обращения: 08.04.2020).

223. Liu, T. Recycling of materials for pavement dressing: analytical review / T. Liu, V.N. Zankavich, Yu.N. Aliakseyeu, B.M. Khroustalev // Наука и техника. – 2019. –Т. 18. –№ 2. –С. 104–112.

224. Олейник, П.П. Источники образования строительных отходов и концепция их переработки / П.П. Олейник, С.П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2005. – №2.–С. 36–38.

225. Алехин, Ю.А. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов / Ю.А. Алехин, А.Н. Люсов – М.: С.И., 1988. –344 с.

226. Олейник, П.П. Основные проблемы переработки строительных отходов / П.П. Олейник, С.П. Олейник // Жилищное строительство. – 2005. – №5. – С. 24–26.

227. Коробко, В.И. Твердые бытовые отходы. Экономика, Экология. Предпринимательство: Монография / В.И. Коробко, В.А. Бычкова – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 131 с.

228. Олейник, С.П. Единая система переработки строительных отходов / С.П. Олейник – М.: Изд-во СВР-АРГУС, 2006. – 336 с.

229. Олейник, С.П. Итоги первого этапа эксперимента поэлементной разборке типовых пятиэтажных зданий первого периода индустриального домостроения в Москве / С.П. Олейник, И.А. Соломин, С.Е. Харитонов // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №3. – С. 57–58.

230. Шубов, Л.Я. Аргументы и факты политики управления отходами / Л.Я. Шубов // Твердые бытовые отходы. – №5. – 2009. – С. 14–21.

231. Олейник, П.П., Олейник, С.П. Организация системы переработки строительных отходов / П.П. Олейник, С.П. Олейник – М.: МГСУ, 2009. – 251 с.

232. Олейник, П.П. Организация системы управления строительными отходами / П.П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №7. – С.72–75.

233. Кравцова, М.В. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением их во вторичный оборот / М.В. Кравцова, А.В. Васильев, А.В. Кравцов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т.17. – №4(4). – С.804–809.

234. Васильев, А.В. К вопросу о системном обеспечении экологической безопасности в условиях современного города / А.В. Васильев, Л.А. Васильева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т.5. – №2. – С. 363–368.

235. Кравцов, А.В. Прогнозирование экологических рисков при работе промышленных предприятий / А.В. Кравцов, Н.А. Фенюк // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 30. – С. 125–132.

236. Переработка строительных отходов — защита окружающей среды и дополнительная прибыль // Горная промышленность. 2008. — №2. — С.48 — URL: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/800-pererabotka-stroitelnykh-otkhodov-zashchita-okruzhayushchej-sredy-i-dopolnitelnaya-pribyl> (дата обращения: 17.04.2020).

237. Лесовик, В.С. Геоника (Геомиметика). Теоретические основы природоподобных технологий / В.С. Лесовик, А.А. Володченко // В сборнике: Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» на Международном Косыгинском Форуме-2019 «Современные задачи инженерных наук». 2019. — С. 119–123.

238. Федюк, Р.С., Мочалов, А.В. Композиционные вяжущие для бетонов повышенной ударной стойкости / Р.С. Федюк, А.В. Мочалов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2018. — №4 (200). — С. 85–91.

239. Ключев, А.В. Композиционные вяжущие для фибробетонов / А.В. Ключев // Международный научно-исследовательский журнал. Технические науки. 2015. — № 4 (35). — С.61–66.

240. Ключев, С.В. Разработка дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе техногенного песка и композиционного вяжущего / С.В. Ключев // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 11 – 2 (30). — С. 27 – 29.

241. Ключев, С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов / С.В. Ключев // Технологии бетонов. — 2012. — №1 – 2. — С. 56 – 58.

242. Муртазаева, Т.С.-А. Высокопрочные бетоны на основе вторичного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 22.12.2018 / Муртазаева Тамара Саид-Альвиевна. — Грозный: — 2018. — 24 с.

243. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 526 с.

244. Фомина, Е.В. Снижение аутогенной усадки композиционного вяжущего с использованием туфа / Е.В. Фомина, В.С. Лесовик, А.М. Айзенштадт // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 4 (41). – С. 48–55.

245. Лесовик, В.С. К вопросу изучения особенностей структурообразования композиционных вяжущих для неавтоклавных газобетонов / В.С. Лесовик, М.В. Абсиметов, М.Ю. Елистраткин [и др.] // Строительные материалы и изделия. – 2019. – Т. 2. – № 3. – С. 41–47.

246. Фишер, Х.Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений / Х.Б. Фишер, Р.С. Федюк, А.В. Мочалов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 7. – С. 77–85.

247. Fediuk, R. Increase in composite binder activity / R. Fediuk, A. Smoliakov, N. Stoyushko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – № 156 (1). – P. 012042.

248. Fediuk, R.S. Mechanical Activation of Construction Binder Materials by Various Mills / R.S. Fediuk // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – № 125 (1). – P. 012019.

249. Abrishambaf, A. Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites / A. Abrishambaf, M. Pimentel, S. Nunes, // Cement and Concrete Research. – 2017. – № 97. – P. 28 – 40.

250. Федюк, Р.С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей / Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, В.С. Лесовик // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета – 2018. – №4(37). – С.85–99.

251. Селяев, В.П. Влияние магнитной активации на упругопрочностные показатели цементных композитов / В.П. Селяев, А.В. Колотушкин // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 2(27). – С.17–20.

252. Bullard, J.W. Mechanisms of cement hydration / J.W. Bullard, H.M. Jennings, R.A. Livingston [and etc.] // Cement and Concrete Research. – 2011. – №41 (12). – P.1208–1223.

253. Sanchez, F. Nanotechnology in concrete (a review) / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. – 2010. – № 24. – P. 2060–2071.

254. Xiao, J. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011) / J. Xiao, W. Li, Y. Fan [and etc.] // Construction and Building Materials. 2012. – №31. – P.364–383.

255. Данилов, А.М. Системный подход к конструированию композиционных материалов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 7. – С. 23–25.

256. Ben Naha, M. Phase assemblage of composite cements / M. Ben Naha, P.T. Durdzinski, M. Zajac [and etc.] // Cement and Concrete Research. – 2017. – Vol. 99. – P.172–182.

257. Колотушкин, А.В. Разработка методов электромагнитной и химической активации с целью повышения прочности цементных композиций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 15.04.2016 / Колотушкин Алексей Владимирович. – Саранск, 2016. – 183 с.

258. Кузьмина, В.П. Эффективность применения механоактивации при производстве сухих строительных смесей / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. – 2013. – № 5. – С. 26–29.

259. Низина, Т.А. Оптимизация составов многокомпонентных мелкозернистых фибробетонов, модифицированных на различных масштабных уровнях / Т.А. Низина, В.П. Селяев, А.С. Балыков [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: науч. интернет-журн. – 2017. – Т. 9. – № 2. – С.43–65.

260. Пухаренко, Ю.В. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 1. – С. 40–45.

261. Ibragimov R.A. Energy Parameters of the Binder during Activation in the Vortex Layer Apparatus / R.A. Ibragimov, E.V. Korolev, R.Y. Deberdeev [and etc.] // Materials Science Forum. – 2019. – № 945. – P. 98–103.

262. Тараканов, О.В. Перспективы применения комплексных добавок в бетонах нового поколения / О.В. Тараканов, В.И. Калашников // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(39). – С. 223–229.

263. Байсариева, А.М. Оптимизация технологических параметров производства тонкомолотого цементнозольного вяжущего / А.М. Байсариева // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2018. – Т.4. – №2. – С.1–9.

264. Sidney Mindess. Fibre Reinforced Cementitious Composites (Modern Concrete Technology). – Taylor & Francis, 2006. – 624 p.

265. Ермилова, Е.Ю. Исследование влияния добавок карбонатных пород на физико-механические свойства композиционного цемента / Е.Ю. Ермилова, З.А. Камалова, Р.З. Рахимов [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4 (38). – С. 351–358.

266. Ludwig, H.-M. CO₂-arme Zemente für nachhaltige Betone / H.-M. Ludwig // Ibautil 2015, 16-19 September 2015, Weimar, Deutschland. 2015. – Band 2. – P. 7–32.

267. Рахимов, Р.З. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова // Строительные материалы. – 2013. – № 5. – С. 57–59.

268. Lothenbach, B. Supplementary cementitious materials / B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton // Cement and Concrete Research. – 2011. – №41. – P.1244–1256.

269. Гергичны, З. Зола-унос как компонент цемента / З. Гергичны // Цемент и его применение. – 2014. – № 4. – С. 24–33.

270. Coleman, N.J. The solid state chemistry of metakaolin-blended ordinary Portland Cement / N.J. Coleman, W.R. Mcwhinnle // J. Mat. Sci. – 2000. – Vol. 35. – P.2701–2710.

271. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.

272. Козлова, В.К. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов / В.К. Козлова, А.М. Маноха, А.А. Лихошерстов [и др.] // Цемент и его применение. – 2012. – № 3. – С. 125–129.

273. Маноха, А.М. Особенности состава продуктов гидратации композиционных портландцементов с карбонатсодержащими добавками / А.М. Маноха, В.К. Козлова, Е.В. Мануйлов [и др.] // Цемент и его применение. – 2014. – № 4. – С. 103–105.

274. Gali, S. Kinetics of dolomit-portlandite reaction: Application to Portland cement concrete / S. Gali, C. Ayora, P. Alfonso [and etc.] // Cement and Concrete Research. – 2001. – № 6(31). – P.933–939.

275. Tang, M. Alkali-silica reaction and Alkali-carbonate reaction (in Chinese) / M.Tang // Engineering Science. 2000. – № 2 (1). – P. 34–40.

276. Zhang, S. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars / S. Zhang, D. Lu, Z. Xu // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, 13–16.11.2015, China. 2015 – P.101–111.

277. Nocun-Wczelik, W. Hydration of Portland cement with Dolomite / W. Nocun-Wczelik, M. Szybalski, E. Zugaj // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, 13.11.2015, China. 2015. – P.320.

278. Dhir, K. Evaluation of Portland limestone cements for use in concrete construction / K. Dhir, M.C. Limbachiya, M.J. McCarthy [and etc.] // Materials and Structures. – 2007. – Vol. 40. – Issue 5. – P.459–473.

279. Толстой, А.Д. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих с применением техногенного сырья / А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, К.Ю. Новиков // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2016. – № 2 (17). – С. 174–180.

280. Толстой, А.Д. Композиционные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами / А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, И.А. Ковалева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 6–9.

281. Бормотов, А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов специального назначения: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.18: защищена 22.12.2011 / Бормотов Алексей Николаевич. – Пенза: – 2011. – 275 с.

282. Бормотов, А.Н. Многокритериальный синтез композита как задача управления / А.Н. Бормотов // Вестник ТГТУ. – 2010. – Том 16. – № 4. – С.924–937.

283. Гарькина, И.А. Синтез композиционных материалов с позиций классической теории оптимального управления / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Д.С. Сорокин // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1411–1416.

284. Прошин, И.А. Структурно-параметрический синтез математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической информации / И.А. Прошин, Д.И. Прошин, Н.Н. Прошина. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технолог. акад., 2007. – 178 с.

285. Juran Joseph, M., Pareto, Lorenz, Cournot, Bernoulli, Juran and Others / Juran Joseph M. // Industrial Quality Control. – 1950. – October. – P.5.

286. Гончаров, С.А. Геометрически-вероятностная модель разрушения горных пород при дроблении и измельчении / С.А. Гончаров, О.Ф. Клюка, К.В. Халкечев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №8. – С.5–8.

287. Чумаков, Л.Д. Технология заполнителей бетона [Электронный ресурс] / Л.Д. Чумаков. – 2-е изд., исправленное и дополненное. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 264 с.

288. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2013. – 78 с.

289. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М.: ФАУ ФЦС, 2013. – 197 с.

290. Лохер, Ф. Особенности процесса гидратации цемента / Ф. Лохер, Н. Рихартц // Труды шестого международного конгресса по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – 526 с.

291. Чулкова, И.Л. Структурообразование строительных композитов на основе принципа сродства структур / И.Л. Чулкова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – №6(28). – С.83–87.

292. Лесовик, В.С. Управление структурообразованием строительных композитов: монография / В.С. Лесовик, И.Л. Чулкова. – Омск: СибАДи, 2011. – 420 с.

293. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса / В. С. Лесовик. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 526с.

294. Чулкова, И.Л. Формирование структуры и свойств цементного камня в присутствии неорганических электролитов / И.Л. Чулкова, В.С. Лесовик, Г.И. Бердов // Всероссийская конференция «Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов» НГАСУ (СИБСТРИН), посвященная 100 летнему юбилею профессора Г.И. Книгиной и 80 летнему юбилею профессора В.М. Хрулева: сб. науч. статей. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. – С. 165–167.

295. Чулкова, И. Л. Твердение и свойства водных суспензий цементных минералов под влиянием суперпластификаторов / И. Л. Чулкова, В.С. Лесовик, Г.И. Бердов // Всероссийская конференция «Современные проблемы

производства и использования композиционных строительных материалов» НГАСУ (СИБСТРИН), посвященная 100-летию профессора Г.И. Книгиной и 80-летию профессора В.М. Хрулева: сб. науч. статей. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. – С. 46–49.

296. Ключко, Б.Г. Управление структурообразованием в активированном гидротехническом бетоне / Б.Г. Ключко, Д.В. Горидько, В.В. Пунагин // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2003. – № 1. – С. 142–148.

297. Ким, С.В. Уплотнение структуры цементного камня в бетоне за счет эффективного использования композиционного вяжущего / С.В. Ким, Р.С. Федюк, А.В. Баранов [и др.] // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2019. – Т. 21. – № 3. – С. 195–206.

298. Руденко, Н.Н. Особенности процесса структурообразования активированной цементной матрицы бетона / Н.Н. Руденко, Д.В. Руденко, В.В. Пунагин // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2004. – № 3. – С. 150–153.

299. Харченко, А.И. Структура и свойства мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих / А.И. Харченко, В.А. Алексеев, И.Я. Харченко [и др.] // Вестник МГСУ. – 2019. – Т.14. – № 3 (126). – С. 322–331.

300. Carballosa, P. Influence of cement and expansive additive types in the performance of self-stressing and self-compacting concretes for structural elements / P. Carballosa, J.L. García Calvo, D. Revuelta [and etc.] // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 93. – PP. 223–229.

301. Баженов, Ю.М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю.М. Баженов, Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 6–14.

302. Qi, Cao Structural behavior of FRP enclosed shrinkage-compensating concrete (SHCC) beams made with different expansive agents / Cao Qi, John Ma Zhongguo // Construction and Building Materials. – 2015. –Vol. 75. –PP.450–457.

303. Yu, H. Effects of fibers on expansive shotcrete mixtures consisting of calcium sulfoaluminate cement, ordinary Portland cement, and calcium sulfate / H. Yu, L. Wu, W.V. Liu [and etc.] // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2018. –Vol. 10. – Issue 2. –PP. 212–221.

304. Bazhenov Y.M. Changes in the topology of a concrete porous space in interactions with the external medium / Y.M. Bazhenov, V.T. Erofeev, V.I. Rimshin [and etc.] // Engineering Solid Mechanics. – 2016. No. 4. Pp. 219–225.

305. Chartschenko, I.J. Use of fly ash from brown coal for the production of expensive composit-cements / I.J. Chartschenko, K. Volke, J. Stark // 10th Intern. Coal Ash Symposium, January 1993, Orlando, (Florida/USA). 1993. –№6. – PP.142–154.

306. Apih, T. Proton spin-lattice relaxation study of the hydration of self-stressed expansive cement / T. Apih, G. Lahajnar, A. Sepe [and etc.] // Cement and Concrete Research. – 2001. –Vol. 31. –Issue 2. –PP. 263–269.

307. Takayuki, Higuchi. Hydration and properties of expansive additive treated high temperature carbonation / Takayuki Higuchi, Masataka Eguchi, Minoru Morioka [and etc.] // Cement and Concrete Research. – 2014. –Vol. 64. –PP. 11–16.

308. Hyeonggil, Choi. Modeling of volume changes of concrete mixed with expansive additives / Hyeonggil Choi, Heesup Choi, Myungkwan Lim [and etc.] // Construction and Building Materials. – 2015. –Vol. 75. –PP. 266–274.

309. Lesovik, V.S. Composite binders on the basis of pearlite raw material of Transbaikalia / V.S. Lesovik, L.A. Urkhanova, A.M. Gridchin [and etc.] // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. –№ 9 (12). –P. 1016–1020.

310. Чулкова, И.Л. Повышение эффективности строительных композитов с использованием техногенного сырья регулированием процессов структурообразования: автореф. дис. ... докт. техн. наук. 05.23.05: защищена 15.02.2011 / Чулкова Ирина Львовна. – Белгород, 2011. –39 с.

311. Дамдинжапов, Б.Ц. Модификация бетонов с использованием акустического и электромагнитного полей / Б.Ц. Дамдинжапов, М.Е. Заяханов, Ч.С. Лайдабон [и др.] // Технологии бетонов. – 2011. – № 7–8. – С. 65–66.

312. Федюк, Р.С., Смоляков, А.К., Тимохин, Р.А. Строительные материалы для войсковой фортификации // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри с международным участием, посвященная 25-летию со дня образования Технического института (филиала) СВФУ: материалы конференции. Секции 1–3. 2017. – С. 109–113.

313. Лесовик, В.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 1 (47). – С. 65–72.

314. Лесовик, В.С. Влияние составов материалов на формирование структуры строительных композитов / В.С. Лесовик, И.Л. Чулкова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. – № 4 (44). – С. 69–79.

315. Лукутцова, Н.П., Пыкин, А.А., Баранова, А.А. Высокопрочный мелкозернистый бетон с мультикомпонентным наноимпрегнатом алюмосиликатного состава / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин, А.А. Баранова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 9. – С. 6–14.

316. Толстой, А.Д. Применение синергетических принципов самоорганизации системы в теории твердения строительных композитов / А.Д. Толстой, А.И. Крымова, Е.В. Фомина [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – №9. – С. 24–28.

317. Логанина, В.И. Обеспечение качества строительных изделий и конструкций / В.И. Логанина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2018. – №1(6). – С. 21–25.

318. Косач, А. Ф. Влияние ультрадисперсного наполнителя на основе золы гидроудаления на свойства цементного камня / А.Ф. Косач, М.А. Ращупкина, И.Н. Кузнецова [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. –Т. 21. –№ 1. –С. 150–158.

319. Артамонова, О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: монография / О.В. Артамонова; Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2016. – 100 с.

320. Еленова, А.А. Синтез расширяющей добавки для устранения усадки цементного камня / А.А. Еленова, Ю.Р. Кривобородов // Вестник МГСУ. – 2017. –Т. 12. –Вып. 3 (102). –С. 326–333.

321. Федюк, Р.С. Исследование водопоглощения мелкозернистого фибробетона на композиционном вяжущем // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2–2. – С. 303–307.

322. Калашников, В.И. Бетоны переходного и нового поколений. состояние и перспективы [Электронный ресурс] / В.И. Калашников, О.В. Тараканов, В.М. Володин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–1. – С.151.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20386> (дата обращения: 08.05.2020).

323. Чистов, Ю.Д. Разработка многокомпонентных минеральных вяжущих веществ / Ю.Д. Чистов, А.С. Тарасов // Российский химический журнал. – 2003. –Т. XLVII. – №4. – С.12-17.

324. Халиуллин, М.И. Водостойкие бесклинкерные композиционные гипсовые вяжущие с добавками промышленных отходов / М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. –№ 3 (17). –С. 157–165.

325. Fediuk, R.S. Composite binders for concrete of protective structures / R.S. Fediuk, V.S. Lesovik, A.V. Mochalov [and etc.] // Инженерно-строительный журнал. – 2018. № 6 (82). С. 208–218.

326. Шакарна, М.Х. Композиционные вяжущие с использованием вулканических туфов Иордании // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. – № 3. – С. 38–43.

327. Рахимова, Н.Р. Композиционные шлакощелочные вяжущие с добавками молотого отсева дробления бетонного лома / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов, Р.Ф. Хамитова // Техника и технология силикатов. – 2013. –Т. 20. – № 3. –С. 9–15.

328. Escalante-Garcia, J.I. Calcium sulphate anhydrite based composite binders; effect of portland cement and four pozzolans on the hydration and strength / J.I. Escalante-Garcia, O.A. Martínez-Aguilar, L.Y. Gomez-Zamorano // Cement and Concrete Composites. – 2017. –Т. 82. –С. 227–233.

329. Омурбеков, И.К. Композиционные минерально-золевые вяжущие из местного сырья / И.К. Омурбеков, В. Ким, Р.А. Гусейнова// Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. – 2011. –№ 3. –С. 37–42.

330. Yan, P.-Y. Alteration of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content during hydration process of composite binders / P.-Y. Yan, Y.-D. Jia, Aruhan. // Jianzhu Cailiao Xuebao. – 2010. –Т. 13. –№5. –С. 563–567.

331. Муртазаев, С-А.Ю. Композиционные гипсовые вяжущие на основе золошлакового наполнителя и комплексной химической добавки / С-А.Ю. Муртазаев, А.Х. Аласханов, М.С. Сайдумов // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. – 2013. –№ 12–13. –С. 151–158.

332. Sun, J. Hydration mechanism of composite binders containing blast furnace ferronickel slag at different curing temperatures / J. Sun, Z. Chen, Z. Wang // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. –Т. 131. –№ 3. –С. 2291–2301.

333. Прокопец, В.С. Повышение эффективности дорожно-строительных материалов механоактивационным модифицированием исходного сырья:

автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05: защищена 19.10.2005 / Прокопец Валерий Сергеевич. – Омск: – 2005. – 42 с.

334. Строкова, В.В. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом типоморфизма сырья: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05: защищена 21.12.2004 / Строкова Валерия Валерьевна. – Белгород: – 2004. – 43 с.

335. Урханова, Л.А. Повышение эффективности строительных материалов за счет механохимической активации бесклинкерных вяжущих композиций: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05: защищена 23.09.2008 / Урханова Лариса Алексеевна. – Улан-Удэ: – 2008. – 43 с.

336. Кочарян, Г.Г. Возникновение и развитие процессов скольжения в зонах континентальных разломов под действием природных и техногенных факторов. Обзор современного состояния вопроса / Г.Г. Кочарян // Физика Земли. – 2021. – №4. – С. 3-41.

337. Муртазаев, С-А.Ю. Использование местных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах /С-А.Ю. Муртазаев, З.Х. Исмаилова // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С.57–61.

338. Александров, А.В. Снос зданий и переработка строительного мусора / А.В. Александров // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. – 2003. – №1. – С.50–58.

339. Kikuchi M. Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete / M. Kikuchi, Y. Dosho, M. Narikawa [and etc.] // Proceeding; of Fourth САКМЕТ. ACUCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Tokushima. Japan. – 1998. – P.1073–1101.

340. Баженов, Ю.М. Бетон: технологии будущего / Ю.М. Баженов // Строительство: новые технологии-новое оборудование. – М.: ИД "Панорама", 2009. –№ 8. –С.29–32.

341. Попов, Л.Н. Основы технологического проектирования заводов железобетонных изделий / Л.Н. Попов, Е.Н. Ипполитов, В.Ф. Афанасьев. – М.: «ВШ», 1988. – С.65–88.

342. ГОСТ 27006-2019 – Бетоны. Правила подбора состава [Текст]. – Введ. 2020-01-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.

343. Рекомендации по подбору составов легких бетонов (к ГОСТ 27006-86) [Текст]. – Дата актуализации. 2020-02-01. – М.: ЦИТП, 1990. – 96 с.

344. Пузанов, С.И. Особенности использования материалов на основе стеклобоя как заполнителей портландцементного бетона / С.И. Пузанов // Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 12–15.

345. Попов, М.Ю. Подбор состава легких бетонов на реакционноспособных пористых заполнителях / М.Ю. Попов // Научное обозрение. – 2015. – № 16. – С. 162–167.

346. ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов [Текст]. – Введ. 1995-01-01. – М.: МНТКС, 2012. – 12 с.

347. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия [Текст]. – Введ. 2012-10-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

348. Пособие к СНиП 3.09.01-85 – Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий.

349. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.

350. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 35 с.

351. Халюшев, А.К. Оценка эффективности комбинирования минеральных добавок в мелкозернистом бетоне / А.К. Халюшев, В.В. Прудников, С.А. Стельмах [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2017. – Т.9. – №5. – С.21-28.

352. Magdy Abdelaziz A. Effect of Fine Materials in Local Quarry Dusts of Limestone and Basalt on the Properties of Portland Cement Pastes and Mortars / Magdy Abdelaziz A., Saleh Abd El-Aleem, Wagih Menshawy M. // International Journal of Engineering Research & Technology (UERT). 2014. –Vol.3. –Issue 6. – P.1038-1056.

353. Liker Bekir Torcu Effect of the use of mineral filler on the properties of concrete / Liker Bekir Torcu, Ali Ugurlu // Cement and Concrete Research. – 2003. –№33(7). –P.1071-1075.

354. Соломатов, В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов. – Киев: 1991. – 276 с.

355. Хархардин, А.Н. Структурная топология дисперсных материалов и композитов / А.Н. Хархардин, В.В. Строкова, А.И. Топчиев // Строительные материалы. – 2006. –№7. –С.27–30.

356. Nisnevich, M. Lightweight Concrete Masonry Units with Bottom Ash as Aggregate and High Volume Fly Ash as Additive / M. Nisnevich, G. Sirotin, L. Dvoskin [and etc.] // Proceedings of the Fifteenth Conference of The Israel Mineral Science and Engineering Association. Haifa, Israel. 2000. –P.86–92.

357. Nataraja, M.C. Proportioning concrete mixes with quarry wastes / M.C. Nataraja, T.S. Nagaraj, A. Reddy // Cem. Concr. Res. 2001. – №23. –PP.81–87.

358. Ho, D. The use of quarry dust for SCC applications / D. Ho, A. Sheinn, C. Tam [and etc.] // Cem. Concr. Res. 2002. – №32. –P.505–511.

359. Nataraja, M. C. Performance of industrial byproducts in controlled low-strength materials (CLSM) / M. C. Nataraja, Y. Nalanda // Waste Manag. – 2008. – №28. –P.1168–1181.

360. Фиголь, А.А. Управление трещиностойкостью тонкослойных композиционных покрытий на цементной основе добавками и наполнителями различной природы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 28.12.2004 / Фиголь Андрей Анатольевич. – С-П.: – 2004. – 110 с.

361. Benchaa, Benabed Effect of fine aggregate replacement with desert dune sand on fresh properties and strength of self-compacting mortars / Benabed Benchaa, Azzouz Lakhdar , El-Hadj Kadri [and etc.] // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2014. – №28(21). – PP.2182–2195.

362. Дмитриев, И.И. Золошлаковые отходы в составе бетона / И.И. Дмитриев, А.М. Кириллов [Электронный ресурс] // СтройМного. – 2017. – №3 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zoloshlakovyie-othody-v-sostave-betona> (дата обращения: 12.05.2020).

363. Касторных, Л.И. Исследование параметров, влияющих на эффективность тепловой обработки самоуплотняющегося бетона с минеральными добавками / Л.И. Касторных, Ю.С. Фоминых [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-vliyayuschih-na-effektivnost-teplovoy-obrabotki-samouplotnyayusche-gosya-betona-s-mineralnymi-dobavkami/viewer> (дата обращения: 14.05.2020).

364. Binici, H. A study on cement mortars incorporating plain Portland cement (PPC) ground granulated blast furnace slag (GGBS) and basaltic pumice / H. Binici, O. Aksogan, H. Kaplan // Ind. Mater. 2005. – №12. – PP.214–220.

365. Бабков, В.В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, П. Г. Комохов [и др.]. – Уфа, 2002. – 371 с.

366. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии [Текст]. – Введ. 1983-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 22 с.

367. ГОСТ 6139-2003 Песок для испытаний цемента. Технические условия [Текст]. – Введ. 2004-08-31. – М.: МНТКС, 2004. – 21 с.

368. Рахимбаев, Ш.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Тольпина / Монография: Белгород, изд- во БГТУ, 2015. – 321 с.

369. Кузнецова, И.Н. Цементный камень с использованием ультрадисперсных кварцевых отходов / И.Н. Кузнецова // Международный

научно-исследовательский журнал. Технические науки. – 2019. -№11(89). – Ч.1. – С.41.44.

370. Suryavanshi, A.K. Development of lightweight mixes using ceramic microspheres as fillers / A.K. Suryavanshi, R.N. Swamy // Cement and Concrete Research. – 2002. –Vol.32. – №.11. –P. 1783–1789.

371. Сахаров, Г.П. Ячеистый бетон: новый этап развития / Г.П. Сахаров // Технологии бетонов. – 2006. – №6. С. 12–13.

372. ГОСТ 12730.0-78 (2003) – Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости [Текст]. –Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 3 с.

373. ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Метод определения водопоглощения [Текст]. –Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 4 с.

374. ГОСТ 12730.4-78 – Бетоны. Методы определения показателей пористости [Текст]. –Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.

375. Несветаев, Г.В. Моделирование пористости цементного камня с минеральными модификаторами различной гидратационной активности / Г.В. Несветаев, А.В. Налимова, А.И. Холостова // Научное обозрение. – 2014. –№ 8–3. –С. 925–928.

376. Gelong, Xu. Investigation on the properties of porous concrete as road base material / Gelong Xu, Weiguo Shen, Xujia Huo [and etc.] // Construction and Building Materials. – 2018. –Vol. 158. –PP.141–148.

377. Соловьев, В.И. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органоминеральными модификаторами / В.И. Соловьев, Е.В. Ткач, Р.Ф. Серова // Фундаментальные исследования. – 2014. –№ 8–3. –С. 590–595.

378. Макарова, И.А. Физико-химические методы исследования строительных материалов / И.А. Макарова, Н.А. Лохова. 2-е изд. перераб. и доп. – Братск : Изд-во БрГУ, 2011. –139 с.

379. Несветаев, Г.В. О влиянии суперпластификаторов на пористость цементного камня / Г.В. Несветаев, И.В. Корчагин, Ю.И. Потапова // Научное обозрение. – 2014. – № 7–3. – С. 837–841.

380. Дворкин, Л.И. Основы бетоноведения / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин – СПб.: Стройбетон, 2006. – 696 с.

381. Лермит, Робер. Проблемы технологии бетона: Пер. с фр. / Робер Лермит / Под ред. и с предисл. А.Е. Десова. Изд. 2-е. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 296 с.

382. Комохов, П.Г. Модифицированный цементный бетон, его структура и свойства [Текст] / П.Г. Комохов, Н.Н. Шангина // Цемент. – 2002. – №1–2. – С.43–46.

383. Berkowski, P. Material and structural destruction of concrete elements in the industrial environment / P. Berkowski, M. Kosior-Kazberuk // Procedia Engineering. – 2007. – № 172. – PP.96–103.

384. Czarnecki, L. Material factors of failure and repair of concrete structures / L. Czarnecki, P. Lukowski, J. Sliwinski, // Builder. – 2012. – №3. – PP.68–71.

385. Зоткин, А.Г. Влияние воздушных пор на прочность бетона / А.Г. Зоткин // Технологии бетонов. – 2011. – № 3/4. – С. 58–60.

386. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников / Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.

387. Шишканова, В.Н. Влияние вида заполнителя на прочность мелкозернистого бетона / В.Н. Шишканова, М.Н. Путилова, А.Ю. Козлов // Наука и образование: новое время. – 2019. – № 2 (31). – С. 107–113.

388. Rudenko, D.V. Properties of modified concrete for special purpose structures / D.V. Rudenko // Science and Transport Progress. – 2018. – № 5 (77). – С. 129–139.

389. Карпенко, Н.Л. Общие модели механики железобетона. / Н.Л. Карпенко – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.

390. Li, J. Stochastic damage model for concrete based on energy equivalent strain / J. Li, X. Ren // *International Journal of Solids and Structures*. – 2009. – Vol. 46. – № 11–12. – P.2407–2419.

391. Pyo, S. Crack velocity-dependent dynamic tensile behavior of concrete / S. Pyo, S. El-Tawil // *International Journal of Impact Engineering*. – 2013. – Vol. 55. – P.63–70.

392. Бенин, А.В. Деформирование и разрушение железобетона: аналитические, численные и экспериментальные исследования / А.В. Бенин – СПб.: ПГУПС, 2006. – 127 с.

393. Benin, A.V. Fracture simulation of reinforced concrete structure with account of bond degradation and concrete cracking under steel corrosion / A.V. Benin, A.S. Semenov, S.G. Semenov // *Advances in Civil Engineering and Building Materials*. – London: Taylor & Francis Group, 2013. – PP. 233–237.

394. Пунагин, В.Н. Бетон в условиях повышенных температур / В.Н. Пунагин, А.Н. Пшинько, Н.Н. Руденко – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 292 с.

395. Пшинько, А.Н. Проблемы получения бетонов с высокими эксплуатационными свойствами / А.Н. Пшинько, А.В. Краснюк, В.Н. Пунагин // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. – 2004. – № 4. – С. 203–205.

396. Руденко, Н.Н. Исследование реологических свойств активированных цементных систем / Н.Н. Руденко, Н.В. Левченко // *Вісник академії: Наук. та інформ. бюл./ПДАБА: Дніпропетровськ*. – 2000. – № 1. – С. 44–54.

397. Будников, П.П. Гипс, его исследование и применение / П.П. Будников. – М.: Госстройиздат, 1951. – 418 с.

398. Ферронская, А.В. Роль гипсовой отрасли в развитии промышленности строительных материалов / А.В. Ферронская // *Второй Всероссийский семинар по гипсу*. – Уфа, 2004. – С.11–17.

399. Ратинов, В.Б., Розенберг, Т.И. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг – М.: Стройиздат, 1977. – 217 с.

400. Клименко, В.Г. Двухфазовые гипсовые вяжущие для сухих смесей на основе техногенного гипса / В.Г. Клименко, А.С. Погорелова, П.П. Хлыповка // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 3. – С. 51–55.

401. Погорелов, С.А. Оценка однородности кристаллов техногенного гипса / С.А. Погорелов, А.Г. Козлюк // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии: Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века». – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – Ч. 2. – С. 306–310.

402. Сучков, В.П. Исследование влияния температурной обработки на свойства сульфатных систем при получении ангидритовых вяжущих. Бетон и железобетон в третьем тысячелетии / В.П. Сучков, Э.В. Клущкин // Ростовский государственный архитектурно-строительный университет. – Ростов-на-Дону. – 2000. – С. 323–329.

403. Alhaj Hussein, M. Corrosion behavior and durability of various cement an pozzolans / Hussein M. Alhaj. – LAP LAMBERT Academic Publishing AG and Co.KG, 2010. –145 p.

404. Strokova, V.V. Regulation of fine grained concrete efflorescence process / V.V. Strokova, I.V. Zhernovsky, Yu.V. Fomenko // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vols. 357–360. –P.1300–1303.

405. Лесовик, В.С. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности брусчатки бетонной / В.С. Лесовик [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. –2011. –№4. –С.52–54.

406. Коровяков, В.Ф. Повышение эффективности гипсовых вяжущих и бетонов на их основе: автореф. дис. . . д-ра техн.наук / В.Ф. Коровяков. – 2002. – 39 с.

407. Коровяков, В.Ф. Повышение водостойкости гипсовых водостойких вяжущих и расширение областей их применения / В.Ф. Коровяков //

Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века». – 2005. – №3. – С.14–17.

408. Лесовик, В.С. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, М.С. Агеева, А.В. Иванов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – №3. – С.29–32.

409. Коровяков, А.В. Структура твердеющего камня из композиционных гипсовых вяжущих // Сухие строительные смеси. – 2013. – №1. – С.16–19.

410. Kaziliunas, A. Dehydration of Phosphogypsum and Neutralization of Its Impurities in the Steam of Raised Pressure / A. Kaziliunas, M. Vac Auskiene // Materials science (Medziagotyra). – 2007. – V. 13. – № 1. – S. 57–59.

411. Wolicka, D. Biotransformation of Phosphogypsum in Petroleum-Refining Wastewaters / D. Wolicka, W. Kowalski // Polish J. Environ. Stud. – 2006. – V. 15. – № 2. – P. 355–360.

412. Канаева, Н.А. Водостойкость гипсополимерных композиций / Н.А. Канаева // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения. – Самара, 2004. – С. 210–212.

413. Белов, В.В. Формирование оптимальной макроструктуры строительной смеси / В.В. Белов, М.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2009. – №9. – С.88–90.

414. Burnett, W.C. Nuclide migration and the environmental radiochemistry of Florida phosphogypsum / W.C. Burnett, A.W. Elzerman // Journal of Environmental Radioactivity. – 2001. – 54. – P. 27–51.

415. Perianez, R. Measuring and modeling temporal trends of ^{226}Ra in waters of a Spanish estuary affected by the phosphate industry / R. Perianez // Marine Environmental Research. – 2005. – 60. – P. 453–456.

416. Прокопец, В.С. Влияние активационного воздействия на активность вяжущих веществ / В.С. Прокопец // Строительные материалы. – 2003. – №9. – С.28–29.

417. Белов, В.В. Оптимизация гранулометрического состава композиций для изготовления безобжиговых строительных конгломератов /В.В. Белов //Вестник МГСУ. – 2009. –№3. –С.117–125.

418. Баженов, Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций [Текст] / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин [и др.]. –М.: Изд-во АСВ, 2008. – 350 с.

419. Усов, Б.А. Физико-химические процессы строительного материаловедения в технологии бетона и железобетона [Текст]: учеб. пособие для студентов по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» / Б.А. Усов. – М.: Издательство МГОУ, 2009. –326 с.

420. Добшиц, Л.М. Кинетика набора прочности цементного камня с модифицирующими добавками [Текст] / Л.М. Добшиц, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов // Цемент и его применение. – 2011. – № 4. – С.104–107.

421. Алиев, С.А. Использование отходов разработки вулканического туфа для получения современных бетонных композитов [Текст] / С.А. Алиев, С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова [и др.] // Экология и промышленность России. –2017. – Т.21. – № 4. – С.32–35.

422. Демьянова, В.С. Малоклинкерное низкомарочное композиционное вяжущее для строительных растворов [Текст] / В.С. Демьянова, В.Н. Вернигорова, Н.М. Дубошина. –М.: Известия ВУЗОВ. Строительство, 1997. – №3. –С.42–43.

423. Демьянова, В.С. Бетон классов В80–100 на основе рядового портландцемента с добавками тонкомолотого наполнителя и их экономическая оценка [Текст] / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, А.А. Борисов. –М.: Известия высших учебных заведений. Строительство, 1998. – №9. –С. 33–35.

424. Адылходжаев, А.И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона. Ташкент: ФАН Академии наук Республики Узбекистан [Текст] / А.И. Адылходжаев, В.И. Соломатов. – У., 1993. –213 с.

425. Ахвердов, И.Н. Теоретические основы бетоноведения [Текст] / И.Н. Ахвердов. – Минск: Высшая школа, 1991. –188 с.

426. Баженов, Ю.М. Новый век: новые эффективные бетоны и технологии [Текст] / Ю.М. Баженов, В.Р. Фаликман // Строй-Инфо. –2007. –№ 1–2. –С. 289–290.

427. Высоцкий, С.А. Минеральные добавки для бетонов [Текст] / С.А. Высоцкий // Бетон и железобетон. –1994. –№2. –С.7–10.

428. Высоцкий, С.А. Оптимизация состава бетона с дисперсными минеральными добавками [Текст]/ С.А. Высоцкий, М.И. Бруссер, В.П. Смирнов [и др.] // Бетон и железобетон. – 1990. –№2. –С.7–9.

429. Удодов, С.А. Повторное введение пластификатора как инструмент управления подвижностью бетонной смеси [Текст] / С.А. Удодов // Сб. науч. тр. Кубанского государственного технологического университета. –2015. – №9. –С. 175–185.

430. Муртазаев, С-А.Ю. Прессованные мелкозернистые цементобетоны на модифицированном заполнителе [Текст]: научное издание / С-А.Ю. Муртазаев, Д.К-С. Батаев, М.Ш. Саламанова. –Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2014 – 160 с.

431. Демьянова, В. С. Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов [Текст] / В.С. Демьянова, В.И. Калашников [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2001. –209 с.

432. Тарасова, А.Ю. Бетонные смеси высокой подвижности с золой-уноса для транспортного строительства [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 18.12.2009 / Тарасова Анна Юрьевна. – Москва: – 2009. – 151 с.

433. Okamura, H. Self-Compacting Concrete [Text] / H. Okamura, M. Ouchi // Advanced Concrete Technology. –2003. –№1. –Р. 5–15.

434. Несветаев, Г.В. Некоторые вопросы применения добавок для бетонов [Текст] / Г.В. Несветаев // Бетон и железобетон. –2011. –№1. –С. 78–80.

435. Ушеров-Маршак, А.В. Эффективность добавок – тема бетоноведения и технологии бетона [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, Т.В. Бабаевская // Технологии бетонов. –2012. –№ 7–8 (72–73). –С. 53–55.

436. Varabanshchikov, Yu.G. Superplasticized technological properties of concrete mixtures [Текст] / Yu.G. Varabanshchikov, M.V. Komarinskiy // Строительство уникальных зданий и сооружений. –2012. –№ 6 (21). –С. 58–64.

437. Вовк, А.И. Добавки на основе отечественных поликарбоксилатов [Текст] / А.И. Вовк // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. –2012. –№ 9. –С.31–33.

438. Кудряков, А.М. Влияние зернового состава и вида наполнителей на свойства строительных растворов [Текст] /А.М. Кудряков, Л.А. Аниканова, Н.О. Копаница // Строительные материалы. – 2001. – № 11. – С.28–29.

439. Усов, Б.А. Сухие строительные смеси на основе молотого портландцемента к кварцосодержащими микронаполнителями [Текст] / Б.А. Усов, Л.Н. Попов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2003. – №7. – С.14–15.

440. Шангина, Н.Н. Адсорбционно-каталитические процессы на поверхности твердой фазы и их влияние на свойства бетонов [Текст] /Н.Н. Шангина, А.П. Лейкин // Молодые ученые, аспиранты и докторанты. Петербургский гос. ун-та путей сообщения. – СПб. – 1997. – С.28–34.

441. Зоткин, А.Г. Бетон и бетонные конструкции [Текст] / А.Г. Зоткин. – М.: Издательство АСВ, 2016. –327 с.

442. Власов, В.К. Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками [Текст] / В.К. Власов // Бетон и железобетон. –1993. –№ 4. –С.10–12.

443. Larbi, J.A. The chemistry of the pore fluid of silica fume-blended cement systems [Text] / J.A. Larbi, J.M. Bijen // Cem. and Concr. Res. –1990. –V20. –№4. –P.506–516.

444. Муртазаев, С-А.Ю. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья [Текст]: научное издание / С-А.Ю. Муртазаев, Д.К-С. Батаев, З.Х. Исмаилова [и др.]. – М.: «Комтехпринт», 2009. – 142 с.

445. Каприелов, С.С. Высокопрочный пневмобетон с добавкой микрокремнезема для защитных покрытий [Текст] / С.С. Каприелов, Н.Г. Булгакова // Бетон и железобетон. – 1993. – №5. – С. 7–8.

446. Бисултанов, Р.Г. Модифицированные бетоны на композиционном вяжущем с использованием тонкодисперсных наполнителей [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 24.12.2016 / Бисултанов Рамазан Гиханович. – Грозный, – 2016. – 160 с.

447. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия [Текст]. – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.

448. Несветаев, Г.В. Оценка эффективности суперпластификаторов для высокопрочных и высококачественных бетонов [Текст] / Г.В. Несветаев, А.В. Налимова, Г.В. Чмель // Известия ВУЗов. Строительство. – 2003. – №9. – С.38–41.

449. Мкртчян, А.М. О коэффициенте призмочной прочности высокопрочных бетонов [Электронный ресурс] / А.М. Мкртчян, В.Н. Аксенов // Инженерный вестник Дона. – 2013, №3. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1817> (доступ свободный).

450. Технологический регламент производства бетонных работ при возведении фундаментной плиты высотной части многофункционального комплекса «Ахмат Тауэр» [Текст] / НИЦ «Строительство» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; рук. Каприелов С.С.; исполн.: А.В. Шейнфельд, И.А. Арзуманов [и др.]. – М., 2016. – 60 с.

451. Свиридов, Н.В. Механические свойства особо прочного цементного бетона [Текст] / Н.В. Свиридов, М.Г. Коваленко // Бетон и железобетон. – 1991. – №2. – С.7–9.

452. Барабанщиков, Ю.Г. Бетон с пониженной усадкой и ползучестью [Текст] / Ю.Г. Барабанщиков, А.А. Архарова, М.В. Терновский //

Строительство уникальных зданий и сооружений. – Санкт-Петербург, 2014. – № 7 (22). –С.152–165.

453. Ауслендер, Д. Самовосстанавливающийся биобетон проходит первые испытания [Электронный ресурс] / Д. Ауслендер // Технологии. –2012. – URL: <https://hi-news.ru/technology/samovosstanavlivayushhijsya-biobeton-proxodit-pervye-ispytaniya.html> (доступ свободный).

454. Рахимова, Н.Р. Композиционные шлакощелочные вяжущие, растворы и бетоны на их основе / Н.Р. Рахимова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. –№ 4 (12). –С. 110–118.

455. Рахимбаев, Ш.М. Композиционные материалы с добавками водорастворимых полимеров/ Ш.М. Рахимбаев, И.А. Дегтев, Н.Н.Оноприенко// Дайджест публикаций журнала «Строительные материалы» за 1998–2005гг. по тематике «Современные бетоны: наука и практика» – 2008. –С.94–95.

456. Синайко Н.П., Лихопуд А.П., Бабаевская Т.В. Комплексные добавки в бетоны, цементы и сухие строительные смеси системы "Релаксол" / Н.П. Синайко, А.П. Лихопуд, Т.В. Бабаевская // Строительные материалы. – 2006. –№ 10. –С. 26–30.

457. Москвин, В.М., Батраков, В.Г., Розенталь П.К., Установка для получения порошкообразных модификаторов бетона. // Бетон и железобетон. –1981. –№10. –С. 10–15.

458. Зозуля, П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей для сухих строительных смесей [Текст] / П.В. Зозуля // 3-я междунар. конференция для производителей VALTIMIX: Сб. тезисов. – С.-Пб., 2003. – С.12–13.

459. Корнеев, В.И. Формирование строительно-технических свойств при твердении сухих строительных смесей на основе портландцемента [Текст] / В.И. Корнеев // II международная конференция ВАТИМIX «Сухие

строительные смеси для XXI века: технологии и бизнес»: сб. тезисов. — С.-Пб., 2002. — С.53–55.

460. СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии. (Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85), дата введения 2017-08-28.

461. Штарк, И. Долговечность бетона [Текст] / И. Штарк, Б. Вихт – пер. с нем. – А. Тулаганова; под ред. П. Кривенко, техн. ред. Е. Кавалеровой. – Киев: Оранта, 2004. – 301 с.

462. Величко Е.Г. Морозостойкость бетона с оптимизированным дисперсным составом / Е.Г. Величко // Строительные материалы. – 2012. № 2. С. 81–83.

463. Корнеев, В.И. Словарь «Что» есть «что» в сухих строительных смесях. [Текст] / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля. – СПб.: НП «Союз производителей сухих строительных смесей», 2004. — 312 с.

464. Попов, Н.А. Инструкция по изготовлению растворов с добавкой глины для каменной кладки / Н.А. Попов // НИИ Горсельстрой. –М. –1955. – С. 16.

465. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 17 с.

466. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. В.Г. Батраков. –М., – 1998. –768 с.

467. Киреева, Ю.И. Современные строительные материалы и изделия / Ю.И. Киреева. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 256 с.

468. Лесовик, Р.В. Использование техногенных песков в мелкозернистых бетонах /Р.В. Лесовик, Е.Н. Авилова, Д.М. Сопин, А.Н. Ластовецкий // Композиционные строительные материалы, теория и практика: сборник статей Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. – Пенза, 2008. – С.11–16.

469. Артамонов, В.А. Опыт переработки отсеков дробления / В.А. Артамонов, В.В. Воробьев, В.С. Свитов // *Строительные материалы*. – 2003. – № 6. – С.28–29.

470. Leming, M.L. Comparison of mechanical properties of high-strength concrete made with different raw materials / M.L. Leming // *Transportation Research Record*. – 1990. – № 1284. – P.23–30.

471. Nixon, P.J. Recycled concrete as an aggregate for concrete- review / P.J. Nixon // *Materials and structures*. RILEM. – 1978. – Vol. 11. – № 65. – P.371–377.

472. Born. Again «Concrete Emerges as Agg «Detail» / Born. – 1978. – № 60. – Vol. 12. – P.69–71.

473. Zashkova, L. Utilization of industrial wastes in the compositions of fireproof concrete and mortars / L. Zashkova, K. Spirov, N. Penkova, V. Iliev // *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, Bulgaria*. – 2008. – № 43. – P.277–279

474. Nansen, T. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate / T. Nansen, H. Narnd // *Concrete international*. – 1983. – № 1. – P.79–83.

475. Соломатов, В.И. Строительные биотехнологии и биоконпозиты / В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, В.Т. Ерофеев. – М.: Изд-во МИИТ, 1998. – 165 с.

476. Pazhani, K. Study on durability of high performance concrete with industrial wastes / K. Pazhani, R. Jeyaraj // *ATI - Applied Technologies & Innovations*. Department of Civil Engineering, Anna University Chennai, India. – 2010. – Vol. 2. – № 8. – P.19–28.

477. Roy, D.M. Very High Strength Cement Pastes Prepared by Hot Pressing and Other High Pressure Technigues / D.M. Roy, G.R. Gouda, A. Bodrowsky // *Cem. and Concr. Research*. – 1972. – Vol. 2. – P.349–366.

478. Roy, D.M. High Strength Generation in Cement Pastes / D.M. Roy, G.R. Gouda // *Cem. and Concr. Research*. – 1975. – Vol. 5. – P.153–162.

479. Alaskhanov, A.Kh. Impact of technogenic raw materials on the properties of high-quality concrete composites / S.A.Yu. Murtazaev, Sh.Sh. Zaurbekov, A.Kh. Alaskhanov [и др.] // В сборнике: *Proceedings of the International Symposium*

"Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018). International Symposium on Engineering and Earth Sciences. Сер. "Advances in Engineering Research", 2018. – P.275–279.

480. Попов, К.Н. Новые строительные материалы и материалы из промышленных отходов / К.Н. Попов [и др.]. – М.: Логос-Развитие, 2002. – 152 с.

481. Чистов, Ю.Д. Ячеистые бетоны из мелких отходов дробления бетонного лома – путь к малоотходным технологиям в строительстве / Ю. Д. Чистов, М. В. Краснов // Популярное бетоноведение. – 2005. – № 6. – С.24–29.

482. Буткевич, Г.Р. Некоторые тенденции развития промышленности нерудных строительных материалов / Г.Р. Буткевич // Строит. материалы. – 2001. – № 8. – С.6–8.

483. Bazhenov, Yu.M. High-strength concretes based on anthropogenic raw materials for earthquake resistant high-rise construction / Yu.M. Bazhenov, S.-A.Yu. Murtazaev, Bataev D.K-S. [and etc.] // Engineering Solid Mechanics. – 2021. –Т. 9. – № 3. –С. 335–346.

484. Greune, A. The modern concept of recycling equipment and recycling of construction waste / A. Greune // ВМТ: Baumasch und Bautehn. – 1994. – № 4 – P.185–190.

485. Чиж, Р.Ф. Комплекс по переработке и обезвреживанию отходов / Чиж Р.Ф., Чумаков А.Н., Дегтярев В.В., Попов А.Н. // Патент на изобретение RU 2162380 C1, 27.01.2001. Заявка № 99115398/13 от 21.07.1999.

486. Муртазаев, С-А.Ю. Формирование структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома /С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, М.И. Гишлакаева //Бетон и железобетон. – 2008. – № 5. – С.25–28.

487. Буткевич, Г.Р. Нужно увеличивать производственную мощность карьеров /Г.Р. Буткевич //Технологии строительства. – 2007. – № 7 (55). – С.146–147.

488. Отчет о НИР (промежуточ.) «Изучение бетонов и растворов для строительного-восстановительных работ в сейсмоопасных районах, получаемых

с применением техногенного сырья» / ГГНТУ им.акад. М.Д.Миллионщикова; Руководитель С-А.Ю. Муртазаев; ГК № 02.740.11.0149 от 15.06.2009 г.; Инв. 2. - Грозный: 2009. – 185 с. Отв. Исполн. Д.К-С. Батаев, З.Х. Исмаилова, Л.Ш. Махмудова [и др]. – Шифр темы «2009-1.1-232-031». – 2009. – С.126.

489. Зимин, М.А. Руководство по обогащению отсеков дробления и разнопрочных каменных материалов / М.А. Зимин, Ф.В. Панфилов, А.А. Матросов, И.А. Афонина – М.: СОЮЗДОРНИИ, 1992. – 66 с.

490. ТУ 21- РСФСР-65-87 Материалы из отсеков дробления изверженных горных пород Шкурлатовского месторождения гранитов для асфальтобетона. Технические условия.

491. Горбунов, С. П. Влияние тонкодисперсных минеральных добавок на свойства цементного теста /С.П. Горбунов, Б.Я. Трофимов, Ю.Б. Федоров [и др.] //Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2005. – № 75, – С.72–75.

492. Chlopecký, Ja. Project management in the field of modern municipal waste management related to the construction of a sorting line / Chlopecký Ja., Pawliczek A., Ameir O., Moravec L., Hubáček Ja. // В сборнике: 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. – Sofia, 2020. –С. 639–646.

493. Suciu, G. Construction and demolition waste based on the automatic recycling management / Suciu G., Beceanu C., Scheianu A., Petre I. // В сборнике: 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. – Sofia, 2020. –Р. 237–244.

494. Копаница, М.А. Тонкодисперсные добавки для наполненных вяжущих на основе цемента / М.А. Копаница, Л.А. Аниканова, М.С. Макаревич //Строительные материалы. – 2002. – № 9. – С.2–3.

495. Будницкий, В.М. Минеральные добавки из горелых шахтных пород и зол для вяжущих и бетонов / В.М. Будницкий, В.Ф. Бражников, С.А. Мелентьев [и др.] // Изв. вузов. Сев. Кав. Регион. Технические науки. – 1998. – № 4. – С.24–26.

496. Ядыкина, В.В. Влияние кварцевого заполнителя и модифицирования его поверхности на процессы формирования цементно-песчаных структур / В.В. Ядыкина // В сб. «Современные проблемы строительного материаловедения. Седьмые академические чтения РААСН. – Белгород: 2001. – С.636–641.

497. Kovernichenko, L. Regulation of the influence of the structure of inorganic binders on their properties / L. Kovernichenko, A. Shishkin // Technology audit and production reserves. – 2018. –Т. 3. –№ 1 (41). –С. 37–42.

498. Adilkhodjaev, A. Features of forming the structure of cement concrete on second crushed stone from concrete scrap / Adilkhodjaev A., Makhamataliev I., Tsoy V., Shaumarov S., Ruzmetov F. // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. –Т. 29. № 5. – Р. 1901–1906.

499. Бабков, В.В. Разрушение цементных бетонов / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов. – Уфа: – 2002, – С.220–234.

500. Баженов, Ю.М. Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций / Ю.М. Баженов – М.: Стройиздат, 1963. – 128 с.

501. Головачев, И.М. Исследование технологии инъекционного формирования тонкостенных изделий из мелкозернистого бетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.М. Головачев. – Л.: ЛИСИ, 1973. –21с.

502. Миронков, Б.А. Мелкозернистый бетон в гражданском строительстве Санкт-Петербурга / Б.А. Миронков, В.С. Стерин //Бетон железобетон. – 1993. – № 10. –С.16–20.

503. Краснов, А.М. Высоконаполненный мелкозернистый песчаный бетон повышенной прочности / А.М. Краснов //Строительные материалы. – 2003. – № 1. – С.36–37.

504. Белоус, Н.Х. Влияние модифицирующих добавок на структурные характеристики и свойства портландцементных бетонов / Н.Х. Белоус, С.П. Родцевич, О.Н. Опанасенко, Н.П. Крутько // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. – 2021. –Т. 57. –№ 1. –С. 94–100.

505. Методические рекомендации по определению прочностных и структурных характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении. НИИЖБ. – М.: 1976. – 57 с. (дата актуализации: 01.01.2021).

Приложение 1.

Технологический регламент на производство мелкоштучных стеновых материалов из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и брака

Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М.Д. Миллионщикова



УТВЕРЖДАЮ
Ректор ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова
М.Ш. Минцаев
«11» сентября 2019 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

НА ПРОИЗВОДСТВО МЕЛКОШТУЧНЫХ СТЕНОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЛЕГКОГО КЕРАМОБЕТОНА НА
ВТОРИЧНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ИЗ
КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧНОГО БОЯ И БРАКА

Срок введения – с «11» 09 2019 г.
Без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО:

Зав. кафедрой «ТСП», д.т.н.
С-А.Ю. Муртазаев

Доц. кафедры «ТСП», к.т.н.
В.Х. Хадисов

Доц. кафедры «ТСП», к.т.н.
А.Х. Аласханов

Грозный 2019

Приложение 2.

Стандарт организации «Пористые вторичные заполнители из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для бетонов и строительных растворов и теплоизоляции»

**Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М.Д. Миллионщикова**

Пористые вторичные заполнители из керамического
кирпичного боя и производственного брака кирпича для
бетонов и строительных растворов и теплоизоляции

Введен впервые

Утвержден и введен в действие Приказом от «15» окт. 2019 г. № 22/п

Дата введения

«15» окт. 2019 г.



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НРИИ ГГНТУ

Пашаев М.Я.

«15» октября 2019 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**ПОРИСТЫЕ ВТОРИЧНЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ
ИЗ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧНОГО БОЯ И
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО БРАКА КИРПИЧА ДЛЯ
БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ И
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ**

СТО 02074228-017-2019

РАЗРАБОТЧИКИ

Научные сотрудники ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова: докт. техн. наук, проф. Муртазаев С-А.Ю., канд. техн. наук, доц. Аласханов А.Х., канд. техн. наук, доц. Хадисов В.Х., канд. техн. наук, доц. Сайдумов М.С.

Грозный 2019

Приложение 3.
Стандарт организации «Композиционные гипсовые вяжущие с использованием золо-шлаковых отходов»

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова

Утвержден и введен в действие Приказом № 08/12 от 22.12.2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НР

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова),

к.т.н., доц.

М.С. Сайдумов

«22» декабря 2020 г.



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

СТО 22124228-123-2020

Дата введения 22.12.2020 г.

СОГЛАСОВАН:

Генеральный директор

ООО «ПГС-85»

Р.Р. Лабазанов

«22» декабря 2020 г.

РАЗРАБОТАН:

Профессор, д.т.н., зав. каф. «ТСП» ГГНТУ

им. акад. М.Д. Миллионщикова

С-А.Ю. Мургазаев

Д.т.н., доцент каф. «СМИиК»

БГТУ им. В.Г. Шухова

Н.В. Чернышева

Доцент каф. «ТСП» ГГНТУ им.

акад. М.Д. Миллионщикова

А.Х. Аласханов

Грозный 2020

Приложение 4.
Рекомендации по изготовлению изделий из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова»

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по НИ
 ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова
 к.т.н., доц
 М.С. Сайдумов
 «24» ноября 2020 г

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА
 НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, д.т.н.
 зав. каф. «ТСП» ГГНТУ им
 акад. М.Д. Миллионщиков
С-А.Ю. Муртазаев
 Д.т.н., доцент каф. «СМИиК
 БГТУ им. В.Г. Шухов
Н.В. Чернышев
 Доцент каф. «ТСП» ГГНТУ им
 акад. М.Д. Миллионщиков
А.Х. Аласхано

Грозный – 2020

Приложение 5.
**Технологический регламент на производство композиционного
 гипсового вяжущего для производства мелкоштучных стеновых
 материалов**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования «Грозненский государственный
 нефтяной технический университет имени академика М.Д.
 Миллионщикова»

УДК 666.972.16



УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по НР
 ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова»,
 к.т.н., доц.
 М.С. Сайдумов
 «16» декабря 2020 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
 на производство композиционного гипсового вяжущего
 для производства мелкоштучных стеновых материалов

СОГЛАСОВАН:

Генеральный директор
 ООО «ПГС-85»
 _____ **Р.Р. Лабазанов**
 «15» декабря 2020 г.



РАЗРАБОТАН:

Профессор, д.т.н., зав. каф. «ТСП» ГГНТУ
 им. акад. М.Д. Миллионщикова
 _____ **С-А.Ю. Муртазаев**
 Д.т.н., доцент каф. «СМИиК»
 БГТУ им. В.Г. Шухова
 _____ **Н.В. Чернышева**
 Доцент каф. «ТСП» ГГНТУ им.
 акад. М.Д. Миллионщикова
 _____ **А.Х. Аласханов**

Грозный 2020

Приложение 6.

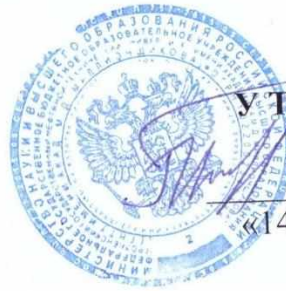
Технические условия «Строительные штукатурные растворы марок М75...М150 на некондиционных мелких песках и техногенном сырье»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА

**Строительные штукатурные растворы марок М75 и М150 на
некондиционных мелких песках и техногенном сырье**

Технические условия
ТУ 5745-001-02066501-2020

Дата введения «14» 10 2020 г.



УТВЕРЖДАЮ
Ректор ГНТУ
М.Ш. Минцаев
«14» октября 2020 г.


**Строительные штукатурные растворы марок М75...М150 на
некондиционных мелких песках и техногенном сырье**

Технические условия
ТУ 5745-001-02066501-2020

Дата введения «14» 10 2020 г.

РАЗРАБОТАНО:
ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический
университет имени академика М.Д. Миллионщикова»

Заведующий кафедрой «Технология
строительного производства», д.т.н.,
проф.


С-А.Ю. Муртаев

доц., к.т.н.
А.Х. Аласханов



доц., к.т.н.
А.С. Успанова



Приложение 7.
**Рекомендации на приготовление и применение строительных
штукатурных растворов марок М75 ... М150 на некондиционных мелких
песках и техногенном сырье**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ГГНТУ

М.Ш. Минцаев

«15» октября 2020

РЕКОМЕНДАЦИИ

на приготовление и применение строительных штукатурных растворов
марок М75 ... М150 на некондиционных мелких песках
и техногенном сырье

РАЗРАБОТАНО

Научный руководитель,
проф., д.т.н.

С-А. Ю. Муртазаев

Исполнитель:
соискатель

А.Х. Аласханов

Грозный - 2020

Приложение 8.

Технологический регламент на производство высококачественных бетонных смесей повышенной жизнеспособности с комплексным использованием местного природного и техногенного сырья

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова"

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ГГНТУ

им. акад. М.Д. Миллионщикова»



М.Ш. Минцаев

«15» февраля 2021 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ НА ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНОГО ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

срок введения с «15» февраля 2021 г.
без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО:

Зав. кафедрой «ТСП», д.т.н.

С-А.Ю. Муртазаев

Доцент кафедры «ТСП»

Т.С-А. Муртазаева

Доцент кафедры «ТСП»

А.Х. Аласханов

Грозный - 2021

Приложение 9.

Технологический регламент на производство бетонных композитов на наполненном вяжущем с наполнителем из отходов дробления бетонного лома

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова»



УТВЕРЖДАЮ
Ректор ГГНТУ

им. акад. М.Д. Миллионщикова»

М.Ш. Минцаев
«17» ноября 2020 г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ НА ПРОИЗВОДСТВО
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ НА
НАПОЛНЕННОМ ВЯЖУЩЕМ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОТХОДОВ
ДРОБЛЕНИЯ БЕТОННОГО ЛОМА**

срок введения с «17» 11 2020 г.
без ограничения срока действия

РАЗРАБОТАНО:

Зав. кафедрой «ТСП», д.т.н.

С-А.Ю. Муртазаев

Доцент кафедры «ТСП»

А.Х. Аласханов

Грозный 2020

Приложение 10.

Акт о выпуске опытной партии мелкоштучных стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя в промышленных условиях

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «МУСТАНГ»

Х.И. Хадисов

«17» июля 2019 г.



АКТ

о выпуске опытной партии мелкоштучных стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича в промышленных условиях

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер ООО «Мустанг» Абакаров Раджаб Абдулатипович и представители кафедры «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова д-р. техн. наук, профессор Муртазаев Сайд-Альви Юсупович, канд. техн. наук, доцент Хадисов Ваха Хасимагомедович, канд. техн. наук, доцент Аласханов Арби Хамидович, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон в период с 23 мая 2019 года до 17 июля 2019 года на основании результатов исследований, проведенных в Грозненском государственном нефтяном техническом университете имени академика М.Д. Миллионщикова, при выполнении диссертационной работы Аласханова А.Х. на тему «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья», выпущена опытная партия стеновых блоков из легкого керамобетона, полученного на основе вторичных заполнителей (песка и щебня) из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича, для возведения ограждающих стен размерами 388x190x188 мм с пустотами (пустотность – 21 %) в количестве 10 000 штук из керамобетонной смеси с общим объемом 108 м³ для строительства малоэтажных домов коттеджного типа.

Настоящим подтверждаем эффективность производственного выпуска мелкоштучных стеновых блоков из легкого керамобетона оптимизированного состава на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для возведения ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

Представитель ООО «МУСТАНГ»:

Главный инженер

 Р.А. Абакаров

Представители ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова:

Научный руководитель

д-р. техн. наук, профессор


Научный консультант

канд. техн. наук, доцент

Соискатель, канд. техн. наук, доцент

 С-А.Ю. Муртазаев

 В.Х. Хадисов

 А.Х. Аласханов

Приложение 11.

Акт о производственном внедрении стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях



УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор
 ООО «МУСТАНГ»
 _____ Х.И. Хадисов
 «28» октября 2019 г.

АКТ

о производственном внедрении стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича при строительстве административного здания в г. Хасавюрт, республика Дагестан

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер ООО «Мустанг» Абакаров Раджаб Абдулатипович и представители кафедры «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова д-р. техн. наук, профессор Муртазаев Сайд-Альви Юсупович, канд. техн. наук, доцент Хадисов Ваха Хасимагомедович, канд. техн. наук, доцент Аласханов Арби Хамидович, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон, на основании результатов исследований, проведенных в Грозненском государственном нефтяном техническом университете имени академика М.Д. Миллионщикова при выполнении диссертационной работы Аласханова А.Х., были внедрены мелкоштучные стеновые блоки из легкого керамобетона на основе вторичных заполнителей из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича класса В15 в количестве около 10 000 штук при возведении ограждающих конструкций 3-х этажного жилого здания с техническим и цокольным этажами с несущим монолитным железобетонным каркасом в г. Хасавюрт республики Дагестан.

Экономический эффект, установленный в ходе строительства данного объекта, от применения мелкоштучных стеновых блоков из легкого керамобетона взамен керамзитобетонным стеновым камням составил более 30 %.

Настоящим подтверждаем эффективность использования мелкоштучных стеновых блоков из легкого керамобетона на вторичных заполнителях из керамического кирпичного боя и производственного брака кирпича для возведения ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

Представитель ООО «МУСТАНГ»:

Главный инженер

Р.А. Абакаров

Представители ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова:

Научный руководитель

д-р. техн. наук, профессор

С-А.Ю. Муртазаев

Научный консультант

канд. техн. наук, доцент

В.Х. Хадисов

Соискатель, канд. техн. наук, доцент

А.Х. Аласханов

Приложение 12.

Акт о выпуске опытной партии стеновых блоков на основе КГВ

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ВНЕШТОРГСЕРВИС"

366506, ЧЕЧЕНСКАЯ РЕСПУБЛИКА, РАЙОН УРУС-МАРТАНОВСКИЙ, СЕЛО МАРТАН-ЧУ, УЛИЦА ПИОНЕРСКАЯ, 40

АКТ

о выпуске опытной партии стеновых блоков из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем с применением техногенного сырья в виде золошлаковых отходов Грозненской ТЭЦ в промышленных условиях
от 28 января 2020 г.

Мы, нижеподписавшиеся, Генеральный директор ЗАО "ВНЕШТОРГСЕРВИС" Духаев Магомед Хас-Магомедович и представители кафедры «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова - д-р. техн. наук, профессор Муртазасв Сайд-Альвн Юсупович, канд. техн. наук Аласханов Арби Хамидович, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон на основании результатов исследований, проведенных в Грозненском государственном нефтяном техническом университете имени академика М.Д. Миллионщикова при выполнении диссертационной работы Аласханова А.Х. на тему «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья», выпущена опытная партия стеновых блоков из мелкозернистого бетона с применением техногенного сырья в виде золошлаковых отходов в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего в промышленных условиях для возведения ограждающих стен и перегородок.

Размеры блоков для:

- ограждающих стен - 20/30/60 см;
- перегородок 10/30/60 см

Количество блоков в партии - 7 500 штук, из них:

- 6000 шт. - для ограждающих стен;
- 1500 шт. - для перегородок.

Общим объемом бетона выпущенной партии блоков составил около 215 м³.

Бетонная смесь опытной партии была однородной и слитной структуры без седиментационных явлений, а также жесткой консистенции, что соответствовало требованиям полусухого прессования. Отформованные изделия имели четкую геометрическую форму без признаков усадки и микротрещин.

Экономический эффект от производства стеновых блоков из мелкозернистого бетона с применением техногенного сырья в виде золошлаковых отходов в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего в промышленных условиях для возведения ограждающих стен и перегородок, составил более 180 руб. на 1 м³ бетонной смеси.

На основании всего выше изложенного можно рекомендовать разработанные на базе ГГНТУ составы мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья в виде золошлаковых отходов в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего для массового производства мелкоштучных стеновых материалов.

Генеральный директор

М.Х-М. Духаев

Представители ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова
Научный руководитель, д-р. техн. наук, профессор

С-А.Ю. Муртазаев

Соискатель, канд. техн. наук, доцент

А.Х. Аласханов



Аласханов

Приложение 13.

Акт о производственном внедрении стеновых блоков на основе КГВ

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «ПГС-85»
Лабазанов Р.Р.
«25» марта 2020 г.

АКТ

о производственном внедрении стеновых блоков из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем на основе золошлаковых отходов Грозненской ТЭЦ при строительстве 3-х домов коттеджного типа в Октябрьском районе г.Грозного Чеченской Республики

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО «ПГС-85» Лабазанов Руслан Рамханович и представители кафедры «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова - д-р. техн. наук, профессор Муртазаев Сайд-Альви Юсупович, канд. техн. наук Аласханов Арби Хамидович, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон на основании результатов исследований, проведенных в Грозненском государственном нефтяном техническом университете имени академика М.Д. Миллионщикова. при выполнении диссертационной работы Аласханова А.Х. на тему «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья», были внедрены при строительстве 3-х домов коттеджного типа в поселке Мичурина Октябрьского района Чеченской Республики стеновые блоки из мелкозернистого бетона класса В15 в количестве 7 500 штук с общим объемом 215 м³, полученных с применением техногенного сырья в виде золо-шлаковых отходов Грозненской ТЭЦ в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего и мелкого заполнителя.

Настоящим подтверждаем эффективность использования стеновых камней из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем для возведения малоэтажных зданий.

Представитель ООО «ПГС-85»
Генеральный директор



Р.Р. Лабазанов

Представители ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова
Научный руководитель, д-р. техн. наук, профессор

С-А.Ю. Муртазаев

Соискатель, канд. техн. наук, доцент

Аласханов

А.Х. Аласханов

Приложение 14.

Акт опытно-промышленного производства монолитной бетонной смеси марки БСТ В40 П5 F100 W8 на РБЗ ООО «СК Чеченстрой»



УТВЕРЖДАЮ

Директор РБЗ ООО «СК Чеченстрой»

С.Г. Юсупов
С.Г. Юсупов
«28» июня 2019 г.

АКТ

опытно-промышленного производства
монолитной бетонной смеси марки БСТ В40 П5 F100 W8
на РБЗ ООО «СК Чеченстрой»

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ООО «СК Чеченстрой», главный инженер-технолог на растворо-бетоносмесительных узлах (РБЗ) Хасуев Идрис Шамуевич, с одной стороны, и представитель Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, доцент кафедры «Технология строительного производства» Аласханов Арби Хамидович, с другой стороны, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон на основании результатов исследований, проведенных в ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова, при выполнении диссертационной работы Аласханова А.Х. на тему: «ЗЕЛЕНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО НЕКОНДИЦИОННОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ» было осуществлено опытно-промышленное производство монолитной бетонной смеси марки БСТ В40 П5 F100 W8 на РБЗ ООО «СК Чеченстрой» по технологии и рецептуре, предложенных соискателем: двухстадийное перемешивание бетонной смеси с введением жидких добавок во второй стадии перемешивания следующих компонентов: щебень местный фр. 5-20 мм – 998 кг; песок местный с $M_k = 1,8$ – 802 кг; цемент (наполненное вяжущее НВ М600 Д40) – 430 кг; пластификатор «Динамикс ПК» – 1,3 л; замедлитель «Динамикс РС» – 3,0 л; вода – 161 л.

Общее количество опытно-промышленной партии бетонной смеси составило 85 м³.

Полученная подвижность бетонной смеси – 22±2 см по осадке конуса, что соответствует марке П5.

Средняя плотность свежеприготовленной бетонной смеси – 2397 кг/м³.

Сохраняемость бетонной смеси по осадке конуса:

- через 5 мин - 24,0 см
- через 1 час - 24,0 см
- через 2 часа - 23,0 см
- через 3 часа - 21,0 см
- через 4 часа - 18,0 см

- через 5 час - 16,0 см
- через 6 часа - 13,0 см
- через 7 часа - 6,0 см
- через 8 часа - 2,0 см

Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси:

- через 10 мин - 5,1 %
- через 2 часа - 4,2 %
- через 4 часов - 3,8 %

Признаков водоотделения и расслоения бетонной смеси на этапах ее производства, укладки и ухода не обнаружены.

Главный инженер-технолог
РБЗ ООО «СК Чеченстрой»



И.Ш. Хасуев

Доцент каф. «ТСП»
ГГНТУ им. акад.
М.Д. Миллионщикова, к.т.н.



А.Х. Аласханов

Научный руководитель, д.т.н.,
проф. ГГНТУ им. акад.
М.Д. Миллионщикова



С.-А.Ю. Муртазаев

Приложение 15.
**Акт опытно-промышленного производства высококачественной
 бетонной смеси марки БСТ В30 П5 F200 W12**

Общество
с ограниченной
ответственностью
«ГРАД»

Чеченская Республика, г. Грозный,
ул. С.В. Висаитова, д.123

ФГБОУ ВО «Грозненский
государственный нефтяной
технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова»

Чеченская Республика, г. Грозный,
проспект им. Х.А. Исаева, д.100

АКТ № 1 от 14.08.2019 г.

опытно-промышленного производства высококачественной бетонной смеси

Мы, нижеподписавшиеся, директор ООО «ГРАД» Магомадов Иса Адамович, с одной стороны, и доцент кафедры «Технология строительного производства» ГГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, к.т.н. Аласханов Арби Хамидович, с другой стороны, составили настоящий акт о нижеследующем.

В период с 02.08.2019 по 14.08.2019 на РБУ ООО «ГРАД» выпущена опытно-производственная партия бетонной смеси марки БСТ В30 П5 F200 W12 с использованием местных сырьевых компонентов.

Технология и состав бетонной смеси разработаны докторантом и его научным руководителем в рамках выполнения диссертационной работы Аласханова А.Х. на тему «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья».

Количество опытной партии составило 125 м³ бетонной смеси.

Подвижность бетонной смеси по осадке конуса (ОК) составило 22±2 см, что соответствует марке по удобоукладываемости смеси П5.

Бетонная смесь получена с использованием наполненного вяжущего марки НВ-60:40, состоящего из 60 % местного цемента, 38 % – тонкомолотого минерального наполнителя техногенной природы и 2 % - инновационной комплексно-модифицирующей добавки Д-5, рецептура которого предложена соискателем.

Полученная бетонная смесь соответствовала требованиям ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.

Директор ООО «ГРАД»



И.А. Магомадов

Доцент каф. «ТСП»
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова,
к.т.н.

А.Х. Аласханов

Научный руководитель, д.т.н., проф.
ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова

С-А.Ю. Муртазаев

Приложение 16.**Справка о внедрении высококачественных монолитных бетонов****ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ ЧЕЧЕНСТРОЙ"****ЧР, г.Грозный, ул.Ахмеда Арслана Аллауддина, д.7****СПРАВКА****о внедрении высококачественных монолитных бетонов**

В соответствии с планом внедрения новой техники и эффективных технологий производства бетонных работ на объекте строительства торгово-развлекательного центра «Грозный Молл» (по адресу: г.Грозный, пр. Исаева, д. б/н) организацией ООО «СК Чеченстрой» произведено внедрение высококачественных бетонных смесей марок (по ГОСТ 7473-2010) БСТ В40 П5 F100 W8 и БСТ В30 П5 F200 W12, полученных с использованием местных природных и техногенных ресурсов.

Рецептура составов высококачественных бетонов на наполненных вяжущих с использованием отсевов дробления бетонного лома и кирпичного боя разработана Грозненским государственным нефтяным техническим университетом имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ) в рамках выполнения диссертационной работы доцента кафедры «Технология строительного производства» ГГНТУ, к.т.н. Аласханова А.Х.

Монолитная бетонная смесь БСТ В30 П5 F200 W12 применялась при устройстве монолитных колонн на участке захватки № 13 на объекте строительства ТРЦ «Грозный Молл» в период с 02 августа 2019 года по 14 августа 2019 года. Средний объем бетонной смеси, уложенной в конструкцию, составил около 125 м³.

В июне 2019 года при возведении диафрагмы жесткости на относительной отметке +15,900 м. в осях 11-12/Г-Д, также применялась БСТ В40 П5 F100 W8 в объеме 85 м³ бетонной смеси.

Бетонные смеси В30 и В40, внедренные на ТРЦ «Грозный Молл», имели хорошую однородность, высокую сохраняемость (около 5-7 часов) и соответствовали ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.

Производственные испытания высококачественных бетонов на основе техногенного сырья показали эффективность их применения при возведении монолитных конструкций ТРЦ «Грозный Молл».

Заместитель Генерального директора

ООО «СК Чеченстрой»

15.02.2020

С.Б. Центроев



Приложение 17. Документ о качестве бетонной смеси

ДОКУМЕНТ О КАЧЕСТВЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

№ 1 от 14.05.2021

Производитель и поставщик бетонной смеси: ООО "ГРАД", г. Грозный
наименование, адрес, телефон, факс

Потребитель: ООО «Водстрой», г. Гудермес
наименование, адрес, телефон, факс

Вид бетонной смеси и ее условное обозначение	<u>БСТ В60 П4 F600 W20</u>
Номер номинального состава бетонной смеси	<u>3/В60</u>
Объем бетонной смеси в партии, м ³	<u>25</u>
Марка бетонной смеси по удобоукладываемости или значение удобоукладываемости бетонной смеси (по договору на поставку) на месте укладки у потребителя	<u>П4</u>
Другие нормируемые показатели качества на месте укладки у потребителя	
Сохраняемость удобоукладываемости и др. нормируемых показателей, ч-мин	<u>9-00</u>
Наибольшая крупность заполнителя, мм	<u>20</u>
Знак соответствия (если бетонная смесь сертифицирована)	

Проектный класс бетона по прочности и требуемая прочность бетона в партии:

в проектном возрасте	<u>28</u> сут;	<u>В60</u> класс прочности	<u>78,6</u> требуемая прочность
в промежуточном возрасте (при необходимости)	<u>7</u> сут;	<u>≥70 %</u> Пассивный класс по прочности, %	<u>55,0</u> требуемая прочность

Другие нормируемые показатели качества бетона
(при необходимости)

Производитель цемента: Наполненное вяжущее НВ М750 Д20 на основе ПЦ М500 Д0

Наименование, масса добавки (в расчете на сухое вещество), кг/м³

1. Пластификатор "Динамикс ПК", 0,5 кг/м3
2. Замедлитель "Динамикс РС", 1,2 кг/м3

Класс материалов по удельной эффективной активности естественных радионуклидов и значение Аэфф, Бк/кг Не более 370

Лаборант
должность


подпись

А.Ш. Джандаров
ФИО

Приложение 18.
Акт апробации опытной партии высококачественного бетона в
промышленных условиях



УТВЕРЖДАЮ
 Руководитель
 ООО «Водострой»
 А.М. Атаев
 «20» июня 2021 г.

АКТ
апробации опытной партии высококачественного бетона в промышленных
условиях

Мы, нижеподписавшиеся, руководитель ООО «Водострой» Атаев Ахмад Магомедович, с одной стороны, и представитель Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, доцент кафедры «Технология строительного производства» Аласханов Арби Хамидович, с другой стороны, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон, были опробованы результаты исследований по теме докторской диссертации Аласханова А.Х. на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья», выполненных на базе ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова. С этой целью была проведена апробация опытной партии высокопрочного бетона марки БСТ В60 П4 F600 W20, предназначенного для строительства монолитной конструкции водораспределительного узла на объекте «Реконструкция Аргунского гидроузла (с. Чири-Юрт)».

Внедрение проводилось на указанном объекте в период с 14 по 15 мая 2021 года.

Предложенный соискателем состав включал в себя следующие компоненты: щебень местный фр. 5-20 мм – 1000 кг; песок местный с Мк = 1,8 – 685 кг; цемент (наполненное вяжущее НВ М750 Д20) – 600 кг; пластификатор «Динамикс ПК» – 1,8 л; замедлитель «Динамикс РС» – 4,3 л; вода – 165 л.

Общее количество уложенной партии бетонной смеси составило около 25 м³.

Полученная подвижность бетонной смеси – 18±2 см по осадке конуса, что соответствует марке П4.

После 28 суток твердения проверке подверглись физико-механические свойства исследуемого бетона. В результате неразрушающего контроля качества бетона было установлено, что заданные показатели качества бетона соответствуют требованиям, предъявляемым к бетону класса В60.

Явление ползучести, усадочные деформации, трещины и другие дефекты на поверхности обследуемых конструкций не наблюдались.

Руководитель ООО «Водострой»

Доцент каф. «ТСП», ГГНТУ, к.т.н.

Научный руководитель, д.т.н., проф. ГГНТУ



А.М. Атаев

А.Х. Аласханов

С-А.Ю. Мургазаев

Приложение 19.
Справка о внедрении строительных растворов
на основе техногенного сырья

СПРАВКА

В соответствии с планом внедрения новой техники и эффективных технологий производства на предприятии ООО «Успех» внедрена технология производства строительных растворов на местных песках, портландцементе и комплексной модифицированной добавке, полученной механохимической активацией золошлаковых смесей из отвалов ТЭЦ г. Грозного.

Технология разработана Грозненским государственным нефтяным техническим университетом имени академика М. Д. Миллионщикова на базе диссертационной работы доцента кафедры «Технология строительного производства» Аласханова Арби Хамидовича (научный руководитель - д.т.н., профессор Муртазаев С-А.Ю.).

Для промышленного внедрения результатов диссертационной работы соискателя были получены в производственных условиях составы строительных растворов на мелких песках и отсевах дробления бетонного лома (для обогащения) с комплексной модифицирующей добавкой (КМД) на основе золошлаковых смесей, обеспечивающей получение растворов с маркой М150 и М100, которые были внедрены предприятием ООО «Успех» на объектах строительства жилых и общественных зданий в ходе отделочных (штукатурных) и кладочных работ.

Производственные испытания строительных растворов с КМД, полученной механохимической активацией золошлаковых смесей, показали, что по всем параметрам наиболее эффективным составом является предлагаемый разработчиками состав, который содержит добавку КМД в количестве 3% при расходах цемента 400-450 кг. При этом прочностные характеристики, технологические свойства, параметры микротрещинообразования и трещиностойкость идентичны стандартному составу, содержащему 614 кг цемента и суперпластификатора С-3 - 4 кг на 1 м³.

Выпуск строительного раствора предлагаемого состава с начала внедрения технологии его изготовления составил 310 м³, в т.ч. 60 м³ – для отделочных работ, 250 м³ – для каменной кладки кирпича. Экономический эффект от внедрения составил более 200 рублей на 1 м³ раствора.

Заместитель Генерального
директора ООО «Успех»
«22» июля 2021 г.



Курманов Р. Р.

Приложение 20.
Акт выпуска и внедрения опытно-промышленной партии
мелкоштучных элементов мощения из мелкозернистого бетона на основе
техногенного сырья



УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор
 ООО «Строй Групп»

Р.П. Кадаев
 Кадаев Р.П.

АКТ

выпуска и внедрения опытно-промышленной партии мелкоштучных элементов
мощения из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО «СТРОЙГРУПП» Кадаев Р.П., с одной стороны, и представитель Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, доцент кафедры «Технология строительного производства» Аласханов А.Х., с другой стороны, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон на основании результатов исследования, проведенных в ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, при выполнении диссертационной работы Аласханов А.Х. на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья» в промышленных условиях была апробирована опытная партия прессованной цементобетонной плитки из мелкозернистого бетона с применением мелкого заполнителя из отсевов дробления бетонного лома. Состав бетона для производства выше обозначенных элементов мощения разработан соискателем.

Производство опытной партии прессованной брусчатки на предприятии ООО «Строй Групп» выполнено на технологической линии в пресс-формах с давлением прессования около 30 МПа. Жесткость бетонной смеси составляла 60-80 секунд. Распалубочная прочность прессованных изделий составляла не менее 1,0-1,2 МПа, что позволяло осуществлять их бездефектное пакетирование. Изделия подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) в специальной камере с гидроизоляцией, влажность в камере – 95 %, а температура – не менее 60 °С. Продолжительность ТВО - 12 часов. ТВО позволило добиться 75 % прочности цементобетонных изделий после 12 часов пропарки.

Прессованная цементобетонная плитка внедрена при благоустройстве внутренней дворовой территории ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, где в период с 03.04.2021 по 08.04.2021 г. выложены дорожки площадью более 500 м².

Обследование эксплуатируемого опытного участка тротуара в октябре 2021 года показало, что видимых изменений не обнаружено, дорожное покрытие находится в хорошем состоянии.

Экономический эффект от внедрения технологии мелкозернистых бетонов на основе отсевов дробления бетонного лома составил более 520 рублей на 1 м³ бетона.

Генеральный директор ООО «СТРОЙ ГРУПП» *Р.П. Кадаев* Р.П. Кадаев

«28» октября 2021 г.

Доцент каф. «ТСП», к.т.н.

А.Х. Аласханов

А.Х. Аласханов

Приложение 21.
Протокол о намерениях внедрения результатов
между ГГНТУ и ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ»


 УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор ООО
 «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ»
 Умаров И.Ш.
 24 ноября 2021 г.

Протокол о намерениях
 внедрения результатов диссертационной работы на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья» между кафедрой «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова) и производственным предприятием ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ»

Кафедра «Технология строительного производства» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (Кафедра «ТСП» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова), представляемая д-ром техн. наук, проф. Муртазаевым Сайд-Альви Юсуповичем и докторантом Аласхановым Арби Хамидовичем, и ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ», г. Грозный, представляемое директором Умаровым Ибрагимом Шараниевичем, называемые далее "Сторонами", настоящим выражают готовность к сотрудничеству.

Пункт 1: Предмет соглашения

Настоящий протокол о намерениях внедрения результатов диссертационной работы докторанта Аласханова А.Х. на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья» заключается на основании взаимных интересов, с целью расширения номенклатуры производимой на базе ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ» продукции.

Стороны пришли, к соглашению о сотрудничестве, основанном на взаимном уважении к автономии каждой из сторон, в соответствии с законами и постановлениями каждой страны, и принимая во внимание имеющиеся ресурсы каждой из сторон. Кафедра «ТСП» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова и ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ» согласились должным образом учитывать административные и образовательные потребности друг друга.

Пункт 2: Обязанности сторон

Кафедра «ТСП» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова и ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ» согласились подписать настоящее соглашение в следующих областях, представляющих взаимную заинтересованность:

2.1. Кафедра «ТСП» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова обязуется разработать составы, режимы и технологический регламент на производство зеленых композитов на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья, включая высокопрочные бетоны, легкие керамокомпозиты, строительные растворы, а также внести необходимые корректировки после апробации полученных результатов в промышленных условиях.

2.2. ООО «МЕГАСТРОЙИНВЕСТ» обязуется провести апробацию полученных исследований в промышленных условиях.

Пункт 3: Порядок взаимодействия между сторонами

3.1. После подписания настоящего протокола, обе стороны назначают постоянных полномочных представителей, которые координируют процесс сотрудничества и создают благоприятные условия для совместной работы.

3.2. Поправки и изменения, вносимые в настоящее соглашение действительны только в случае, если они представлены в письменной форме и подписаны обеими сторонами. Ни одна из сторон не вправе передавать свои права и обязанности третьей стороне без письменного согласия другой стороны.

3.3. В случае возникновения споров или разногласий обе стороны должны принять все меры для их разрешения путем переговоров, избегая решения этих разногласий в суде.

Пункт 4: Сроки действия соглашения

4.1. Данное соглашение вступает в силу с момента его подписания.

4.2. Каждая из сторон может расторгнуть соглашение в одностороннем порядке, предоставив другой стороне письменное уведомление в течение 30 (тридцати) дней с указанием причин расторжения настоящего соглашения.

Пункт 5: Другие положения


5.1. Специальные мероприятия, предпринимаемые в рамках сотрудничества согласно данному соглашению, отдельные этапы, время и условия финансирования определяются сторонами на основании дополнительных соглашений.

5.2. Настоящее соглашение заключается в двух экземплярах, по одному экземпляру для каждой из сторон; каждый экземпляр имеет одинаковую законную силу.

6. Юридические адреса и подписи сторон:

Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова), каф.
«ТСП» 364051, пр. Х. Исаева, 100,
г. Грозный,
Тел.: 8 (8712) 22-36-07,
Элект. почта: umoggni@yandex.ru

Д-р техн. наук, проф.

 Муртазаев С.-А.Ю.


докторант

 Аласханов А.Х.

Общество с ограниченной
ответственностью
"МЕГАСТРОЙИНВЕСТ"
(ООО Мегастройинвест)

364063, Чеченская Республика,
г. Грозный, ул. Боевая, д. 23, кв. 2

Генеральный
директор

 Умаров И.Ш.

Приложение 22.
Протокол о намерениях внедрения результатов
между ГГНТУ и ООО «Строй Групп»



УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор
 ООО «Строй Групп»

[Signature] Кадаев Р.П.
 «07» декабря 2021 г.

Протокол о намерениях
внедрения результатов диссертационной работы на тему: «Зеленые композиты на
основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного
сырья» между Грозненским государственным нефтяным техническим
университетом имени академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ им. акад. М.Д.
Миллионщикова) и производственным предприятием ООО «Строй Групп»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова" (далее - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова), представляемая зав. кафедрой «Технология строительного производства», д-ром техн. наук, проф. Муртазаевым Сайд-Альви Юсуповичем и докторантом Аласхановым Арби Хамидовичем, и Общество с ограниченной ответственностью «Строй Групп» (далее – ООО «Строй Групп»), представляемое директором Кадаевым Русланом Павловичем, называемые далее "Сторонами", настоящим выражают готовность к сотрудничеству.

1. Предмет соглашения

Настоящий протокол о намерениях внедрения результатов диссертационной работы докторанта Аласханова А.Х. на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья» заключается на основании взаимных интересов, с целью расширения номенклатуры производимой на базе ООО «Строй Групп» продукции.

Стороны пришли, к соглашению о сотрудничестве, основанном на взаимном уважении к автономии каждой из сторон, в соответствии с законами и постановлениями каждой страны, и принимая во внимание имеющиеся ресурсы каждой из сторон. ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова и ООО «Строй Групп» согласились должным образом учитывать административные и образовательные потребности друг друга.

2. Обязанности сторон

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова и ООО «Строй Групп» согласились подписать настоящее соглашение в следующих областях, представляющих взаимную заинтересованность:

2.1. ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова обязуется разработать составы, режимы и технологический регламент на производство мелкозернистых бетонов на основе наполненных вяжущих и вторичных заполнителей из техногенного сырья, а также внести необходимые корректировки после апробации полученных результатов в промышленных условиях.

2.2. ООО «Строй Групп» обязуется провести апробацию полученных исследований в промышленных условиях.

3. Порядок взаимодействия между сторонами

3.1. После подписания настоящего протокола, обе стороны назначают постоянных полномочных представителей, которые координируют процесс сотрудничества и создают

благоприятные условия для совместной работы.

3.2. Поправки и изменения, вносимые в настоящее соглашение действительны только в случае, если они представлены в письменной форме и подписаны обеими сторонами. Ни одна из сторон не вправе передавать свои права и обязанности третьей стороне без письменного согласия другой стороны.

3.3. В случае возникновения споров или разногласий обе стороны должны принять все меры для их разрешения путем переговоров, избегая решения этих разногласий в суде.

4. Сроки действия соглашения

4.1. Данное соглашение вступает в силу с момента его подписания.

4.2. Каждая из сторон может расторгнуть соглашение в одностороннем порядке, предоставив другой стороне письменное уведомление в течение 30 (тридцати) дней с указанием причин расторжения настоящего соглашения.

5. Другие положения

5.1. Специальные мероприятия, предпринимаемые в рамках сотрудничества согласно данному соглашению, отдельные этапы, время и условия финансирования определяются сторонами на основании дополнительных соглашений.

5.2. Настоящее соглашение заключается в двух экземплярах, по одному экземпляру для каждой из сторон; каждый экземпляр имеет одинаковую законную силу.

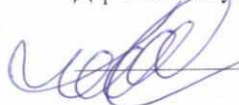
6. Юридические адреса и подписи сторон:

Грозненский государственный нефтяной
технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова), каф.
«ТСП» 364051, пр. Х. Исаева, 100,
г. Грозный,
Тел.: 8 (8712) 22-36-07,
Элект. почта: umoggni@yandex.ru

Общество с ограниченной
ответственностью
"Строй Групп"
(ООО «Строй Групп»)

364015, Чеченская Республика, город
Грозный, Мельничная улица, 1
Элект. почта:
rus1962@yandex.ru

Д-р техн. наук, проф.

 Муртазаев С.-А.Ю.
докторант

 Аласханов А.Х.

Генеральный
директор

 Кадаев Р.П.

Приложение 23.**Протокол внедрения результатов работы в учебный процесс****УТВЕРЖДАЮ:**

Первый проректор –
 проректор по учебной работе
 ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова
 д.т.н., проф. И.Г. Гайрабеков
 «04» ноября 2021 г.

**Протокол**

**внедрения результатов диссертационной работы докторанта
 Аласханова А.Х. на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного
 использования природного некондиционного и техногенного сырья»
 в учебный процесс**

Мы, нижеподписавшиеся, Первый проректор – проректор по учебной работе Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (далее - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова), д.т.н., проф. Гайрабеков Ибрагим Геланиевич, заведующий кафедрой «Технология строительного производства», д.т.н., проф. Муртазаев Сайд-Альви Юсупович, директор Института строительства, архитектуры и дизайна (ИСАиД) ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, к.т.н., доцент Алиев Саламбек Алимбекович и соикатель, к.т.н., доцент Аласханов Арби Хамидович, составили настоящий протокол о нижеследующем.

Теоретические положения результатов диссертационной работы докторанта Аласханова А.Х. на тему: «Зеленые композиты на основе комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья», используются в учебном процессе при подготовке студентов бакалавриата направление 08.03.01 – Строительство, по профилю «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», студентов магистратуры направление 08.04.01 – Строительство, по профилю «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», что отражено в рабочих программах дисциплин «Вязущие вещества», «Композиционные строительные материалы», «Технология бетона, строительных материалов, изделий и конструкций», «Технология высокофункциональных бетонов», «Проектирование технологий строительных материалов и изделий».

В рамках дисциплин «Вязущие вещества», «Технология бетона, строительных материалов, изделий и конструкций», «Композитные строительные материалы» для направленности 08.03.01 – Строительство, профиля: Производство строительных материалов, изделий и конструкций, для направленности 08.04.01 – Строительство, профиля: Технология строительных материалов, изделий и конструкций, «Проектирование технологий строительных материалов, изделий и конструкций» разработаны курсы лекционных занятий.

Тип внедрения – изменения в существующие дисциплины в виде новых лекционных занятий, которые на начало 2020-2021 учебного года утверждены. В

соответствующие рабочие программы следующих дисциплин включены:

- «Вяжущие вещества» – лекция «Особенности формирования структуры и свойств цементного камня с использованием наполненных вяжущих» (4 часа);
- «Композитные строительные материалы» – лекция «Строительные композиты на основе отходов разборки зданий и сооружений» (2 часа);
- «Технология бетона, строительных материалов, изделий и конструкций» – лекция «Технология получения бетонных композитов на основе вторичного сырья» (4 часа, магистратура);
- «Проектирование технологий строительных материалов, изделий и конструкций» – лекция «Моделирование технологий и подбор рецептур строительных композитов на вяжущих низкой водопотребности» (4 часа);
- «Технология высокофункциональных бетонов» – лекция «Высококачественные бетоны на основе техногенного сырья» (2 часа, магистратура).

Перед внедрением в учебный процесс был подготовлен научно-методический материал, который прошел апробацию на лекциях соответствующих дисциплин в течение весеннего семестра 2019/2020 учебного года. Результаты апробации были доложены на Ученом Совете ИСАиД ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, где было принято решение о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс (Протокол №12 от 08.06.2020 г.).

Заведующий кафедрой «Технология
строительного производства»,
д.т.н., проф.

Директор ИСАиД, к.т.н., доцент

Соискатель, к.т.н., доцент

С-А. Ю. Муртазаев

С.А. Алиев

А.Х. Аласханов

Приложение 24.

Акт о выпуске опытной партии малых архитектурных форм (МАФ)

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ВНЕШТОРГСЕРВИС"

366506, ЧЕЧЕНСКАЯ РЕСПУБЛИКА, РАЙОН УРУС-МАРТАНОВСКИЙ,
СЕЛО МАРТАН-ЧУ, ул. И.Д.Янгульбаева, 40

АКТ

о выпуске опытной партии малых архитектурных форм (МАФ) из мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем на основе техногенного сырья в промышленных условиях

Мы, нижеподписавшиеся, Генеральный директор ООО "ВНЕШТОРГСЕРВИС" Духаев Магомед Хас-Магометович и представители кафедры технологии строительного производства Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова - д-р. техн. наук, профессор Муртазасв Сайд-Альви Юсупович, канд. техн. наук Аласханов Арби Хамидович, составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон на основании результатов исследований, проведенных в Грозненском государственном нефтяном техническом университете имени академика М.Д. Миллионщикова при выполнении диссертационной работы Аласханова А.Х., направленной на решение проблемы комплексного использования природного некондиционного и техногенного сырья в строительном производстве, в период с 20.02.2021 по 18.03.2021 выпущена опытная партия малых архитектурных форм (МАФ) из мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем на основе техногенного сырья в промышленных условиях в следующих объемах:

№ п/п	Наименование МАФ	Кол-во в партии, шт.	Объем бетонной смеси, м ³	Вид бетона	Класс бетона	Примечание
1	Урна уличная круглая	65	1,9	Тяжелый, мелкозернистый	В30	
2	Скамьи парковые (с бетонным основанием)	35	15,5	То же	В30	
3	Горшок цветочный уличный	80	1,2	То же	В30	
	ИТОГО		18,6			

Состав бетона, полученного с комплексным использованием техногенного сырья, на 1 м³ составил: наполненное вяжущее марки НВ М600 Д40 – 470 кг, отсев дробления бетонного лома – 1680 кг, вода затворения – 165 л., гиперпластификатор Линамикс ПК 1,4 л (0,3 % от массы НВ).

Плотность бетонной смеси составила около 2315 кг/м³. Краситель для

декоративности изделий на 1 этапе не применялся.

Общий объем бетона выпущенной партии МАФ составил около 20 м³.

Характеристика бетонной смеси опытной партии:

- однородная и слитная структура без седиментационных явлений;
- жесткая консистенция ($J=50-80$ с.), что соответствует требованиям полусухого прессования;
- признаков водоотделения и расслоения бетонной смеси на этапах ее производства, укладки, вибропрессования и ухода не наблюдалось.

Отформованные изделия имели ровную, гладкую поверхность без признаков усадки и микротрещинообразования.

Последующее обследование изготовленных элементов МАФ показало, что их прочность на сжатие в возрасте более 28 сут. составило 43-45 МПа, что соответствует классу В30, морозостойкость – F200, водонепроницаемость – выше W10 (Протокол испытаний № 22/1 от 02.07.2021). После 3-х месяцев эксплуатации изготовленных МАФ в улично-парковых условиях заметные дефекты (высолы, трещины, усадка и пр.) на их поверхности не наблюдалось.

Экономический эффект от производства МАФ из мелкозернистого бетона с применением техногенного сырья в виде отсевов дробления бетонного лома в качестве заполнителя и активной минеральной добавки в составе композиционного вяжущего НВ М600 Д40 в промышленных условиях, составил около 265 руб. на 1 м³ бетонной смеси. Экономический эффект при этом достигнут за счет применения технологии полусухого прессования, позволяющей использовать жесткие бетонные смеси, а также за счет введения в состав вторичного заполнителя и наполнителя из дешевого и доступного техногенного сырья в виде отходов разборки зданий и сооружений.

Заключение. На основании выше изложенного можно рекомендовать разработанные на кафедре технологии строительного производства ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова рецептуры бетонных смесей на основе техногенного сырья для массового производства художественно-декоративных элементов МАФ.

Генеральный директор



М.Х-М. Духаев

Представители ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова
Научный руководитель,
д-р. техн. наук, профессор

С-А.Ю. Муртазаев

Соискатель, канд. техн. наук, доцент

А.Х. Аласханов

Приложение 25.

Справка о внедрении полифункциональных строительных композитов гидратационного твердения на основе техногенного сырья



ООО «ДИКА-СТРОЙПРОЕКТ»

Адрес: 364024, Чеченская Республика, город Грозный, улица Дэги
Имрановича Багаева, дом 17А, помещение 1
ИНН/КПП 2015044068/201601001
Эл. адрес: dika-9571@mail.ru

чек № 3 от 28.01.23

СПРАВКА

о внедрении полифункциональных строительных композитов гидратационного твердения на основе техногенного сырья на объектах ООО «Дика-стройпроект»

ООО «Дика-стройпроект» - известный застройщик в Чеченской Республике с многолетним опытом работы на рынке строительства: «ЖК Молодежный», «ЖК по Узуева», «ЖК Grozny Towers» - вот неполный перечень успешно реализованных и реализуемых им в последние годы проектов.

В процессе строительства комплекса многоэтажных жилых зданий «Grozny Towers» со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом, возводимого с IV квартала 2020 года (окончание – IV квартал 2023 г.) в г.Грозный по ул. Шейха Али Митаева, б/н, компанией ООО «Дика-стройпроект» используются современные полифункциональные строительные композиты гидратационного твердения, получаемые на основе комплексного использования техногенного сырья, а именно:

- высококачественные и высокопрочные монолитные бетоны различных классов по прочности на сжатие, в т.ч. водонепроницаемые составы тяжелых бетонов для устройства подземных частей зданий и сооружений;

- строительные растворы на основе комплексной модифицирующей добавки для каменной кладки при заполнении проемов и внутренних отделочных работ, включая сухие строительные смеси различного назначения.

Указанные композиты разработаны кандидатом технических наук, доцентом Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова (далее – ГГНТУ) Аласхановым Арби Хамидовичем в рамках работы над докторской диссертацией, посвященной решению проблем повышения эффективности строительных материалов и комплексной утилизации техногенного сырья.

Высококачественные монолитные бетонные смеси марок БСТ В60 П5 F600 W20, БСТ В40 П5 F200 W8 и БСТ В30 П5 F200 W6 согласно ГОСТ 7473-2010 и другие композиционные материалы, предложенные соискателем, применялись для различных конструктивных элементов возводимых зданий.

Бетонные смеси и строительные растворы, применяемые на объекте строительства, имеют хорошую однородность, высокую сохраняемость (около

3-9 часов в зависимости от вида композита) и соответствуют ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия и ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия.

Внедрению выше представленных строительных композитов на основе техногенного сырья позволило получить значительный экономический эффект, который составил 330, 358 и 754 рублей за 1 м³ бетона класса В30, В40 и В60 соответственно, а применение составов строительных растворов марок М150 и М100 позволили рассчитать экономию денежных средств в размере 215-236 рублей за 1 м³ растворной смеси соответственно.

Экономический эффект от использования бетонных композитов на основе техногенного сырья, предложенных А.Х.Аласхановым и используемых при возведении объекта «Строительство комплекса многоэтажных жилых зданий «Grozny Towers» со встроенными нежилыми помещениями и подземным паркингом, г.Грозный, ул. Шейха Али Митаева, б/н» на конец 2022 года составил - 2 681 000 рублей.

Директор
ООО «Дика-стройпроект»

A circular blue stamp of the company is visible, containing the text "ООО «ДИКА-СТРОЙПРОЕКТ»" and "ИНН 2707083893". Overlaid on the stamp is a handwritten signature in blue ink.

В. Я. Тураев