

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

На правах рукописи

Рыжов Антон Дмитриевич

**Самоочищающиеся известковые покрытия с применением добавки
на основе аморфных алюмосиликатов**

2.1.5. Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Логанина Валентина Ивановна

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1 Роль сухих строительных смесей в современном строительстве	10
1.2 Причины разрушения отделочного слоя стен зданий	16
1.3 Самоочищающиеся покрытия на основе сухих строительных смесей	23
Глава 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	29
2.1 Характеристика материалов	29
2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов	34
2.3 Методика оценки гидрофизических и физико-механических свойств компонентов, отделочных составов и покрытий на их основе.....	35
2.4 Прочие методы исследований.....	40
2.5 Статистическая обработка результатов испытаний	44
Глава 3 СВОЙСТВА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АМОΡФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ	46
3.1 Закономерности синтеза добавки на основе аморфного алюминия	46
3.2 Свойства добавки на основе аморфных алюмосиликатов	55
3.3 Разработка фотокатализатора на основе оксида цинка с применением алюмосиликатной добавки	59
3.4 Оценка энергетических свойств поверхности фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтезируемых алюмосиликатах	68
Выводы по главе 3	70
Глава 4 СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ АМОΡФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ	72
4.1 Закономерности структурообразования известковых составов с применением добавки на основе оксида цинка, иммобилизованного на	

синтетических алюмосиликатах	72
4.2 Влияние наполнителя на прочностные характеристики известковых составов с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов	77
4.3 Влияние добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, на реологические и технологические свойства известковых смесей	80
Выводы по главе 4	90
Глава 5 ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ОТДЕЛОЧНОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ	92
5.1 Фотокаталитические свойства известковых покрытий с добавкой на основе синтетических алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO	92
5.2 Трещиностойкость покрытий на основе разрабатываемого состава	100
5.3 Прочность сцепления с подложкой покрытий на основе разрабатываемого состава	104
5.4 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов....	110
5.5 Оценка тепловлажностного состояния ограждающих конструкций при наличии отделочного слоя на основе разрабатываемого состава	112
5.6 Оценка морозостойкости отделочного состава.....	120
5.7 Техничко-экономические показатели и технологическая схема производства известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	124
Выводы по главе 5	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	137
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акт опытно-производственного апробирования.....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Проект СТО. Самоочищающиеся известковые покрытия с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия.....	170

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. Декоративная поверхность фасадов зданий подвержена загрязнению вследствие негативного воздействия окружающей среды. Применение отделочных материалов, обладающих способностью к самоочищению, находит все большее распространение. Наличие свойства самоочищения у штукатурных покрытий позволяет им реализовывать не только декоративно-защитную роль, но и способствовать достижению экономической выгоды. Данный эффект возникает за счет значительного снижения эксплуатационных расходов, связанных с обслуживанием фасадных конструкций и поддержанием их внешней чистоты. Для повышения эффективности самоочищения покрытий в научно-технической литературе предложено применение в рецептуре фотокатализаторов, полученных путем осаждения их частиц на инертные носители.

Представляет интерес исследование возможности применения синтетических цеолитов в качестве носителей при получении фотокатализатора на основе оксида цинка. Применение фотокатализаторов, иммобилизованных на синтетические цеолиты, в рецептуре известковых сухих строительных смесей позволяет улучшить эксплуатационные свойства получаемого покрытия вследствие его способности к самоочищению, а также химического взаимодействия алюмосиликатов с известью с образованием дополнительных продуктов, способствующих увеличению прочности, водостойкости, стойкости к внешним воздействиям. В связи с этим задача разработки самоочищающихся известковых покрытий с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов является весьма актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Проблематика создания сухих строительных смесей является предметом активного изучения в трудах как российских, так и зарубежных исследователей. В рамках настоящей работы был осуществлен комплексный анализ источников, включая нормативно-справочную базу, а также отечественную и международную патентную и научно-техническую литературу.

подавляющая часть научных изысканий в области создания фотокаталитических материалов сконцентрирована на решении ключевой задачи — оптимизация их способности к самоочищению.

Однако, малоизученными, но актуальными, являются вопросы применения в качестве носителей фотокатализаторов синтетических алюмосиликатов. Так же актуальным является исследование влияния фотокаталитических добавок на эксплуатационные характеристики известковых отделочных покрытий.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение известковых самоочищающихся покрытий фасадов зданий. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать и экспериментально подтвердить применение оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах, в качестве добавки фотокаталитического и структурирующего действия в рецептуре известковых сухих строительных смесей;

- обосновать эффективность применения в составе штукатурных сухих смесей аморфных алюмосиликатов как носителей фотокатализатора оксида цинка;

- выявить закономерности формирования структуры известкового композита при введении модифицирующей добавки оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах;

- оценить самоочищающиеся свойства известковых покрытий;

- разработать рецептуру отделочного состава, содержащую добавку оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах, и установить технологические и эксплуатационные параметры формируемого на ее основе покрытия;

- разработать пакет нормативно-технической документации, регламентирующий промышленное внедрение разработанного отделочного состава на основе известкового вяжущего с применением добавки оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах.

Научная новизна работы. Результат исследования заключается в разработке и обосновании технологии, позволяющей получать известковые штукатурные смеси с эффектом самоочищения, заключающейся в применении в рецептуре фотокатализатора на основе оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах. Выявлено уменьшение оптической ширины запрещенной зоны оксида цинка в присутствии синтезированного алюмосиликата до 2,7–2,9 эВ в зависимости от технологии получения фотокатализатора.

Выявлены закономерности влияния композитного фотокатализатора на основе оксида цинка, иммобилизованного на аморфных алюмосиликатах на реологические и структурные характеристики известковых штукатурных систем. Установлено, что использование синтезируемой добавки приводит к интенсификации процессов гидратации, что проявляется в увеличении доли химически связанной извести (до 68,59 %) и активном образовании вторичных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

Экспериментально подтверждено влияние введения добавки оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах, на кинетику отверждения известковых покрытий. Определена оптимальная массовая доля добавки, составляющая 10% от массы вяжущего. Предложена модель процесса твердения модифицированных известковых растворов, описывающая синергетический эффект от введения добавки оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах.

Теоретическая и практическая значимость работы. Дополнены теоретические представления о методах создания фотокаталитически активной поверхности известковых самоочищающихся покрытий при введении в состав штукатурных смесей оксида цинка, иммобилизованного на синтетическом цеолите. Обоснована эффективность использования синтетических алюмосиликатов в качестве носителя оксида цинка. Доказана возможность направленного воздействия на процессы структурообразования известковых отделочных растворов за счет введения добавок оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах, способствующих повышению прочности,

снижению количества свободной известии, что позволяет проектировать строительные растворы с заданными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

Разработан состав сухой известковой смеси, предназначенный для отделочных работ, и содержащий известь-пушонку, перлитовый песок марки М150, белый цемент, добавку оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах, пластификатор Melflux 1641F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор Zincum-5.

Отделочный слой на основе разработанной смеси обладает свойствами самоочищения и характеризуется следующими показателями: адгезионная прочность $R_{адг} = (0,38 \pm 0,02)$ МПа, когезионная прочность $R_{ког} = (0,39 \pm 0,03)$ МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,18$ мг/(м·ч·Па), коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,179$ Вт/(м²·°С), коэффициент размягчения $K_p = 0,78$, прочность при сжатии $R_{сж} = (4,75 \pm 0,04)$ МПа.

Разработаны технологическая схема производства известковой сухой строительной смеси и проект стандарта организации СТО «Самоочищающиеся известковые покрытия с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия».

Методология и методы диссертационного исследования. Методологическую основу диссертационного исследования составляют фундаментальные принципы научного познания, включая системный подход, сравнительный анализ и установление причинно-следственных связей между явлениями.

В процессе работы применялся комплексный методический подход, включающий в себя: современные методы физико-химического анализа (рентгенофазовый, дифференциально-термический), инструментальную микроскопию, механические испытания материалов, статистические методы верификации экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- научно-теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение технологического решения, обеспечивающее получение самоочищающихся известковых покрытий;

- результаты исследований процессов структурообразования известковых композитов с применением в рецептуре добавки оксида цинка, иммобилизованного на синтезированные алюмосиликаты;

- состав и технология получения самоочищающихся известковых покрытий с применением фотокатализатора оксида цинка, полученного путем осаждения его частиц на синтезированные алюмосиликаты; -убрать

- закономерности влияния рецептурно-технологических факторов на реологические, технологические свойства известковых составов и физико-механические свойств покрытий на их основе;

- рецептура и технологические параметры производства сухой известковой строительной смеси с применением фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на аморфных алюмосиликатах, покрытия на основе которой обладают фотокаталитическими свойствами. Результаты апробации. Полученные на основе данной рецептуры покрытия обладают фотокаталитическими свойствами, обеспечивающими эффект самоочищения.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность полученных результатов исследований основана на согласованности данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов и их последующей промышленной апробации, применении сертифицированного оборудования, прошедшего метрологическую аттестацию, а также использовании статистических методов обработки экспериментальных данных.

Внедрение результатов исследований. Промышленные испытания и внедрение разработанной технологии были успешно проведены на производственной базе предприятия ООО РСУ «Спецработ» (г. Пенза). Результаты апробации подтвердили эффективность и технологическую реализуемость предложенных решений в условиях реального производства.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 14 научных работ опубликовано в журналах, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», 6 работы опубликованы в сборниках трудов конференций, индексируемых в международной реферативной базе данных и системе цитирования Scopus. Техническая новизна решений подтверждена патентом РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 194 наименований, двух приложений (изложены на 24 страницах). Диссертация изложена на 186 страницах машинописного текста и содержит 37 рисунков, 49 таблиц.

Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Роль сухих строительных смесей в современном строительстве

Реализация государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» предполагает масштабное строительство жилых зданий и сопутствующей инфраструктуры [39, 88]. Успешное выполнение данной программы потребует обеспечения строительного комплекса значительными объемами высокоэффективных материалов, соответствующих современным требованиям к качеству, ассортименту, энергосбережению, экологической безопасности и другим параметрам, гармонизированным с нормативными стандартами Европейского Союза [81, 126, 127].

Сухие строительные смеси (ССС) занимают одну из ключевых позиций в перечне современных строительных материалов [15, 99, 115, 119]. ССС демонстрируют значительные технико-экономические преимущества, определяющие их широкое применение. Качественные и функциональные характеристики ССС оказывают непосредственное влияние на архитектурно-эстетические аспекты градостроительной среды, уровень комфорта жилых помещений, а также на оптимизацию потребления топливно-энергетических ресурсов [61, 63, 64].

В настоящее время в мире выпускается широкая номенклатура сухих смесей для различных видов строительных работ [111].

Российский рынок сухих строительных смесей характеризуется высокой степенью концентрации: при общем количестве производителей 250–300 компаний, 80% рыночного объема контролируется двадцатью крупнейшими из них. Ключевыми игроками, определяющими отраслевые тенденции, выступают как отечественные, так и международные корпорации, значительно повысившие за последнее десятилетие стандарты качества и эффективности маркетинговых стратегий. В число лидеров рынка входят: Vetonit, «Церизит», «Основит»,

«КРЕПС», «TERTA», «Quick-mix», ГК «Кнауф», «Юнис», «Kesto», «Kiilto», «Perel», «Волма», «Старатели», «Хенкель» и «Цементум». [112].

Динамика выпуска сухих строительных смесей (ССС) характеризуется умеренными, но стабильными темпами роста с ежегодным приростом в диапазоне 7–13 %. При этом наблюдалась разнонаправленная динамика как среди крупнейших производителей, так и в разрезе основных товарных групп. Знаковым изменением стала зафиксированная впервые за несколько лет тенденция, когда объем производства смесей на гипсовой основе продемонстрировал более значительный рост по сравнению с цементными смесями. [112]. В 2019–2023 г.г. продажи сухих строительных смесей в России росли ежегодно и за период увеличились на 47,0 %: с 10,6 до 15,6 млн т. Пик прироста продаж смесей пришелся на 2020–2021 г.г. – 17,0 % и 14,2 % относительно предыдущих лет соответственно [17 – 19, 26].

Таблица 1.1– Продажи ССС в России в 2019–2023 г.г. (тыс. т)

Параметр	2019	2020	2021	2022	2023
Продажи (тыс. т)	10 589,4	12 389,6	14 143,7	14 364,0	15 570,6
Динамика (% к предыдущему году)	–	17,0	14,2	1,6	8,4

На фоне среднероссийских темпов роста в Москве и Санкт-Петербурге выделялась положительная динамика рынков Урала, областей ЦФО (исключая столицу) и Приволжского федерального округа.

В 2022 г. рост продаж сухих строительных смесей замедлился, за год объем продаж вырос всего на 1,6 % относительно 2021 г. Наибольшее опасение вызывал возможный уход с рынка зарубежных компаний – Henkel, Holcim, Knauf, Saint-Gobain и других. Henkel действительно объявила об уходе, однако не закрыла российское подразделение, а выделила его с 1 января 2023 г. в самостоятельную компанию под брендом Lab Industries. Holcim поступила аналогично – с февраля 2023 г. российское подразделение перешло под бренд «Цементум», а все активы

были переданы местному менеджменту. Остальные иностранные концерны продолжили работу без существенных изменений.

Сохранению спроса на строительные смеси, как и на остальную продукцию строительного сектора, способствовали высокие темпы жилищного строительства, а также возведение конструкций военного назначения в приграничных и новых регионах страны. В итоге на замедление темпов прироста продаж основное влияние оказал рост цен на продукцию – за 2022 г. средняя цена на сухие строительные смеси выросла на 12,2 % относительно 2021 г. [112].

В 2022 – начале 2023 года в строй введены несколько крупных заводов, выпускающих сухие строительные смеси (ССС): заводы «ГК «ВОЛМА»» и «ЛСР Строительные смеси» (бренд «Основит»), новые заводы компании «Бундекс» «Бергауф»,. Параллельно с расширением сети производств осуществлялась модернизация и наращивание мощностей на ряде действующих предприятий отрасли. [112].

Наблюдается устойчивая зависимость между объемом вводимого жилищного и нежилого фонда и потреблением сухих строительных смесей, что частично объясняется активным использованием данных материалов при проведении ремонтно-реставрационных работ. Согласно результатам анализа рыночных сегментов, доля СССР, применяемых для отделки новых зданий, варьируется в региональном разрезе от 40 до 60%. В общефедеральном масштабе ремонтный сегмент оценивается в 52–55% от общего объема потребления.

Установленная взаимосвязь объясняет наличие тесной корреляции между динамикой валового внутреннего продукта и показателями потребления смесей. Макроэкономическая конъюнктура, индикатором которой выступает ВВП, оказывает комплексное влияние как на интенсивность нового строительства, так и на объемы ремонтной деятельности. Следовательно, наблюдаемое замедление темпов роста рынка сухих строительных смесей обусловлено в первую очередь снижением макроэкономической динамики и общей стагнацией экономической активности.

Анализ рыночной динамики выявляет устойчивую тенденцию роста

потребительского спроса на специализированные составы: морозостойкие смеси, экономичные самовыравнивающиеся ровнители универсального назначения, гипсовые штукатурные составы и материалы с сокращенным сроком полимеризации [112]. Параллельно наблюдается стратегическая переориентация производителей на выпуск упрощенных рецептур с сниженной себестоимостью. Отмечается сокращение темпов прироста продаж в сегментах тонкослойных финишных ровнителей, грубых выравнивающих составов среднего и премиального ценового диапазона, а также финишных шпатлевочных композиций. Конъюнктура рынка демонстрирует адаптацию к экономической нестабильности через сокращение потребления модифицированных смесей.

Нормативная классификация сухих строительных смесей осуществляется по следующим критериям: функциональное назначение, технология применения, тип вяжущего компонента и предельная крупность заполнителей [14, 36, 44, 84, 113]. Классификация сухих строительных смесей представлена на рисунке 1.1.

Прогрессивные достижения в области строительного материаловедения, индустриализации строительства и строительной физики привели к изменению подходов в оценке функционального назначения штукатурных материалов. Это нашло отражение в европейской нормативной базе, в частности, в стандарте EN 998, регламентирующем требования к штукатурным и кладочным растворам, который был введен в 2003 году и интегрировал ключевые положения немецкого стандарта DIN 18550 [173]. Согласно классификации, представленной в DIN 998-1, штукатурные растворы, классифицируемые по типу вяжущего, технологическим параметрам и толщине наносимого слоя, призваны выполнять комплекс строительно-технических функций, совмещая утилитарное назначение с декоративным. В среднесрочной перспективе прогнозируется стабилизация рынка с положительной динамикой, что аргументируется значительным потенциалом роста душевого потребления ССС в России, которое в настоящее время существенно уступает показателям западноевропейских и ряда восточноевропейских государств (67 кг/год против 90-95 кг/год) [112].

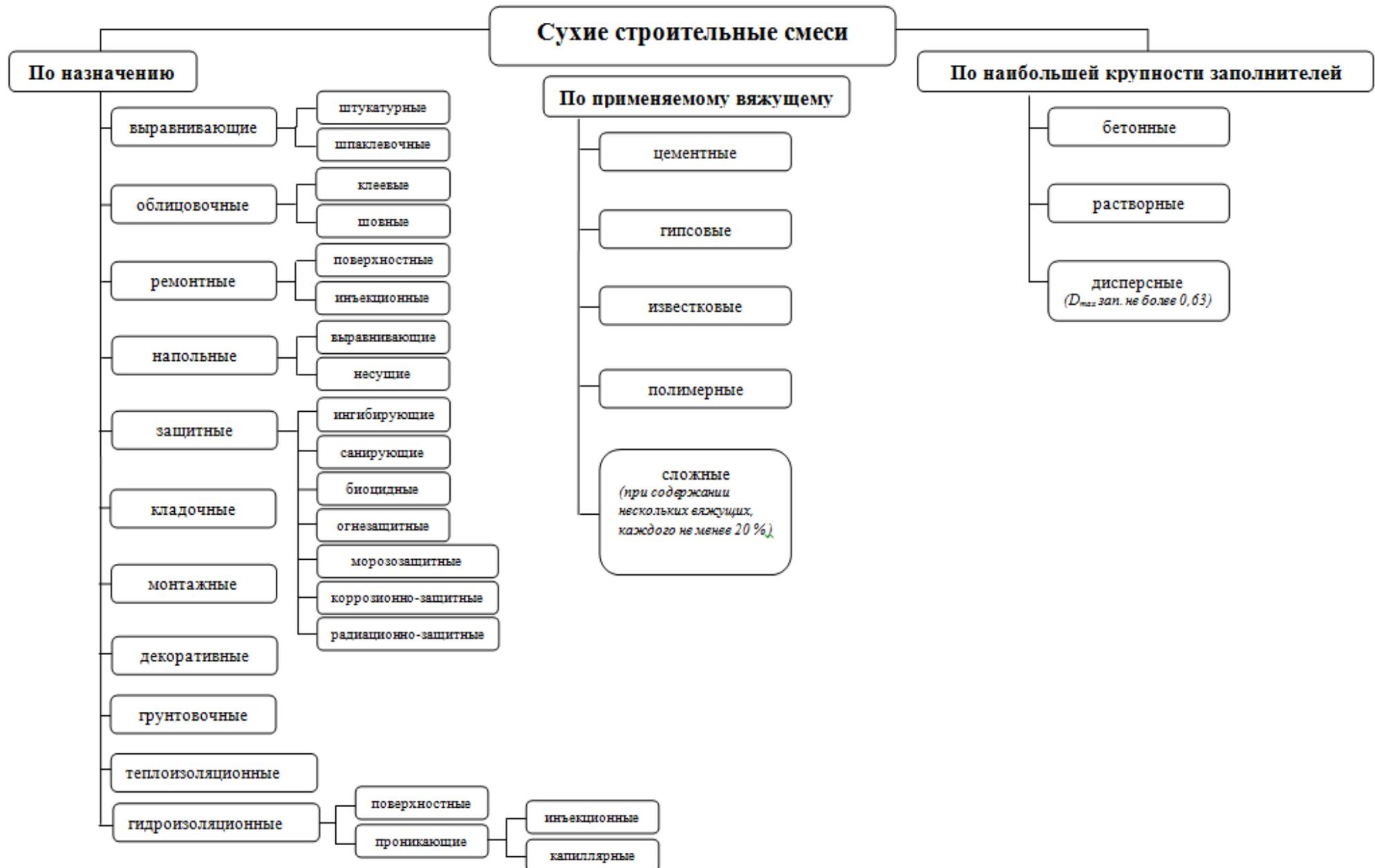


Рисунок 1.1– Классификация сухих строительных смесей

Декоративная роль штукатурных покрытий рассматривается как вторичная, на первый план выходят функциональные характеристики, обеспечивающие долговечность и защиту строительных конструкций.

К числу таких ключевых функционально-эксплуатационных показателей относятся:

- сопротивление атмосферным воздействиям (осадки, температурные колебания, замораживание/оттаивание);
- контролируемое водопоглощение, высокая паропроницаемость, гидрофобность и водонепроницаемость;
- способность к снижению теплопотерь;
- прочность адгезии к основанию, сопротивление усадочным деформациям и трещинообразованию;
- устойчивость к карбонизации, воздействию сернистого ангидрида, солевой коррозии, образованию высолов, а также к биопоражениям (плесень, грибок) [9, 108, 59, 60].

Применяемые в работе аббревиатуры соответствуют сокращенным англоязычным обозначениям типов штукатурных растворов, регламентированным европейским стандартом EN 998-1 «Спецификация строительных растворов. Часть 1: Штукатурные растворы». Данная классификация является общепринятой в международной практике и обеспечивает однозначную идентификацию функционального назначения материала по его маркировке. В рамках исследуемой проблематики, связанной с разработкой и оптимизацией составов, представляется методологически обоснованной систематизация нормативных требований к ключевым характеристикам данных растворных систем. Такой подход позволяет проводить корректное сопоставление разрабатываемых композиций с существующими нормативными рамками и оценивать их соответствие целевым показателям. Нормативные параметры, включая прочностные характеристики, адгезию, паропроницаемость и морозостойкость штукатурных составов, приведены в таблице 1.2 [173, 179 – 183].

Таблица 1.2 – Требования к штукатурным растворам в соответствии с EN 998-1

Свойства	Категории	Значения
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток	CS I	от 0,4 до 2,5 МПа
	CS II	от 1,5 до 5,0 МПа
	CS III	от 3,5 до 7,5 МПа
	CS IV	$\geq 6,0$ МПа
Капиллярное водопоглощение	W 0	Нет требований
	W 1	$\leq 0,4$ кг/(м ² ·ч ^{0,5})
	W 2	$\leq 0,2$ кг/(м ² ·ч ^{0,5})
Теплопроводность	T 1	$\leq 0,1$ Вт/(м·К)
	T 2	$\leq 0,2$ Вт/(м·К)

Использование теплоизоляционных ССС позволяет уменьшить не только расход энергии на отопление, но и сократить использование основных строительных материалов, таких как бетон, древесина, кирпич [102, 106, 114, 120, 178]. При этом применение теплоизоляционных штукатурок возможно не только при строительстве новых зданий и сооружений, но и при реконструкции уже существующих зданий гражданского и промышленного назначения [11, 16, 90].

1.2 Причины разрушения отделочного слоя стен зданий

В течение всего срока службы фасадные штукатурные покрытия систематически подвергаются прямому воздействию атмосферных осадков, продолжительному влиянию повышенной относительной влажности атмосферного воздуха, а также конденсации влаги, возникающей в результате диффузии водяного пара из внутренних помещений сквозь толщу ограждающей конструкции в сторону более холодной наружной поверхности в зимний период. [13, 55, 83]. В условиях внешних воздействий на покрытие в ряде случаев наблюдается частичное разрушение штукатурного покрытия, проявляющееся в виде отслоений или сетки из мелких волосяных трещин. Возникновение указанных дефектов может быть

обусловлено конденсацией влаги в зоне контакта ограждающей конструкции и штукатурного покрытия. Последующее замерзание аккумулированной влаги приводит к кристаллизации в материале вследствие фазового перехода воды в лед, сопровождающегося увеличением объема в пористой структуре покрытия. Но на практике подобные случаи чаще возникают при использовании штукатурных покрытий с низкими значениями паропрооницания. В соответствии с правилами строительной физики оптимальным является проектирование ограждающих конструкций с последовательным возрастанием сопротивления паропрооницанию от внешних слоев к внутренним при одновременном снижении сопротивления теплопередаче в том же направлении. Данный принцип обеспечивает эффективный влагообмен, поскольку паропрооницаемость материалов способствует выводу избыточной влаги из внутреннего пространства здания [6, 40, 125].

Экспериментальная часть исследования включала натурное обследование состояния штукатурных фасадов жилых зданий в г. Пензе, расположенных по следующим адресам: ул. Циолковского (рис. 1.2), ул. Калинина (рис. 1.3) и ул. Можайского (рис. 1.4).

Штукатурные работы по данным объектам были проведены с использованием штукатурок на цементной основе. Результаты обследований показали, что основными видами повреждений являются образование трещин на торцевых участках здания и нарушение адгезии штукатурного слоя.

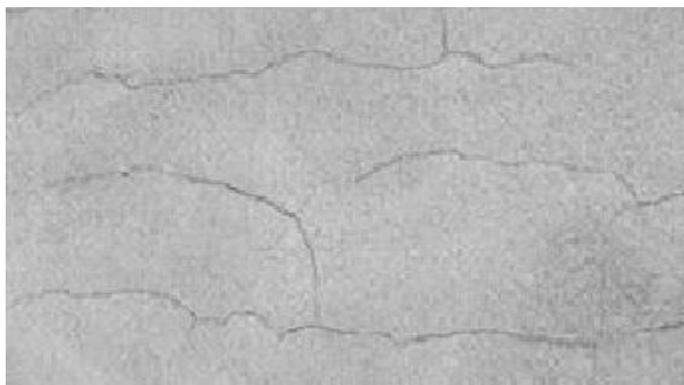


Рисунок 1.2 – Состояние штукатурного фасада жилого здания (г. Пенза, ул. Циолковского) после 36 месяцев эксплуатации



Рисунок 1.3 – Состояние штукатурного фасада жилого здания (г. Пенза, ул. Калинина) после 36 месяцев эксплуатации

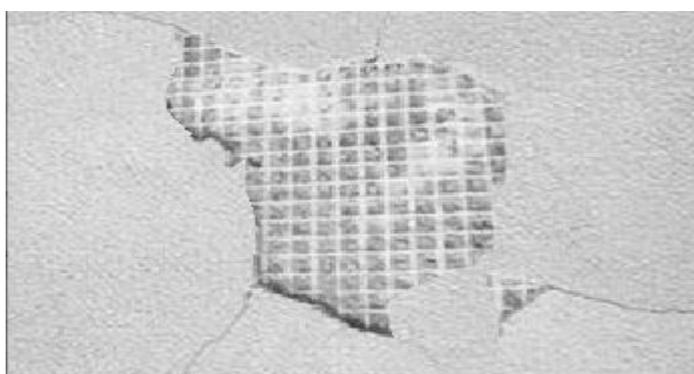


Рисунок 1.4 – Состояние штукатурного фасада жилого здания (г. Пенза, ул. Можайского) после 36 месяцев эксплуатации

Низкая эксплуатационная стойкость покрытий на основе извести является причиной редкого применения известковых смесей для наружных работ, где традиционно доминируют составы на цементном вяжущем.

Вместе с тем, составы на основе извести демонстрируют ряд значимых преимуществ: повышенное сопротивление трещинообразованию, высокая деформативная способность при растяжении, оптимальная паропроницаемость и выраженная стойкость к биологическим поражениям [21, 129, 130]. Кроме того, известковые смеси сохраняют статус единственных отделочных материалов, обеспечивающих высокую адгезию и физико-химическую совместимость с конструкционными материалами объектов исторической застройки [103], что обуславливает целесообразность применения воздушной извести в качестве базового вяжущего для реставрационных составов.

К числу недостатков известковых систем следует отнести относительно невысокие значения прочности на сжатие и низкую водостойкость. Известковое вяжущее характеризуется замедленной кинетикой твердения, что ограничивает технологические возможности его применения в отделочных работах. Для интенсификации процессов гидратации и повышения эксплуатационной стойкости известковых покрытий в рецептуру композиций вводят модифицирующие добавки, обеспечивающие комплексное улучшение физико-механических характеристик: повышение водостойкости, прочностных показателей и снижение деформаций усадки. В целях повышения эксплуатационных характеристик покрытий на основе известковых составов предложено вводить в рецептуру активные минеральные добавки [10, 25, 58, 70, 168]. Получение активных минеральных добавок осуществляется, в частности, путем тонкого измельчения глинистого сырья с повышенной концентрацией каолинита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), предварительно подвергнутого термообработке при 600–800 °С. Целью обжига является полная дегидратация каолинита с образованием метакаолинита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), который в присутствии извести и воды взаимодействует с гидроксидом кальция, формируя гидроалюминаты кальция. Данный процесс интенсифицирует твердение и улучшает прочностные и гидравлические характеристики известковых композитов [53, 132]. В декоративных штукатурных смесях метакаолинит также выполняет роль пластифицирующего компонента, снижая липкость и улучшая технологичность составов.

В перечень применяемых минеральных добавок входят природные диатомиты, гранулированные шлаки, топливные золы, обожжённые глинистые материалы и кремнезёмсодержащие отходы [23, 50, 51, 54, 100, 140, 147, 157]. Механизм их действия основан на химическом взаимодействии аморфного дисперсного кремнезёма с известью в водной среде, результатом которого является синтез гидросиликатов кальция. Эти соединения обеспечивают гидравлическое твердение системы, проявляющееся в росте прочности в водной среде после предварительного воздушного твердения, а также повышают стойкость к выщелачиванию [22, 24, 47, 187].

Широко представлены и специализированные реагенты на основе аморфных оксидов и гидроксидов алюминия, такие как Axilat SA 502 (Rhodia, Франция), АмГА (ОАО «РУСАЛ Бокситогорский глинозём»), Alumina CTC-20 (Германия). Согласно технической документации и литературным источникам, указанные модификаторы отличаются высокой дисперсностью и активностью [62, 101, 131].

Проведенные исследования [72,109], демонстрируют, что введение синтезированных гидросиликатов кальция в известковые отделочные составы интенсифицирует кинетику твердения и способствует повышению прочности образцов. Образование низко- и высокоосновных гидросиликатов в результате взаимодействия высокорекреакционных гидросиликатов кальция с известью приводит к увеличению адгезии на границе раздела «вяжущее-заполнитель» [110].

На российском рынке сухих строительных смесей представлена модифицирующая добавка «X-SEED 100» (компания «BASF», Германия), представляющая собой нанодисперсную суспензию, активирующую гидратацию цементных систем на начальных стадиях твердения. Механизм действия добавки базируется на технологии направленной кристаллизации, обеспечивающей ускоренный рост кристаллов гидросиликата кальция [168].

Представляет интерес исследование возможности применения в рецептуре известковых смесей добавок, содержащих аморфные алюмосиликаты. Взаимодействие известкового вяжущего с аморфными алюмосиликатами будет способствовать ускорению отверждения и повышению водостойкости, а также механической прочности покрытия.

В настоящее время материалы, содержащие аморфные алюмосиликаты, применяют как ионообменники (например, для очистки воды), как адсорбенты в хроматографии, при очистке, осушке и разделении газов, а также при каталитическом крекинге нефтепродуктов [1].

В научно-технической и патентной литературе описаны различные технологии получения адсорбентов, содержащих аморфные алюмосиликаты.

Способ получения алюмосиликата натрия по патенту № RU 2044689 основан на реакции кремнегеля, являющегося побочным продуктом синтеза фторида

алюминия, с водным раствором гидроксида натрия в условиях повышенных температур. Методика предполагает стадию гомогенизации кремнегеля в щелочной среде с последующей термической обработкой при температуре кипения реакционной системы продолжительностью 1,0–2,5 часа в режиме постоянного механического перемешивания [92].

Так же разработан способ синтеза аморфного микро-/мезопористого алюмосиликатного геля с заданным размером пор и высокой удельной поверхностью (500 м²/г). Исходными реагентами служат тетра-(C₂-C₅)-алкиламмонийгидроксид, три-(C₂-C₄)-алкоксид алюминия и тетра-(C₁-C₅)-алкилортосиликат. Процесс гидролиза и гелеобразования ведут при атмосферном давлении и повышенной температуре без удаления побочных спиртов. После стадий сушки и прокаливания получают продукт с соотношением SiO₂:Al₂O₃ = 30:1. [94].

Существует также технология получения композиции алюмосиликата, содержащей от 40 до 75 мас. % оксида кремния. Способ включает девять стадий приготовления композиции алюмосиликата с последующим отделением осадка [97].

Альтернативный метод синтеза алюмосиликатных композиций описан в патенте США № 4499197 [165]. Технология предусматривает получение алюмосиликатного ко-геля посредством реакции раствора алюмината натрия с силикатом натрия, в результате которой образуется пре-гель с рН 12–12.5. На следующем технологическом этапе осуществляют смешение пре-геля с сульфатом алюминия и кислотным раствором соединения редкоземельного элемента с последующей экстракцией ко-геля после стадии созревания. Синтезированные аморфные алюмосиликатные ко-гели характеризуются оксидным составом: 10–90 мас.% SiO₂ и 10–90 мас.% Al₂O₃. Удельная поверхность данных материалов составляет 100–400 м²/г, причем 30–60% от общей площади поверхности приходится на мезопоры диаметром 40–100 Å.

Патентные исследования выявили несколько альтернативных методов синтеза алюмосиликатных гелей. В US 4499197 описан со-гель, получаемый

последовательным осаждением алюмината натрия силикатом натрия с последующей обработкой солью алюминия и редкоземельным раствором (удельная поверхность 100–400 м²/г, 30–60% пор 40–100 Å). US 4289653 раскрывает катализатор денитрификации на основе золя, полученного смешением силиката натрия, сульфата алюминия и кислоты с осаждением гидроксидом аммония [164]. В US 4988659 предложен кислотный золь оксида кремния с последующим осаждением солью алюминия [166]. Отечественный патент RU 2438974 описывает одностадийный низкотемпературный синтез (<100°C) микро-/наноструктурированного адсорбента через реакцию порошка алюминия с жидким стеклом с генерацией водорода, формирующего поры [96].

В патенте № RU 2402486 описан способ получения алюмосиликатного адсорбента, отличающийся от способа, описанного в патенте № RU 2438974, более высокой производительностью и уменьшением энергоемкости процесса.

Предложенный метод синтеза включает формирование гидрореакционной гетерогенной системы на основе порошкообразного алюминия, метасиликата натрия и воды с последующим их взаимодействием. В качестве источника кремнезема применяют твердый кристаллогидрат метасиликата натрия. Технологический процесс предусматривает смешивание порошка алюминия с кристаллогидратом с последующим порционным затворением полученной смеси водой. Рецептурный состав системы составляет, мас. %: порошок алюминия 10–30, кристаллогидрат метасиликата натрия 25–40, вода 20–60 [95].

Перспективным направлением модификации известковых сухих строительных смесей является применение аморфных алюмосиликатов. Их введение интенсифицирует процессы твердения за счет химического взаимодействия с известью, что обеспечивает ускоренное структурообразование и повышение прочности и водостойкости композита.

Проведенный анализ патентных и научных источников выявил недостаточную изученность применения синтетических цеолиотов в рецептурах известковых строительных смесей. Отсутствуют данные о механизме их взаимодействия с вяжущим и закономерностях формирования структуры композита. Указанные

пробелы определяют необходимость системного исследования функциональных добавок на основе аморфных алюмосиликатов, сочетающих фотокаталитические и структурообразующие свойства, для модификации известковых сухих строительных смесей.

1.3 Самоочищающиеся покрытия на основе сухих строительных смесей

Экологические проблемы, такие как загрязнение воздуха, побудили к применению в строительстве самоочищающихся покрытий. Одним из основных преимуществ является их способность уменьшать уровни загрязнения воздуха. Исследования показывают, что фасады многоэтажных домов, обработанные этим покрытием, могут эффективно уменьшать концентрации вредных газов [117, 118, 174, 170]. Существуют два типа самоочищающегося покрытия: гидрофобное и гидрофильное [170, 150, 151, 150]. Самоочищающееся гидрофобное покрытие отталкивает пыль и грязь, скатывая частицы со своей поверхности. Самоочищающееся гидрофильное покрытие с помощью механизма фотокатализа уменьшает количество загрязняющих веществ и пыли на его поверхности под воздействием УФ-излучения [7, 8, 121, 153, 157].

Механизм фотокаталитической реакции основан на образовании электронно-дырочной пары [91, 41, 48]. При освещении фотокатализатора фотовозбужденный электрон мигрирует из валентной зоны в зону проводимости, и образуются дырки в валентной группе; эти дырки могут генерировать гидроксильные радикалы.

Существует множество полупроводников, которые можно использовать в качестве фотокатализаторов, такие как TiO_2 , ZnO , WO_3 и Fe_2O_3 [122, 184, 188–194]. Для создания самоочищающихся покрытий широкое применение в рецептуре отделочных составов нашел оксид титана (TiO_2) [136, 149, 167, 146]. TiO_2 имеет ширину запрещенной зоны 3,2 эВ и поглощает свет в широком диапазоне частот. Известны также композиционные фотокаталитические добавки, в частности, системы $\text{TiO}_2\text{--SiO}_2$. Попытки перейти от УФ-излучения к видимому свету привели к созданию технологии легирования TiO_2 . Для улучшения фотокаталитических

характеристик под прямыми солнечными лучами TiO_2 часто легируют или смешивают с различными материалами, например, неметаллами, металлами, оксидами металлов и т. д. [123, 158, 161, 162]. Например, пленки TiO_2 , легированные 5% Ni, демонстрируют повышенное светопропускание в видимой и ближней ИК-областях и более низкий коэффициент отражения. Легирование TiO_2 атомами металлов, таких как V, изменяет его электронную структуру и влияет на его фотоактивность. Кроме того, в результате восстановления O_2 на поверхности TiO_2 образуются супероксидные свободные радикалы (O^{2-}), которые являются сильными окислителями органических загрязнений [146, 176].

В последние годы привлекает большое внимание в применении фотокаталитических технологий полупроводник оксид цинка ZnO, поскольку он дешевле, имеет более высокую квантовую эффективность, экологически безопасен и обладает хорошей фотокаталитической активностью [3]. Однако ZnO имеет большую запрещенную зону, около 3,37 эВ, так что он может поглощать только УФ-свет с длиной волны менее 387 нм. Чтобы увеличить активность ZnO в видимой области, можно применять различную модификацию поверхности, включая легирование металлами, неметаллическими элементами и оксидами металлов. Легирование переходными металлами (Cu, Ni, Co, Mn и др.) или благородными металлами (Ag, Pd) является эффективным методом изменения физических, химических и поверхностных свойств фотокатализатора оксида цинка ZnO. Активированный ZnO, легированный медью (1,5 мас.%), проявляет большие фотокаталитические свойства при обесцвечивании красителя за счет более высокой удельной поверхности и улучшения разделения носителей заряда. Модифицированный серебром ZnO показывает примерно в четыре раза большую фотокаталитическую активность.

Наноккомпозит $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ характеризуется увеличенной шириной запрещенной зоны и активен при освещении видимым светом [136, 184]. Наноккомпозиты $\text{ZnO}/\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ проявляют превосходную фотокаталитическую активность при разложении красителя родамина В под воздействием естественного солнечного излучения. Деградация за три часа была достигнута на 95 % [176].

Кроме повышения активности фотокатализатора необходимо уделить внимание взаимодействию веществ в системе «фотокатализатор–носитель». Ранее проведенные исследования показывают, что состав и структурные особенности кремнеземных материалов, используемых в качестве носителя фотокатализатора, определяют характер взаимодействия и фотокаталитическую активность композита, а также долговечность фотокаталитически активного слоя.

Кремнеземные материалы природного (опока, трепел, диатомит) и техногенного (микрокремнезем) происхождения могут применяться в качестве носителей [134]. Наибольшей эффективностью характеризуется диатомит благодаря высокому содержанию аморфной фазы, наличию мезопор и оптимальным кислотно-основным свойствам поверхности. Микрокремнезем занимает промежуточное положение, превосходя природные материалы по удельной поверхности, пористости и концентрации активных центров.

Для повышения эффективности самоочищения покрытий предложено применение в рецептуре фотокатализаторов, полученных путем осаждения их частиц на инертные носители [150 – 155].

Известны способы получения фотокатализаторов на основе наночастиц TiO_2 , нанесенных на инертные носители с высокой удельной поверхностью. В качестве инертных подложек для наноразмерного TiO_2 были использованы: диоксид кремния SiO_2 марки 200CF (Japan Aerosil), активированный углерод (Wako Pure Chemicals), морденит марки TSZ640NAA (Tozoh), цеолит X-типа марки Zeolum (Tozoh). Установлена возможность использования подобных продуктов в качестве высокоэффективных фотокатализаторов в составе цементных и гипсоцементных композитов.

В современных исследованиях активно используются фотокаталитические системы, такие как InP-CdS , ZnTe-CdS , а также методы допирования диоксида титана TiO_2 атомами азота или серы. Одним из перспективных направлений является создание композиционных материалов путём нанесения частиц TiO_2 на инертные носители, такие как диоксид кремния. В качестве инертных подложек используют диоксид кремния SiO_2 , активированный углерод, морденит и цеолит.

Большое внимание уделяется системам типа «ядро – оболочка». Особый интерес представляют системы «ядро-оболочка» $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, где ядро SiO_2 (95 нм) обеспечивает химическую совместимость с продуктами гидратации цемента, а оболочка TiO_2 (25 нм, анатаз) — фотокаталитическую активность. Нанесение суспензии (0,025 мг/2 мл) распылением на цементные пластинки (16 см²) позволило получить покрытия с активностью, сопоставимой с промышленным стандартом AEROXIDE® TiO_2 P25, что подтверждено тестами с родамином Б.

В литературе представлены многочисленные методики иммобилизации наночастиц фотокатализаторов с использованием полимерных носителей. К числу наиболее изученных относятся: полиолефины (ПЭНП), галогенсодержащие полимеры (ПВХ, ПТФЭ), виниловые полимеры (полистирол, ПММА), проводящие полимеры (полианилин, поли-3-гексилтиофен), а также поликарбонат, поликапролактон, сополимер стирола с 4-винилпиридином и полимер нитрида углерода. [175].

Так в [149] иммобилизация TiO_2 P25 в шитом ПВС позволяет создать эффективный фотокатализатор для разложения метилового оранжевого. Стабильность композита обеспечивается образованием ковалентных связей Ti-O-C , а высокая эффективность - способностью полимера набухать в воде, обеспечивая контакт загрязнителя с активными центрами.

В [137] Методом золь-гель синтезирован композит на основе волокон люффы с иммобилизованными наночастицами TiO_2 . Полученный материал продемонстрировал в 3–4 раза более высокую фотокаталитическую активность в реакции разложения метиленового синего по сравнению с коммерческим аналогом P25. Это объясняется уникальными свойствами волокон Люффа: их микроканальная структура способствует эффективной адсорбции наночастиц, а разветвленная форма обеспечивает оптимальное поглощение света. Кроме того, волокна обладают высокой физико-химической стабильностью, несмотря на свою эластичность. Аналогичный подход был применен в исследовании [148], где в качестве основы для синтеза наночастиц TiO_2 использовались микроволокна целлюлозы. При этом в [149] также подчеркивается, что для очистки воды от

органических красителей наиболее эффективны гидрофильные полимеры, такие как поливиниловый спирт, благодаря их способности набухать в воде, что увеличивает площадь контакта наночастиц с загрязнителем.

В последние годы возрос интерес к использованию гидрогелей в качестве матриц для иммобилизации наночастиц TiO_2 с целью фотокаталитической очистки воды. Гидрогели, содержащие наночастицы оксидов металлов, представляют особый интерес для создания биомиметических материалов благодаря их уникальным свойствам, обусловленным наличием полимерной сетки и связанных молекул воды [171]. В исследованиях рассматриваются гидрогели на основе полиакриламида и его сополимеров [145, 144, 159, 177, 189], N,N-диметилакриламид [193], поливиниловый спирт и его сополимеры [142, 192], а также хитозан [156]. Для синтеза таких гелей чаще всего применяется химическое инициирование полимеризации, однако в [145, 193] используется фотоинициирование непосредственно на поверхности наночастиц диоксида титана. Особого внимания заслуживают исследования [142, 192], в которых композитные гидрогели изготавливаются в виде волокон методом электроспиннинга.

Несмотря на полувековую историю исследований фотокаталитических материалов (с 1972 г.), в строительном материаловедении сохраняются нерешённые задачи, в частности, повышение эффективности и долговечности фотокаталитических фасадных покрытий [103, 57, 105].

В Российской Федерации свойства фотокаталитических бетонов регламентируются ГОСТ Р 57255–2016 [38], гармонизированным с международными стандартами (ISO 22197-1:2007, ISO 22197-3:2011, ISO 27448:2009). Стандарт устанавливает две ключевые характеристики:

- способность к самоочищению по изменению краевого угла смачивания после УФ-облучения предварительно загрязнённой олеиновой кислотой поверхности;
- эффективность минерализации загрязнителей воздуха (оксидов азота и летучих органических соединений).

Широкое распространение для оценки самоочищения получил тест с родамином Б (UNI 11259), основанный на измерении скорости разложения пигмента под УФ-излучением[186].

Технологии получения самоочищающихся бетонов подразделяются на три группы:

- поверхностное нанесение фотокаталитических покрытий.
- объёмное введение фотокатализатора в бетонную смесь.
- создание двухслойных конструкций с фотокаталитическим лицевым слоем.

Перспективным направлением представляется изучение синтетических цеолитов в роли носителей для фотокаталитических систем на основе оксида цинка (ZnO) [107, 160]. Анализ современных научных публикаций свидетельствует о недостаточной изученности данной проблематики, что определяет актуальность дальнейших исследований в этой области.

Результаты проведенного анализа подтверждают актуальность использования аморфных алюмосиликатов в качестве модифицирующих добавок для известковых композиций, открывающих новые возможности для развития современных строительных материалов. Использование алюмосиликатных добавок способствует развитию экологически безопасных и энергоэффективных технологий в строительстве, что соответствует современным тенденциям устойчивого развития.

Глава 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика материалов

Синтез добавки на основе алюмосиликатов проводили с применением следующих реагентов:

– жидкое натриевое стекло, соответствующее требованиям ГОСТ 13078-2021.

Технические характеристики приведены в табл. 2.1 [31];

– алюминиевая пудра марки ПАП-1 (ГОСТ 5494–2022 Пудра алюминиевая. Технические условия). Характеристики представлены в таблице 2.2;

– дистиллированная вода [35].

Таблица 2.1 – Свойства жидкого натриевого стекла

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Силикатный модуль	2,7–2,9
2	Плотность при 20 °С, г/см ³	1,36–1,50
3	Массовая доля диоксида кремния, %	24,8–34,3
4	Массовая доля оксида натрия, %	9–12,9
5	Массовая доля нерастворимого в воде остатка не более, %	0,2

Для проведения исследований использовались следующие основные материалы:

– гидратная известь (пушонка) со следующими характеристиками: химическая активность – 84%; происхождение – Каменское предприятие «Атмис-сахар»; истинная плотность – 2200 кг/м³; насыпная плотность – 280 кг/м³; удельная поверхность – 13478 см²/г.;

– вспученный перлитовый песок марки М150, соответствующий техническим условиям ГОСТ 10832-2009 «Песок и щебень перлитовые вспученные».

Таблица 2.2 – Физические свойства и химический состав алюминиевой пудры

Марка	Кроющая способность на воде, см ² /г, не менее	Гранулометрический состав			Химический состав, %								Всплываемость, %, не менее
		Остаток на ситах, %, не более (номера сеток по ГОСТ 6613)			Активный алюминий, не менее	Примеси, не более							
		+008	+0056	+0045		железа	кремния	меди	марганца	влаги	жировых добавок		
ПАП-1	7000	1,0	-	-	-	0,5	0,4	0,05	0,01	0,2	3,8	80	
ПАП-2	10000	-	0,3	0,5	-	0,5	0,4	0,05	0,01	0,2	3,8	80	
ПАГ-1	6000	1,5	-	-	90	-	-	-	-	-	2,4	-	
ПАГ-2	8000	-	0,7	-	88	-	-	-	-	-	3,0	-	
ПАГ-3	10000	-	-	0,5	86	-	-	-	-	-	3,2	-	

- диатомит Инзенского месторождения с истинной плотностью 2200 кг/м³ и насыпной плотностью 300 кг/м³;
- белый портландцемент без минеральных добавок, соответствующий ГОСТ 965-89.

Применяемый комплекс модифицирующих добавок включал:

- пластифицирующие добавки: Sika ViscoCrete-3180. С-3, Кратасол-ПФМ, Melflux 1641F;
- редиспергируемые полимерные порошки: Neolith P4400, VINNAPAS 5044N, VINNAPAS 8031H, Mowilith PulverDM 1142P;
- гидрофобизирующую добавку Zincum-5;
- стабилизирующий компонент: эфир целлюлозы Mecellose FMC 2094.

Выбор диатомита проводился с учетом его химического состава в зависимости от месторождения (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Химический состав диатомитов (%)

Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	п.п.п.
Инзенский	83,4	2,53	1,5	1,88	0,89	9,4
Ахматовский	82,4	2,7	1,8	1,88	0,91	9,1
Коржевский	81,9	2,93	1,9	1,98	0,88	9,7

Использование диатомита Инзенского месторождения обосновано его повышенным содержанием аморфного кремнезёма, что было подтверждено предварительным анализом состава сырья.

Пластифицирующая добавка Sika ViscoCrete-3180 представляет собой продукт на основе поликарбоксилатных эфиров, обеспечивающий пролонгированное сохранение подвижности бетонных смесей и снижение экзотермического эффекта при гидратации [78].

Суперпластификатор С-3 является композицией нейтрализованных гидроксидом натрия полимерных соединений, синтезированных конденсацией нафталинсульфокислот с формальдегидом в присутствии технических лигносульфонатов.

Добавка «Кратасол-ПФМ» представляет собой химически модифицированные лигносульфонаты натрия, выполняющие функции полифункционального модификатора реологических и прочностных характеристик строительных композиций.

Melflux 1641F представляет собой порошкообразный продукт, полученный методом аэрозольной сушки, с основой из модифицированного полиэфиркарбоната, характеризующийся высокой сыпучестью.

Neolith P4400 является сополимерным порошком, основанным на винилацетате и версатате винила.

Добавка VINNAPAS 8031H представляет собой редиспергируемый порошок на основе тройного сополимера, содержащего звенья этилена, виниллаурата и винилхлорида, обладающий способностью к образованию стабильных дисперсий в водной среде. VINNAPAS 5044N – представляет собой редиспергируемый порошок на основе сополимера этиленвинилацетата, характеризующийся повышенной устойчивостью к гидролитическому распаду. При контакте с водной средой материал возвращается в исходное дисперсное состояние, обеспечивая однородное распределение в смеси и значительное улучшение функционально-эксплуатационных свойств модифицированных составов.

Mowilith Pulver DM 1142 P представляет собой редиспергируемый порошок на основе сополимерной системы винилацетат-этилен, стабилизированный поливиниловым спиртом. Производство порошков серии Mowilith осуществляется посредством распылительной сушки водных дисперсий синтетических сополимеров винилацетата с этиленом, акрилатами и версататами.

Для модификации материалов в целях придания гидрофобных характеристик и повышения стойкости к воздействию влаги, коррозионных процессов и иных деградиационных факторов применяли порошковую добавку Zincum-5. Данный гидрофобизатор имеет в своей основе стеарат цинка.

Добавка Mecellose FMC 2094 проявляет водоудерживающую способность и снижает испарение влаги, а также её адсорбцию пористыми основаниями. Она

выполняет функцию загустителя растворных композиций и способствует повышению адгезионной прочности.

В качестве фотокатализатора в работе применяли оксид цинка ZnO – полупроводниковое соединение белого цвета, которое сублимируется при 2000 К, плавится при температуре 2250 К, проявляет как основные, так и кислотные свойства, растворяется в кислотах и в щелочах.

Наиболее распространенная кристаллическая модификация – гексагональная типа вюрцит.

Таблица 2.4 – Основные показатели добавки ZnO

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Цвет порошка	Белый, желтовато-белый
2	Плотность, г/см ³	567
3	Температура плавления, °С	2250
4	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	15
5	Диэлектрическая проницаемость	8,5
6	Показатель преломления	1,96
7	Ширина запрещенной зоны, эВ	3,37

В качестве модельного компонента органических загрязнений также использовали олеиновую эталонную кислоту (ГОСТ Р 57255–2016) (таблица 2.5). В исследованиях в качестве стандартизированных модельных загрязнителей были использованы соединения с различной химической природой. Метиленовый синий выбран в силу его характерных физико-химических свойств: молярная масса 319,85 г/моль, восстановительный потенциал +0,53 В, специфичные спектральные характеристики (λ_{max} поглощения мономера 668 нм, $K_{\text{дим}} = 5,00 \cdot 10^3$ при pH 4–5,5) и типичный для многих красителей профиль растворимости (ограниченная в воде и этаноле, нерастворимость в эфире и хлороформе). В качестве второго загрязнителя,

представляющего класс жирных кислот, использовали эталонную олеиновую кислоту, соответствующую ГОСТ Р 57255-2016 (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Свойства олеиновой кислоты

№ п/п	Наименование показателя	Характеристика
1	Внешний вид	Бесцветная маслянистая жидкость
2	Молекулярная масса, а.е.м.	282,46
3	Плотность (18 °С), кг/м ³	895
4	Температура плавления, °С	16,3
5	Температура кипения, °С	360
6	Динамическая вязкость (30 °С), МПа·с	25,6

Для проведения ряда экспериментов в качестве основы для нанесения растворного слоя использовались такие материалы, как цементно-песчаный раствор, пенополистирол, керамзитобетон.

2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов

Предельное напряжение сдвига (пластическую прочность) отделочных композиций устанавливали с использованием пластометра КП-3. Методика основана на регистрации глубины внедрения стандартизированного индентора конической формы в испытуемый образец с последующим пересчетом на величину статического напряжения сдвига [29]. Пластическую прочность определяли по формуле:

$$\eta = \tau = \tau_0 = \frac{P}{h^2}, \quad (2.1)$$

где η – пластическая прочность;

τ – напряжение сдвига;

τ_0 – предел текучести;

k – коэффициент, зависящий от значения вершинного угла конуса; для металлического конуса с углом при вершине 30° $k=1,116$;

P – вес подвижной части прибора (нагрузка);

h – глубина погружения конуса в растворную смесь.

Пластическую вязкость, динамическое и статическое напряжение сдвига известковых систем изучали с помощью ротационного вискозиметра ВСН – 3.

Изменение напряжения сдвига рассчитывали по уравнению Шведова-Бингама

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}, \quad (2.2)$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига;

η – пластическая вязкость;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига.

Водоудерживающую способность отделочных композиций устанавливали согласно методике ГОСТ Р 58767-2019 «Растворы строительные. Методы испытаний по контрольным образцам». [29].

Временной интервал высыхания покрытия на основе модифицированной композиции определяли согласно нормативным требованиям ГОСТ 19007-2023. Качественная оценка стадии высыхания осуществлялась с применением регламентированной семибалльной оценочной шкалы. Согласно стандарту, время высыхания покрытия определяется как период, за который материал переходит из жидкого состояния в твердое, достигая определенной степени твердости и устойчивости к внешним воздействиям[34].

2.3 Методика оценки гидрофизических и физико-механических свойств компонентов, отделочных составов и покрытий на их основе

Истинную плотность алюмосиликатной добавки устанавливали пикнометрическим методом с применением колбы Ле-Шателье. После сушки при $105-110^\circ\text{C}$ до достижения постоянной массы навеску порошка массой приблизительно 70 г помещали в стандартный стаканчик и взвешивали на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,01$ г. Порошковую пробу порционно

вводили в колбу, заполненную керосином, до достижения уровнем жидкости контрольной отметки в верхней калиброванной зоне. Оставшийся материал взвешивали вместе со стаканчиком. Далее проводили расчеты по формуле:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_2)}{V}, \quad (2.3)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком, г;

m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком, г.

Насыпную плотность компонентов сухих строительных смесей устанавливали с применением калиброванного сосуда вместимостью 1 дм³. Пробу материала массой приблизительно 1,5 г помещали в калиброванную воронку, под которую располагали предварительно взвешенный мерный сосуд. После заполнения ёмкости порошкообразным материалом с незначительным избытком излишки удаляли выравниванием по верхней кромке сосуда с применением деревянной линейки. Массу насыпного материала определяли по разности показателей взвешивания заполненного и пустого мерного сосуда. Насыпную плотность материала $\rho_{\text{нас}}$ (г/см³) вычисляли по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}, \quad (2.4)$$

где m – масса материала, г;

V – объем сосуда, см³.

По ГОСТ Р 58767–2019 Растворы строительные. Методы испытаний по контрольным образцам [29] определяли водопоглощение испытываемых образцов покрытия на основе разрабатываемого отделочного состава.

Методика определения коэффициента паропроницаемости заключается в нанесении на марлеву подложку исследуемого состава с последующим отверждением. Образец герметично фиксировали на ёмкости, содержащей дистиллированную воду для создания среды со 100%-ной относительной влажностью, обеспечивая герметизацию парафиновым уплотнением по периметру. Далее подготовленную систему помещали в эксикатор с контролируемой относительной влажностью 60%, предварительно выполнив взвешивание на аналитических весах. Мониторинг массы осуществляли через регулярные

промежутки времени до достижения постоянного значения, свидетельствующего о стабилизации влажностного состояния системы.

Используя методику ГОСТ Р 58767–2019 определяли прочность при сжатии образцов покрытия [29]. Расчеты проводили по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, \quad (2.5)$$

где P – разрушающая сила, Н;

F – площадь поперечного сечения образца до испытания, м^2 .

Адгезионную прочность отделочного слоя оценивали методом отрыва стандартного штампа цилиндрической формы диаметром 18 мм. Методика основана на определении усилия, требуемого для отрыва штампа, предварительно зафиксированного на поверхности образца эпоксидным клеем ЭДП (ТУ 0751-018-48284381-00). Испытания проводили при горизонтальной ориентации образца с последовательным приложением растягивающей нагрузки через динамометрическое устройство до момента отрыва штампа. Прочность сцепления отделочного состава с подложкой определяли по формуле, $\text{Н}/\text{м}^2$:

$$R_{\text{адг}} = \frac{P}{F}, \quad (2.6)$$

где P – сила отрыва, Н;

F – площадь контакта штампа с покрытием, м^2 .

Усадочные деформации отделочных составов определяли с помощью оптического компаратора ИЗА-2 и вычисляли по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_0 \cdot l_i}{l_0} \cdot 100, \quad (2.7)$$

где l_0 – длина образца (расстояние между реперами) в начальный период твердения, мм;

l_i – длина образца в промежуточные периоды твердения, мм.

Предел прочности при растяжении (когезионную прочность) образцов модифицированного состава определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 18299-72* на разрывной машине ИР 5057-50. Сущность метода заключается в одноосном растяжении образцов-балочек размерами $1 \times 1 \times 5$ см до момента разрушения при постоянной скорости деформирования 1 мм/мин. Крепление

образцов в захватах испытательной установки осуществляли с обеспечением соосности направления нагрузки и продольной оси образца для равномерного распределения напряжений по поперечному сечению.

Испытания проводились при температуре воздуха (20 ± 2) °С и относительной влажности 60 %. Образцы, которые разрушались за пределами рабочей части (20 мм) или в области зажимов, не учитывались при расчётах [33]. Расчёт предела прочности при растяжении проводили по результатам испытания не менее четырех образцов каждого состава. Предел прочности при растяжении R_p , МПа ($\text{Н}/\text{мм}^2$), для каждого образца вычисляли по формуле:

$$R_p = \frac{F_{pi}}{S_{oi}}, \quad (2.8)$$

где F_{pi} – растягивающая нагрузка в момент разрыва, Н;

S_{oi} – начальная площадь поперечного сечения образца, мм^2 .

Модуль упругости образцов на основе разрабатываемого состава вычисляли по диаграмме «напряжение – деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной (Z), проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

Модуль упругости для каждого образца $E_{упр}$, МПа, вычисляли по формуле:

$$E_{упр} = \frac{R'_{kog}}{\varepsilon'_i}, \quad (2.9)$$

где R'_{kog} – предел прочности при растяжении в момент отрыва касательной от диаграммы «напряжение – деформация», МПа;

ε'_i – относительное удлинение при разрыве, мм/мм.

Прочность адгезионного соединения при сдвиге растворного слоя с основанием оценивали с использованием прибора «Механизм срезной ГТ 2.2.3» (ООО «НПП «Геотек»). Методика испытаний основана на определении сопротивления сдвигу контактной зоны «раствор-подложка» при приложении касательных напряжений. [93].

Механизм работы прибора ГТ 2.2.3 заключается в создании в испытательной установке горизонтальной срезающей нагрузки на образец на основе исследуемого

состава. Усилие, создаваемое редуктором, передается подвижной каретке срезной коробки и измеряется датчиком силы.

Образец размещают в каретке устройства с расположением подложки в малом срезном кольце, а модифицированного состава – в большом. Формируемый технологический зазор величиной 1 мм задаёт плоскость среза. В ходе испытаний посредством датчиков оборудования регистрируют величины деформаций сдвига материала относительно основания при ступенчатом нарастании касательной нагрузки, прикладываемой к нижнему срезному кольцу.

Теплопроводность образцов на основе разрабатываемого состава изучали на образцах-пластинах размером 150×150 мм и толщиной от 15 до 30 мм, высушенных до постоянной массы. Для проведения испытания применяли электронный измеритель теплопроводности типа ИТП-МГ4.

С помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3 были получены и проанализированы фото структуры поверхности образца добавки [5].

Минералогический состав алюмосиликатной добавки и образцов разрабатываемого состава исследовали методом дифференциально-термического анализа (ДТА) с использованием установки «Термоскан-2». Испытания выполняли в интервале температур 20–1000 °С в условиях воздушной среды при скорости нагрева 10 °С/мин. [116].

Фазовый состав известковых композитов, модифицированных алюмосиликатной добавкой и самой алюмосиликатной добавки анализировали с использованием рентгенофазового анализа на дифрактометре ARL 9900 WorkStation. Для идентификации минеральных фаз применялась дифракционная база данных PDF-2 и программа Crystallographica Search Match v2.0.2.0 (Oxford Cryosystems). Количественное определение концентраций кристаллических минеральных фаз выполнялось методом полнопрофильного рентгенофазового анализа (РФА) с использованием программы DDM v.1.95 [28].

2.4 Прочие методы исследований

Морозостойкость отделочного покрытия на основе разработанной сухой смеси оценивали циклическим воздействием замораживания и оттаивания. Испытаниям подвергали образцы отделочного слоя, нанесенного на цементно-песчаное основание, после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях. После каждого цикла проводили визуальную оценку состояния поверхности с регистрацией дефектов (трещинообразование, шелушение, отслоение) в соответствии с требованиями ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». [30]. Критерий отказа принимался согласно ГОСТ 6992–68.

Морозостойкость оценивали по потере прочности при сжатии образцов при попеременном замораживании и оттаивании оценивали путем сравнения прочности основных и контрольных образцов.

Потерю прочности образцов Δ в процентах вычисляли по формуле:

$$\Delta = \frac{R_{\text{контр}} - R_{\text{осн}}}{R_{\text{контр}}} \cdot 100, \quad (2.10)$$

где $R_{\text{контр}}$ – среднее арифметическое значение предела прочности при сжатии контрольных образцов, МПа;

$R_{\text{осн}}$ – среднее арифметическое значение предела прочности при сжатии основных образцов после испытания их на морозостойкость, МПа.

По полученным результатам назначали марку смеси по морозостойкости.

Морозостойкость контактной зоны испытываемого состава оценивали по изменению прочности сцепления с основанием после циклических испытаний замораживанием-оттаиванием. Контроль адгезионной прочности осуществляли методом отрыва штампа в соответствии с ГОСТ 10060-2012 [30] и методом сдвига [93]. Режим циклического температурного воздействия соответствовал нормативной методике.

Кислотно-основные свойства алюмосиликатной добавки исследовали методом адсорбции одноосновных индикаторов из водных растворов. Адсорбция осуществляется на брэнстедовских и льюисовских активных центрах поверхности,

причем степень взаимодействия детерминируется величиной константы диссоциации индикатора pK_a^x .

На основании полученных данных строили кривую распределения кислотно-основных центров на поверхности материала в координатах $q_{pK_a^x} = f pK_a^x$.

Исследование кинетики тепловыделения при твердении известкового теста, модифицированного алюмосиликатной добавкой, проводили калориметрическим методом в сосуде Дьюара. Испытуемый раствор помещали в сосуд, герметично закрывали пробкой с термометром и регистрировали изменение температуры во времени. Критерием завершения процесса считали стабилизацию температуры раствора в течение 30 минут.

Оценку структурообразования в известковых композитах, модифицированных алюмосиликатами, проводили методом количественного определения свободной извести (CaO) кислотно-основным титрованием. Метод основан на титровании измельчённого образца соляной кислотой до полной нейтрализации свободного оксида кальция.

Удельную поверхность оксида цинка определяли с помощью прибора ПСХ-10а.

Фотокаталитическую активность ZnO исследовали путем фотодеструкции красителя метиленового синего под действием УФ света. Эксперименты проводили с помощью УФ-лампы с диапазоном излучения 315–400 нм мощностью 18 Вт, которую помещали непосредственно над раствором на расстоянии 10 см от образца. Концентрация красителя составляла 0,1–0,2 г/л. Для определения степени деградации метиленового синего в зависимости от удельной поверхности и концентрации ZnO через равные промежутки времени отбирали от суспензии пробы и определяли значение оптической плотности раствора с помощью спектрофотометра при длине волны 664 нм.

Дополнительно, для оценки фотокаталитической активности изготовили образцы покрытия на основе известкового состава с добавкой на основе синтезируемых алюмосиликатов и оксида цинка. После отверждения покрытий приготовленный раствор красителя метиленового синего наносился на

подготовленную поверхность образцов. Образцы помещали в установку с диапазоном УФ-излучения 315–400 нм.

Для оценки способности к самоочищению использовался метод нанесения органического красителя – метиленового синего (0,5 мас. % спиртовой раствор), на поверхность цементных образцов. После нанесения красителя образцы подвергались облучению в видимой области спектра (дневной свет) и под воздействием ультрафиолетового излучения. Под воздействием света происходит фотохимическая реакция, приводящая к разложению органического красителя, что свидетельствует о способности материала к самоочищению. Самоочищающую способность образцов оценивали по фотокаталитическому разложению метиленового синего в условиях УФ-облучения при исключении постороннего освещения. Динамику изменения окраски регистрировали с двухчасовым интервалом в течение 24 часов посредством цифровой фотосъемки.

Качественную оценку интенсивности цвета преобразовывали в количественные показатели с использованием аддитивных цветовых моделей RGB и CIE LAB. В модели RGB обработку цифровых изображений выполняли с определением трехкомпонентного вектора интенсивности $I(R, G, B)$. Расчет показателя проводили по формуле 2.11:

$$I = aR + bG + cB, \quad (2.11)$$

где a, b, c – коэффициенты линейной комбинации, $a = 0,299$; $b = 0,587$; $c = 0,114$.

В модели CIE LAB мониторинг осуществляли с помощью портативного спектрофотометра, регистрируя показатели L, a, b каждые 8 часов в течение 136 часов. Затем определяли цветовые координаты в трехмерном пространстве: L^* (светлота), a^* (красно-зеленая составляющая), b^* (желто-синяя составляющая). Разница в цвете (ΔE) оценивалась по уравнению:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}. \quad (2.12)$$

Дополнительно применяли методику оценки самоочищающей способности поверхности, основанную на определении краевого угла смачивания в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57255–2016 Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия. Образцы предварительно

обрабатывались ультрафиолетовым светом (УФ-лампа с интенсивностью излучения 85 м³/ч и длиной волны 350 нм) в течение 24 часов для удаления органических веществ с поверхности. На поверхность образцов наносилась олеиновая кислота, которая использовалась в качестве модельного загрязнителя. До облучения УФ-светом на поверхность образцов наносили пять капель дистиллированной воды в пяти разных точках для измерения начального краевого угла смачивания. После облучения УФ-светом изменения КУС фиксировались не менее чем в пяти точках для каждого из пяти образцов. Для повышения точности измерений рассчитывался коэффициент вариации КУС на основе трёх последовательных измерений для всех образцов. Начальный и окончательный контактный угол смачивания θ_f , град, рассчитывали по формуле:

$$\theta_f = x, \quad (2.13)$$

где x – среднее значение результатов измерения контактного угла смачивания в пяти последовательных точках, град, рассчитываемое по формуле:

$$x = (\theta_{n1} + \theta_{n2} + \theta_{n3})/3, \quad (2.14)$$

где θ_{n1} – контактный угол смачивания после $n1$ часов облучения, град;

θ_{n2} – контактный угол смачивания после $n2$ часов облучения, град.

Затем рассчитывался коэффициент вариации контактного угла смачивания для трех последовательных измерений всех образцов. Измерения заканчивали, когда значения коэффициентов вариации стали меньше 10 %. Коэффициенты вариации контактного угла смачивания K рассчитывали по формуле:

$$K = S \cdot x \leq 10 \% , \quad (2.215)$$

где S – стандартное отклонение результатов измерения в трех последовательных точках, град.

Среднее арифметическое значение результатов трёх измерений контактного угла смачивания принималось за окончательную величину контактного угла смачивания. Это позволяет повысить точность измерений и минимизировать влияние случайных погрешностей. Согласно требованиям ГОСТ Р 57255–2016, способность материала к самоочищению должна обеспечивать полное удаление

загрязнений (или их значительное уменьшение) в течение времени, не превышающего 80 часов.

Спектроскопические исследования качественного состава образцов проводили на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ 1201 (ООО «Инфраспек», Россия). Образцы для измерений готовили в виде прессованных с бромидом калия таблеток (усилие прессования 10 т) при массовом соотношении $x : 30x$, где x – масса исходной навески, $30x$ – масса KBr. Непосредственно перед прессованием порошки бромида калия и исследуемых образцов перетирали в агатовой ступке в течение двух минут. Дегазация образцов в процессе прессования не осуществлялась.

2.5 Статистическая обработка результатов испытаний

Достоверность полученных экспериментальных данных была оценена в результате статистической обработки [37].

Для определения точности измерений рассчитывали абсолютную и относительную погрешности Δx_i и ε по следующим формулам:

$$\Delta x_i = x - x_i, \quad (2.16)$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (2.17)$$

где x – истинное значение измеряемой величины;

x_i – значение, полученное при i -м измерении (наблюдений);

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений.

Среднее арифметическое значение \bar{x} вычисляли по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.18)$$

где x_i – значение, полученное при i -м измерении (наблюдений);

n – общее число наблюдений.

Среднеквадратическое отклонение рассчитывалось по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.18)$$

где \bar{x} – среднее арифметическое значение прочности при сжатии i -го испытания.

Коэффициент вариации рассчитывали по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.19)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

Доверительный интервал рассчитывался по формуле:

$$P\left(\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < x < \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi = \alpha, \quad (2.20)$$

где n – объем выборки;

t – такое значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$, при котором $\Phi(t) = \alpha/2$.

При этом точность оценки составляет:

$$\delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2.21)$$

Для доказательства, что закон распределения является нормальным, использовался критерий Пирсона, рассчитываемый по формуле:

$$\chi^2 = \sum \left[(n_i - n'_i)^2 / n'_i \right], \quad (2.22)$$

где n_i – эмпирические частоты;

n'_i – теоретические частоты.

Глава 3 СВОЙСТВА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

3.1 Закономерности синтеза добавки на основе аморфного алюминия

В работе применяли технологию синтеза алюмосиликатной добавки, заключающуюся в добавлении микродисперсных порошков алюминия в натриевое жидкое стекло при температуре 60–90 °С в течение 30–120 минут [95].

Для приготовления добавки применяли жидкое натриевое стекло, алюминиевую пудру ПАП-1, дистиллированную воду в определенной пропорции. В работе применялись следующие пропорции компонентов при синтезе добавки:

- 1 состав – алюминиевая пудра:жидкое стекло:вода в соотношении 1:4:7;
- 2 состав – алюминиевая пудра:жидкое стекло:вода в соотношении 1:8:14;
- 3 состав – алюминиевая пудра:жидкое стекло:вода в соотношении 1,5:4:7;
- 4 состав – алюминиевая пудра:жидкое стекло:вода в соотношении 2:6:7.

Критерием оптимизации режима синтеза добавки служили прочностные характеристики и пористость известкового композита, что обусловлено применением синтезируемой добавки в теплоизоляционных известковых покрытиях [67]. Корреляция между прочностью композита и концентрацией добавки, синтезированной в различных режимах, отражена в таблице 3.1. Испытания проводили с использованием извести первого сорта (активность 84,4%) при водо-известковом отношении В/И=1.

Таблица 3.1 – Прочность известкового композита с содержанием 1–30 % алюмосиликатной добавки в зависимости от ее состава

Содержание добавки, %, от массы извести	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.							
	3		7		14		28	
	Составы 1/2 *	Составы 3/4	Составы 1/2	Составы 3/4	Составы 1/2	Составы 3/4	Составы 1/2	Составы 3/4
1	0,41/0,62	0,39/0,7	1,16/1,35	1,02/1,13	1,31/1,58	1,15/1,26	1,56/1,75	1,3/1,31
5	0,58/0,82	0,43/0,81	1,31/1,56	1,19/1,36	1,95/2	1,25/1,32	2,12/2,16	1,57/1,38
10	0,65/0,9	0,48/0,83	1,76/1,88	1,26/1,39	2,56/2,8	1,29/1,38	2,5/2,71	1,59/1,41
20	0,52/0,64	0,46/0,55	1,42/1,73	1,13/1,22	2,17/2,23	1,19/1,24	1,95/2	1,16/1,13
30	0,55/0,65	0,43/0,57	1,61/1,82	1,15/1,2	2,16/2,2	1,17/1,21	1,8/2	1,11/1,13
Контрольный (без добавки)	0,33		0,51		0,75		1,0	

Примечание* – Над чертой приведены значения прочности при сжатии известковых композитов с добавкой первого и третьего составов, под чертой – значения прочности при сжатии известковых композитов с добавкой второго и четвертого составов

При использовании третьего и четвертого составов добавки наблюдается недостаточный рост прочности, несоответствующий требованиям DIN EN 998-1 (таблица 3.1). Это связано с большим содержанием свободного алюминия, не вступившего в реакцию в процессе синтеза добавки.

Исследовано влияние модуля жидкого натриевого стекла, применяемого при синтезе добавки, на прочность известковых образцов при сжатии (таблица 3.2).

Прочностные характеристики известковых образцов демонстрируют прямую зависимость от модуля жидкого натриевого стекла, применяемого в составе синтезируемой добавки. Увеличение модуля жидкого стекла приводит к повышению прочности при сжатии известковых образцов. При использовании жидкого стекла с модулем 2,9 предел прочности составил 2,17 МПа, тогда как снижение модуля привело к уменьшению прочности.

Таблица 3.2 – Влияние силикатного модуля жидкого стекла на прочность при сжатии известковых образцов

Модуль жидкого натриевого стекла	Прочность при сжатии, МПа
2,7	1,98±0,112*
2,8	2,08±0,093
2,9	2,17±0,086

Примечание. * Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

Исследовали влияние температурного режима и продолжительности синтеза добавки на ее активность. Анализ данных, приведенных в таблице 3.3 и таблице 3.4, свидетельствует, что образцы на основе известкового состава с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов обладают большей пористостью по сравнению с композитом на известковом вяжущем. Так, пористость контрольных образцов составляет 53,81 %, а с использованием добавки – 67,18–69,84 %.

Таблица 3.3 – Свойства известкового композита в зависимости от режима синтеза алюмосиликатной добавки (5 %)

Режим синтеза добавки	Прочность, МПа	Плотность, кг/м ³	Пористость, %		
			Общая	Открытая	Закрытая
Контрольный (без добавки)	1,0±0,056*	940	53,81	38,9	11,1
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 30 мин	1,71±0,081	820	68,41	54,2	14,1
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 1 ч	2,13±0,096	750	71,87	52,7	18,1
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 2 ч	2,20±0,122	780	69,83	52,1	17,7
Состав 2. Температура 60 °С, время термообработки 30 мин	1,81±0,078	800	67,3	56,9	10,2
Состав 2. Температура 60 °С, время термообработки 1 ч	2,16±0,112	794	68,6	54,9	13,5
Состав 2. Температура 60 °С, время термообработки 2 ч	2,36±0,091	822	67,65	56,01	11,8
Состав 2. Температура 80 °С, время термообработки 1 ч	2,01±0,06	840	67,72	54,2	13,5
Состав 2. Температура 80 °С, время термообработки 2 ч	2,27±0,084	850	67,18	52,2	14,9

Примечание.* Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

Таблица 3.4 – Свойства известкового композита в зависимости от режима синтеза алюмосиликатной добавки (10 %)

Режим синтеза	Прочность, МПа	Плотность, кг/м ³	Пористость, %		
			Общая	Открытая	Закрытая
Контрольный (без добавки)	1,0±0,056*	940	53,81	38,9	11,1
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 30 мин	2,21±0,064	809	68,85	54,57	14,27
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 1ч	2,63±0,099	694	73,29	51,54	21,74
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 2ч	2,7±0,145	747	71,23	49,05	22,17
Состав 2. Температура 60 °С, время термообработки 1ч	2,66±0,12	791	69,54	53,23	16,3
Состав 2. Температура 60 °С, время термообработки 2ч	2,86±0,089	843	67,51	52,09	15,45
Состав 2. Температура 80 °С, время термообработки 1ч	2,51±0,134	881	66,10	51,79	14,3
Состав 2. Температура 80 °С, время термообработки 2ч	2,77±0,14	794	69,45	48,65	20,8

Примечание. * Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

Несмотря на увеличение пористости, образцы характеризуются повышенной прочностью, составляющей 1,71–2,32 МПа (при содержании добавки 5 %) и 2,21–2,86 МПа (при содержании добавки 10 %) (таблицы 3.3, 3.4).

Снижение плотности образцов наблюдается, если применяется добавка, синтезированная в течение одного часа при температуре 60 °С.

Повышение температуры синтеза до 80 °С приводит к незначительному увеличению прочности при сжатии образцов. Прочность при сжатии образцов с добавкой, синтезированной при температуре 80 °С, равна $R_{сж} = (2,01 \pm 0,06)$ МПа. Дальнейшее увеличение температуры и времени синтеза экономически нецелесообразно. Повышение прочности при сжатии, видимо, обусловлено химическим взаимодействием извести с алюмосиликатами.

С целью оптимизации режима синтеза алюмосиликатной добавки был реализован полный двухфакторный эксперимент с квадратичной регрессионной моделью [37, 43]. Параметром оптимизации был выбран предел прочности при сжатии известковых образцов. В качестве критерия оптимизации рецептурных составов использовали предел прочности при сжатии модифицированных известковых образцов.

В качестве факторов были приняты: соотношение твердая:жидкая фаза Т:Ж (x_1) и время синтеза добавки (x_2). В таблице 3.5 представлено соотношение факторов.

Таблица 3.5 – Условия изменения переменных

Уровни факторов	Факторы	
	Соотношение твердая:жидкая фаза Т:Ж (x_1), %	Время синтеза добавки (x_2), мин
Верхний уровень	0,135	120
Нижний уровень	0,045	60
Интервал варьирования	0,09	30

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Матрица планирования эксперимента

Номер эксперимента	Соотношение твердая: жидкая фаза Т: Ж (x_1), %	Время синтеза добавки (x_2), мин.
№1	-1	-1
№2	1	-1
№3	-1	1
№4	1	1
№5	-1,4142	0
№6	1,4142	0
№7	0	-1,4142
№8	0	1,4142
№9	0	0

В результате обработки полученных экспериментальных данных была получена квадратичная модель:

$$R_{сж} = -0,066 + 37,072x_1 + 0,006x_2 - 224,844x_1^2. \quad (3.1)$$

Адекватность модели проверялась по критерию Фишера. Установлено, что модель адекватно описывает экспериментальные данные, поскольку табличное значение F-критерия (3,5) превышает расчетную величину (3,47). Однородность дисперсий подтверждена критерием Кохрена: расчетное значение (0,25) ниже табличного показателя (0,63).

Графическое представление модели приведено на рис. 3.1. Посредством полученного квадратичного уравнения (3.1) выполнены расчеты прочности при сжатии известковых образцов, модифицированных добавкой, синтезированной при различных временных режимах и соотношениях Т:Ж (табл. 3.7).

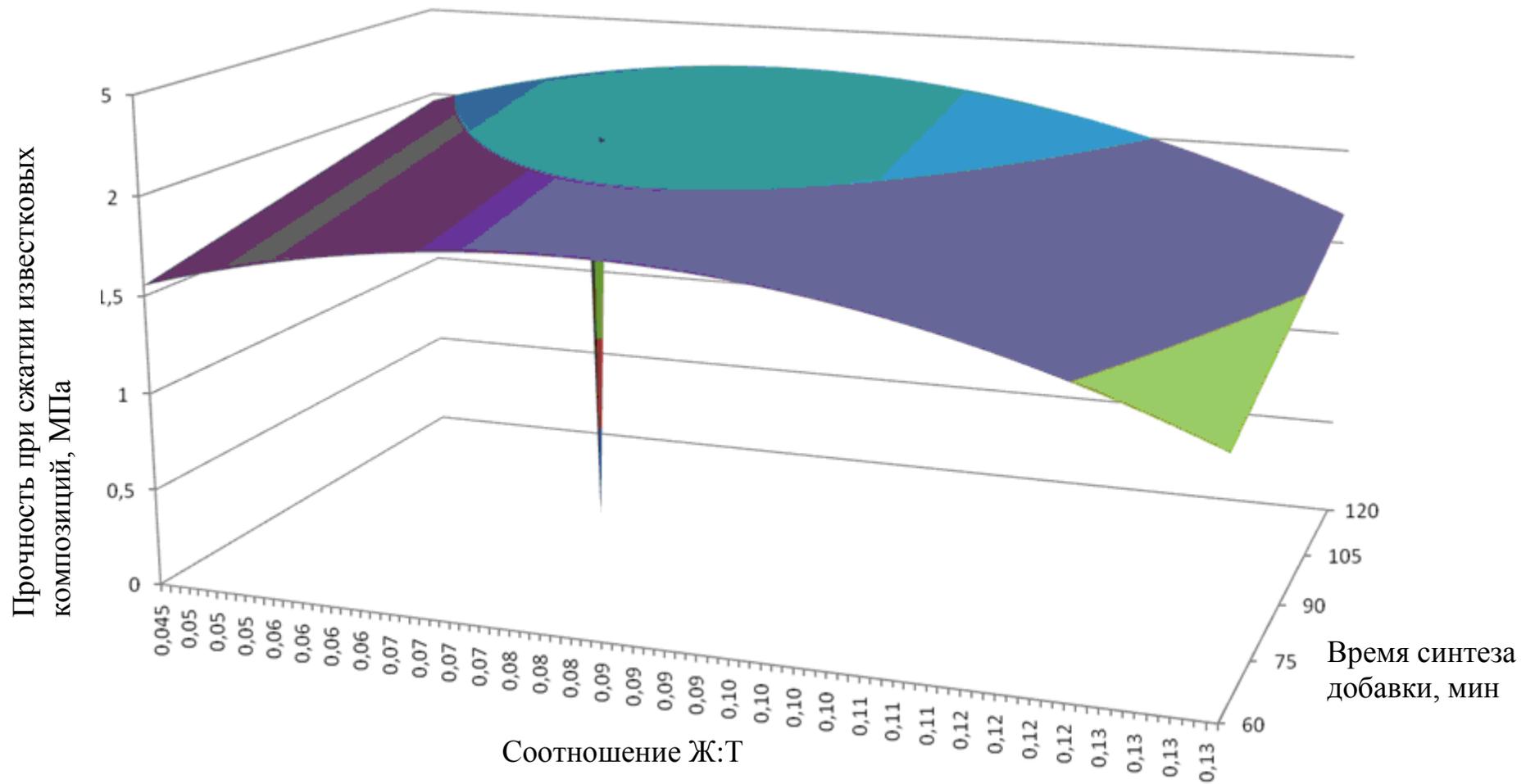


Рисунок 3.1 – Зависимость прочности при сжатии известкового композита от технологических факторов синтеза добавки

Таблица 3.7 – Прочность при сжатии известкового композита, В/И=1,25

Соотношение твердая:жидкая фаза Т:Ж, %	Время синтеза добавки, мин	Прочность при сжатии известковых композиций, МПа
0,045	60	2,125±0,12
0,135	60	1,201±0,113
0,045	120	2,355±0,098
0,135	120	1,419±0,076
0,026	90	1,11±0,087
0,15	90	1,009±0,093
0,09	48	1,757±0,153
0,09	132	2,213±0,117
0,09	90	2,12±0,077

Согласно положениям немецкого стандарта DIN EN 998-1-2010, долговечность и стойкость к внешним воздействиям штукатурных растворов достигаются при сохранении прочности на сжатие в интервале 2–5 МПа. Штукатурка в классе CS II обеспечивает надежное сцепление с большинством оснований, не создавая при этом излишне жесткой и плотной пленки, которая могла бы препятствовать выходу водяного пара из конструкции. Кроме того, растворы с такими прочностными характеристиками способны приспосабливаться к малым деформациям и противостоять трещинообразованию.

Анализ квадратичной модели позволил идентифицировать точки экстремума. На основании данных математического моделирования, ранее установленных значений пористости образцов с алюмосиликатной добавкой и требований DIN EN 998-1 определен оптимальный режим синтеза, предусматривающий введение микродисперсного порошка алюминия в жидкое натриевое стекло при температуре 60 °С в течение 90 минут. Оптимальное массовое соотношение компонентов составляет: алюминиевая пудра : жидкое стекло : вода = 1 : 8 : 14.

3.2 Свойства добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Синтезируемая добавка представляет собой легкий порошок светло-серого цвета с насыпной плотностью 550 кг/м³. В ходе синтеза добавки образуется большое количество газообразного молекулярного водорода, который создает в добавке поры различного размера и формы. Выход готового продукта составляет 90 %.

Оксидный состав добавки на основе аморфных алюмосиликатов представлен в таблице 3.8. Установлено, что преобладают оксиды алюминия, составляющие 51,03 %.

Таблица 3.8 – Содержание оксидов в составе добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Наименование оксида	Содержание, %
Al ₂ O ₃	51,03
SiO ₂	36,36
Na ₂ O	11,89
Fe ₂ O ₃	0,110
CaO	0,107
MgO	0,105
SO ₃	0,0290
TiO ₂	0,0124
K ₂ O	0,0112
Другие	0,3454
Σ	99,6546

Выявлено высокое содержание оксидов Al₂O₃, SiO₂, Na₂O, составляющее, соответственно, 51,03 %, 36,36 %, 11,89 % [73].

Для оценки минералогического состава синтезируемой добавки был проведен рентгенофазовый анализ (РФА). Количественное определение концентраций

кристаллических минеральных образований выполнено полнопрофильным РФА с применением программы DDMv.1.95d.

Рентгенофазовый анализ показал, что минеральный состав образца в основном представлен наноструктурированным кремнеземом и алюмосиликатами натрия. Кроме этого, на рентгенограмме присутствуют отражения металлического алюминия (рисунок 3.2).

Результаты полнопрофильного расчета рентгенограммы образца добавки приведены на рисунке 3.2 и рисунке 3.3.

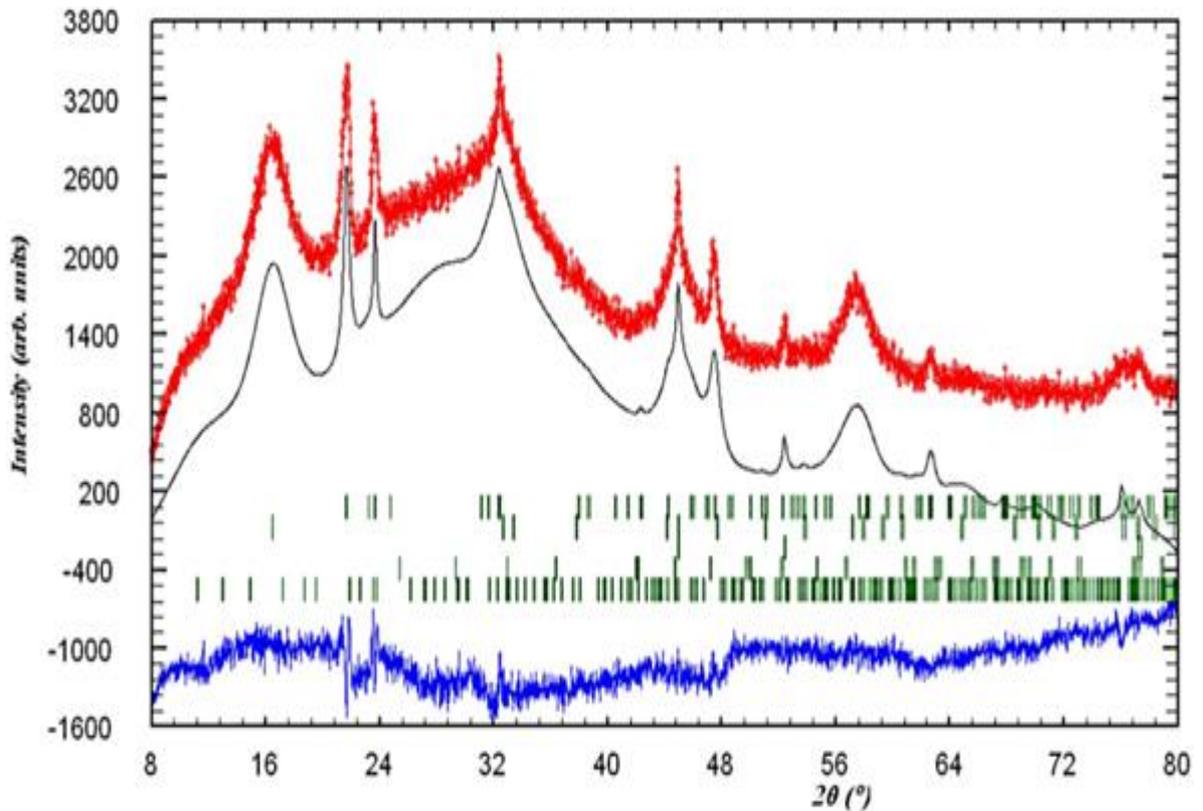


Рисунок 3.2 – Полнопрофильный расчет рентгенограммы образца алюмосиликатов

Установлено, что минеральный состав образца в основном представлен кристобалитом в кристаллической форме d , (Å) ($d=4,05$; $d=2,02$; $d=1,93$; $d=1,69$) и алюмосиликатами натрия d , (Å) ($d=5,51$; $d=3,77$; $d=2,76$; $d=1,74$).

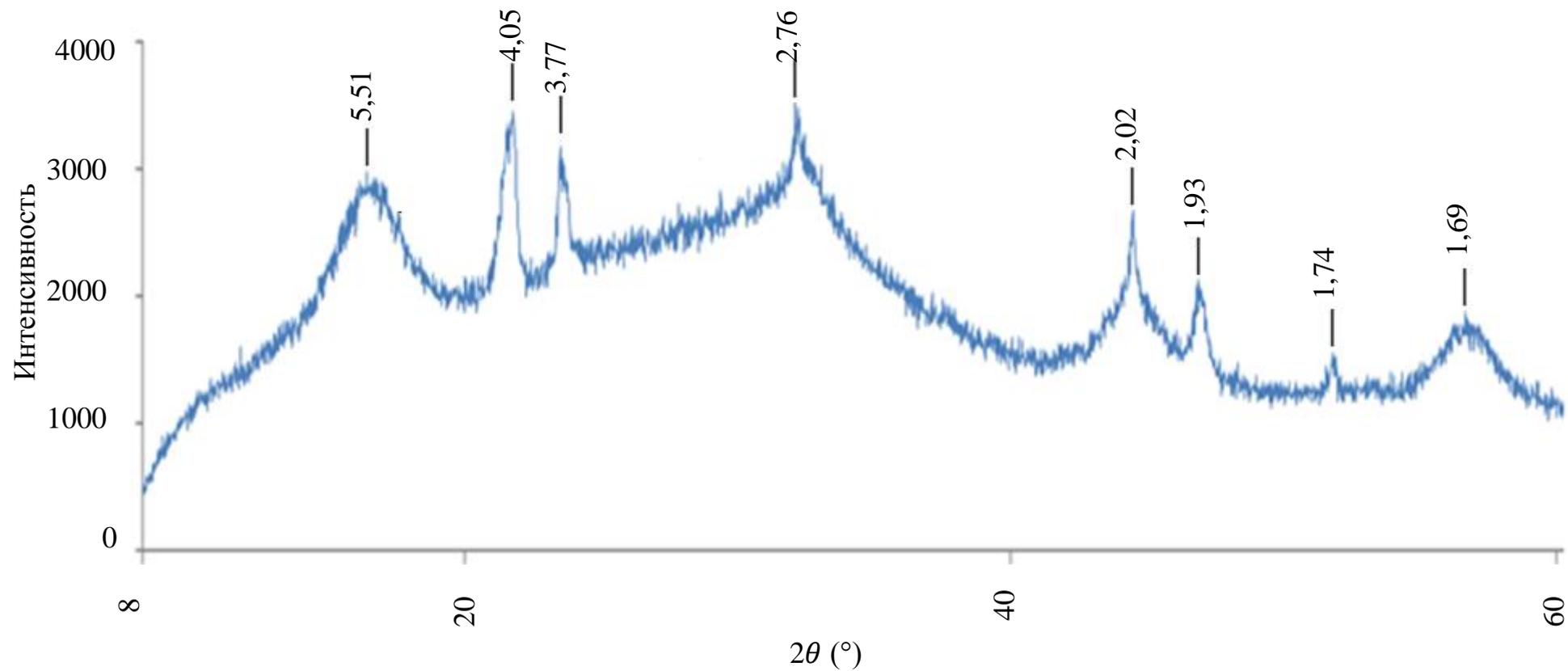


Рисунок 3.3 – Рентгенограмма образца алюмосиликатов 2θ (8–60°)

Аморфная фаза представлена алюминатом натрия. Содержание аморфной фазы составляет 83 %.

Исследование морфологии синтезированной добавки, выполненное с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3, выявило гетерогенную структуру, состоящую из образований различной формы. Размер частиц варьировался в диапазоне от 0,11 до 10,49 мкм (рис. 3.4).

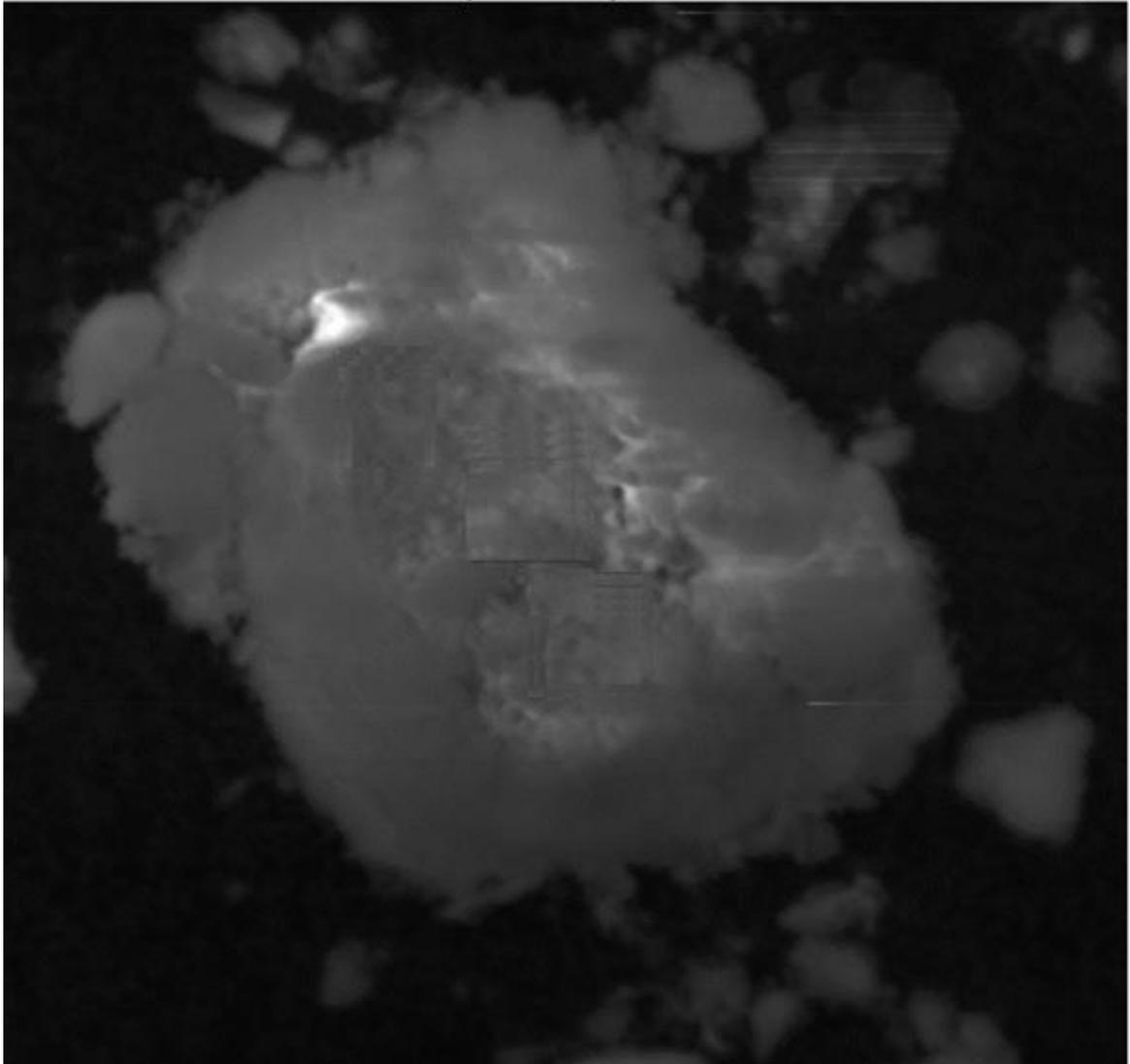


Рисунок 3.4 – Электронно-микроскопический снимок добавки

При исследовании характеристик добавки был выполнен анализ гранулометрического состава с использованием прибора Fritsch Particle Sizer Analysette 22. Этот метод позволил определить распределение частиц добавки по размерам, что является важным параметром для оценки ее однородности и эффективности в составе смесей [74] (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Гранулометрический состав добавки

Фракция, мкм	Процентное содержание, %
0,01–2,0	2,48
2,0–5,0	7,50
5,0–10,0	10,81
10,0–20,0	13,35
20,0–45,0	18,60
45,0–80,0	17,92
80,0–100,0	8,20
100,0–200,0	21,08
200,0–300,0	0,07

Полученные данные показывают, что 2,48 % состава составляют частицы размером 0,010–2,0 мкм, содержание частиц размером 200,000–300,000 мкм составляет 0,07 %.

3.3 Разработка фотокатализатора на основе оксида цинка с применением алюмосиликатной добавки

Высокое содержание SiO_2 , а также результаты исследований кислотно-основных свойств поверхности алюмосиликатной добавки указывают на способность к активному взаимодействию с фотокатализатором. Представленные данные позволяют сделать вывод о том, что синтезируемая добавка на основе алюмосиликатов способна выступать в качестве носителя для фотокатализатора.

На эффективность гетерогенного фотокатализа в основном влияет значение удельной поверхностью фотокатализатора. Существуют два основных эффективных способа увеличения площади поверхности фотокатализатора: уменьшение размера частиц фотокатализатора и иммобилизация фотокатализатора на поверхности носителя с большой удельной поверхностью

Для создания развитой поверхности фотокатализатора, интенсификации диффузионных процессов реагентов фотокаталитических реакций и увеличения площади контакта фотокатализатора с загрязнителем, а также поглощения и задержания в объеме фотокатализатора на более долгое время волн ультрафиолетового излучения применяли механический помол оксида цинка ZnO в планетарной мельнице. Измельчение проводили в течение 0,5, 1,5, 2,5 и 3,5 часов. Результаты исследований приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Удельная поверхность порошков оксида цинка в зависимости от времени помола

Время измельчения, ч	S, м ² /г
0	5,4
0,5	5,9
1,5	6,2
2,5	6,8
3,5	8,5

Фотокаталитическую активность полученных оксидов определяли в реакции разложения водного раствора красителя метиленового синего (МС) под действием УФ света. Эксперименты проводили с помощью УФ-лампы с диапазоном излучения 315–400 нм мощностью 18 Вт, которую помещали непосредственно под раствором на расстоянии 10 см от образца. Для этого готовили раствор МС с концентрацией красителя 0.1–0.2 г\л и фотокатализатора в количестве 0.1–1.5 % объема облучаемого раствора. Для определения степени деградации МС в зависимости от степени помола ZnO через равные промежутки времени отбирали от суспензии пробы и находили величину поглощения красителя при длине волны 664 нм с помощью фотоколориметра КФК-3КМ [76]. Результаты исследований приведены на рисунках 3.5 – 3.8.

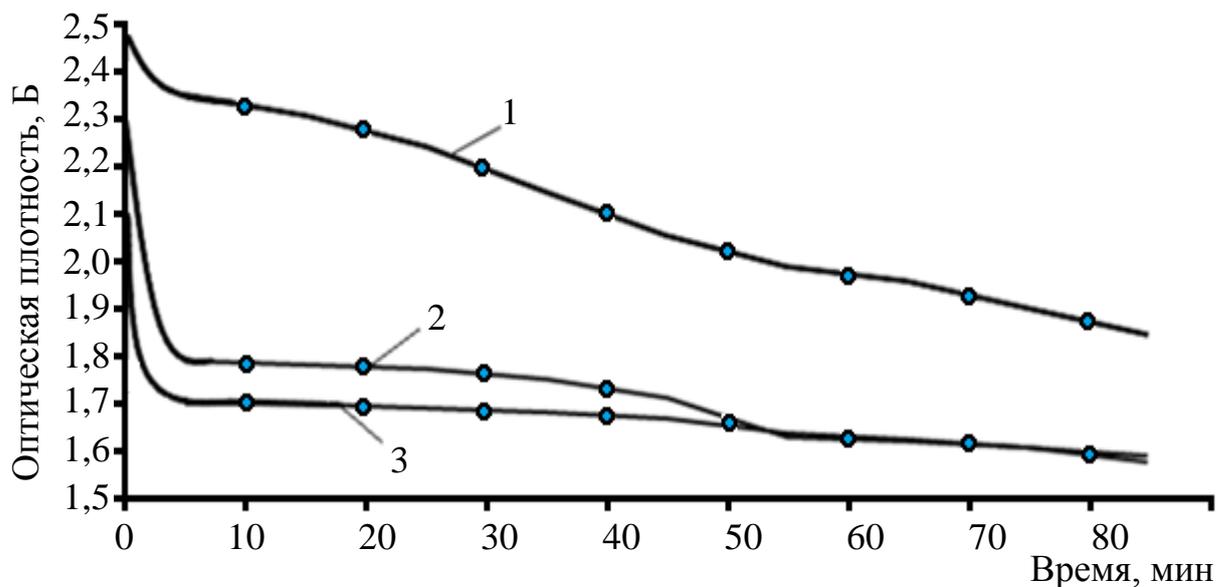


Рисунок 3.5 – Зависимость оптической плотности раствора красителя метиленового синего от времени облучения при содержании оксида цинка удельной поверхности $S=5,9 \text{ м}^2/\text{г}$: 1 – 1,5 %; 2 – 1 %; 3 – 0,5 %

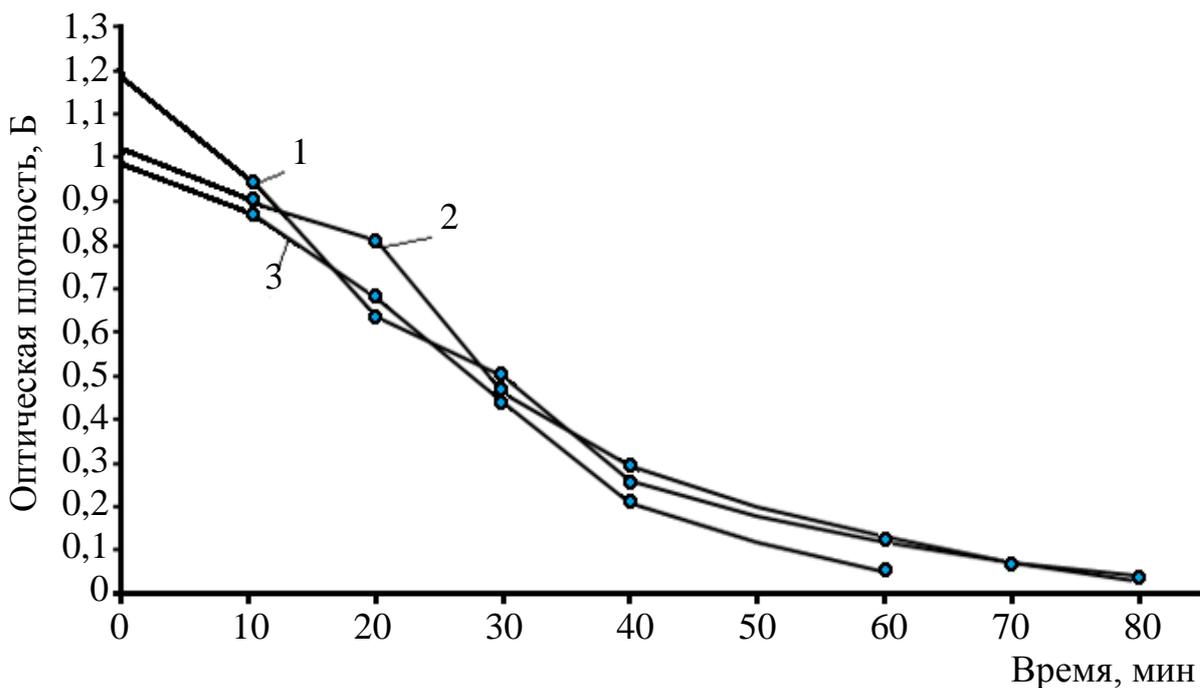


Рисунок 3.6 – Зависимость оптической плотности раствора красителя метиленового синего от времени облучения при содержании оксида цинка удельной поверхности $S=6,2 \text{ м}^2/\text{г}$: 1 – 1,5 %; 2 – 1 %; 3 – 0,5 %

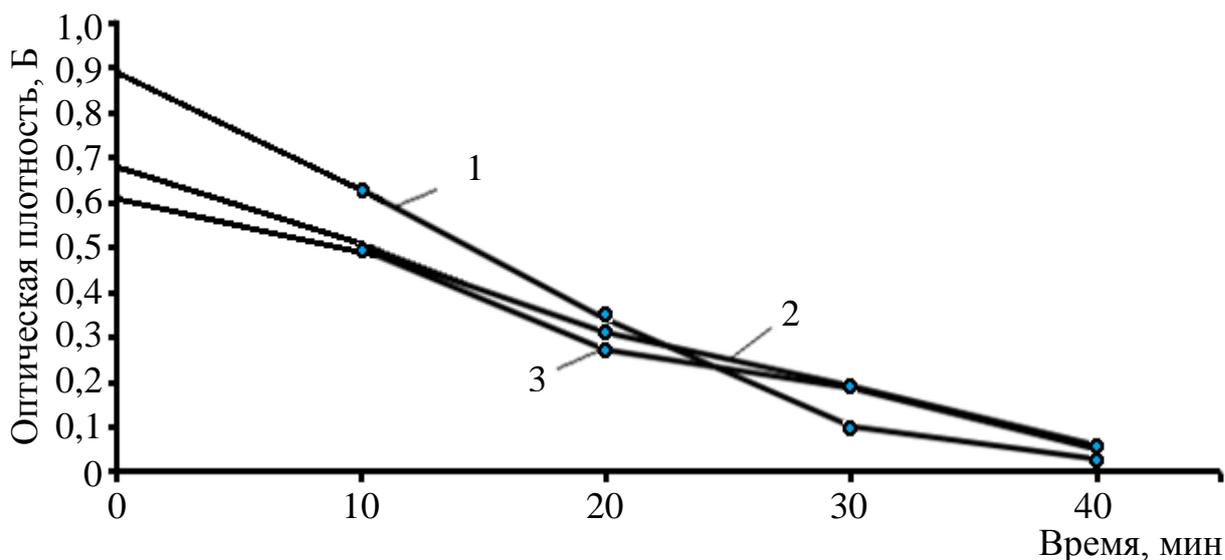


Рисунок 3.7 – Зависимость оптической плотности раствора красителя метиленового синего от времени облучения при содержании оксида цинка удельной поверхности $S = 8,5 \text{ м}^2/\text{г}$: 1 – 1,5 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %

Результаты исследований показывают, что с увеличением концентрации оксида цинка наблюдается большая скорость обесцвечивания раствора. Установлено, что наибольшей фотокаталитической активностью обладает оксид цинка, удельная поверхность которого составляет $8,5 \text{ м}^2/\text{г}$.

Исследована возможность применения добавки на основе синтезируемых алюмосиликатов в качестве подложки. Для иммобилизации фотокатализатора на поверхности носителя применяли смешивание оксида цинка с алюмосиликатной добавкой двумя способами:

- механическое смешивание синтезированной алюмосиликатной добавки и порошка оксида цинка;
- добавление порошка оксида цинка в процессе синтеза добавки в соотношении частей 1:8:14:2 (алюминиевая пудра: жидкое стекло: вода в соотношении).

Удельная площадь поверхности образца синтезированной алюмосиликатной добавки определялась по низкотемпературной сорбции азота методом БЭТ и

составила $101,28 \text{ м}^2/\text{г}$.

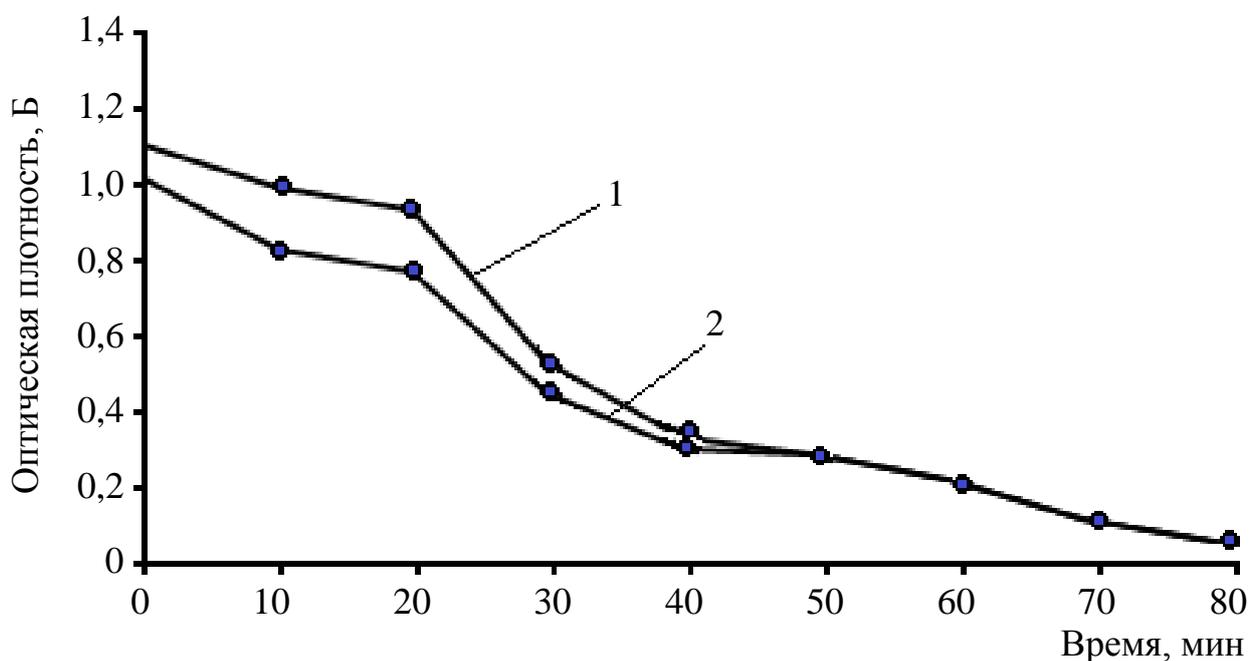


Рисунок 3.8 – Зависимость оптической плотности раствора красителя метиленового синего от времени облучения при содержании оксида цинка с удельной поверхностью $S=6,2 \text{ м}^2/\text{г}$: 1 – 1,0 %; 2 – 1 % оксид цинка, иммобилизованный на поверхности алюмосиликатной добавки

Максимальная скорость обесцвечивания раствора красителя метиленового синего наблюдается, если применяется фотокатализатор, иммобилизованный на поверхности алюмосиликатной добавки (рисунок 3.8).

Для установления механизма повышения фотокаталитической активности оксида цинка, иммобилизованного на поверхности алюмосиликатной добавки, были проанализированы ИК-спектры исследуемых образцов [56]. Измерения проводили в спектральном диапазоне $450-4450 \text{ см}^{-1}$ со спектральным разрешением 4 см^{-1} . Для удобства восприятия ИК-спектры нормировались и аддитивно смещались относительно нулевой точки по оси ординат. Полученные данные представлены на рисунке 3.9.

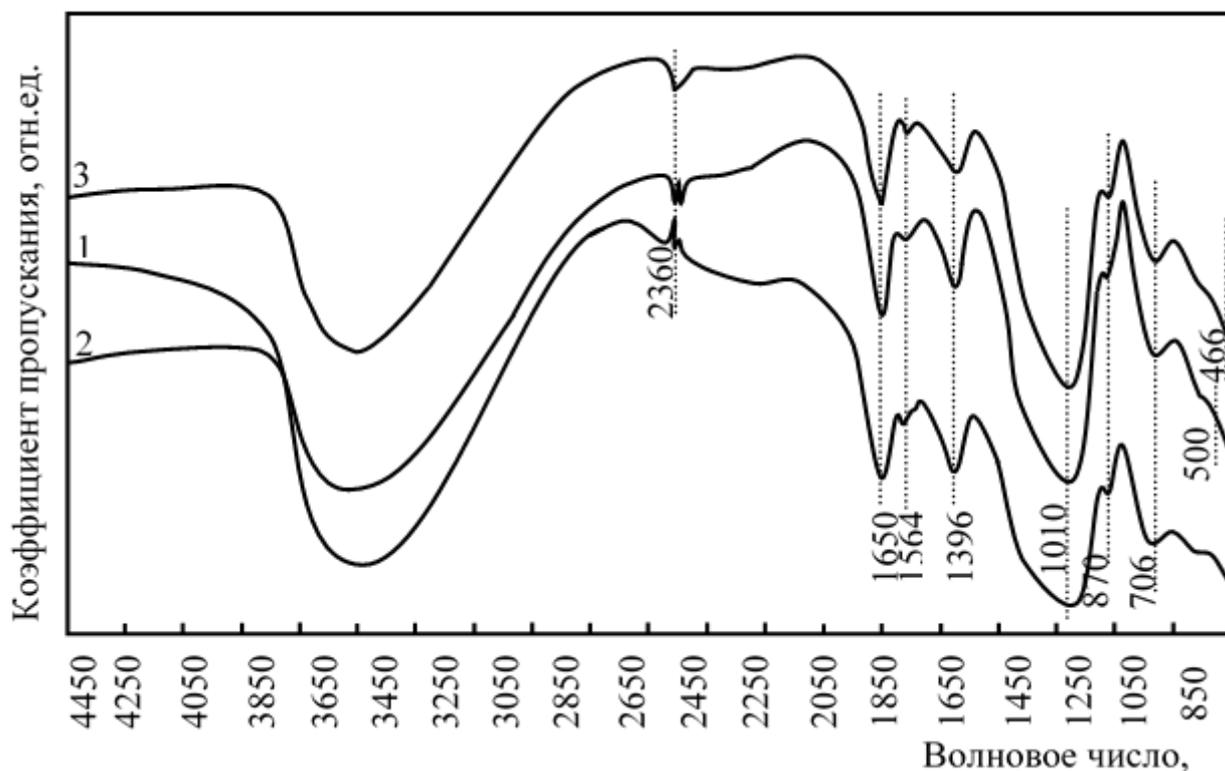


Рисунок 3.9 – ИК-спектры пропускания исследуемых образцов:

1 – алюмосиликатная добавка, 2 – смещение ультрадисперсного порошка ZnO и алюмосиликатной добавки; 3 – алюмосиликатная добавка с внесенным в процессе синтеза ультрадисперсным порошком ZnO

Ключевой особенностью анализируемых ИК-спектров является наличие полос и пиков поглощения, отвечающих не только алюмосиликатной добавке, но ультрадисперсному порошку ZnO. Непосредственно качественному составу алюмосиликатной добавки отвечают несколько характеристических полос и пиков поглощения, так, например, широкая интенсивная полоса поглощения около 1010 см^{-1} , соответствует валентным симметричным и ассиметричным колебаниям связей Si-O-Si. Пик поглощения малой интенсивности с максимумом 706 см^{-1} , наиболее вероятно, отвечает псевдорешеточным колебаниям колец, построенных из алюмо- и кремнекислородных тетраэдров. Слабоинтенсивные моды при 870 см^{-1} и 1396 см^{-1} принадлежат соответственно валентным колебаниям связей Al-O- и Si-O- в комплексном анионе алюмосиликата. Также все исследуемые образцы содержат воду как в связанном, так и свободном виде, на что указывает широкая

полоса поглощения $3050\text{--}3650\text{ см}^{-1}$, отвечающая валентным колебаниям ОН-групп, а также колебательная мода 1650 см^{-1} , которая относится к деформационным колебаниям Н-О-Н. Кроме того, в объеме и на поверхности образцов активно адсорбируется углекислый газ, о чем свидетельствует пик поглощения при 2360 см^{-1} , а также слабая колебательная мода 1564 см^{-1} , которая достоверно не идентифицируется и предположительно может принадлежать валентным асимметричным колебаниям CO_2 -группы.

Характеристической модой, соответствующей оксиду цинку, смешанному с алюмосиликатной добавкой, является мода при 500 см^{-1} (кривая 2 на рисунке 3.8), отвечающая деформационным решеточным колебаниям связей $\text{Zn}=\text{O}$. Следует отметить, что для объемного кристалла ZnO характерно положение данной моды около 450 см^{-1} , и ее сильное смещение (до 500 см^{-1}) может быть объяснено дефектами и микродеформациями кристаллической решетки в процессе механического высокоэнергетического размола порошка [185]. В свою очередь, для оксида цинка, добавляемого к алюмосиликатной добавке непосредственно в процессе синтеза, характерен пик поглощения с максимумом 466 см^{-1} (кривая 3 на рисунке 3.7). Наблюдаемое смещение данной моды является существенно более слабым и вероятно указывает либо на уменьшение микродеформаций кристаллической решетки за счет реконструкции поверхности частиц ультрадисперсного порошка ZnO , либо на уменьшение концентрации дефектов.

Для подтверждения данного предположения проводились спектрофотометрические измерения образцов. На рисунке 3.10 представлены спектры пропускания излучения через исследуемые образцы в видимом и ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Слабое поглощение излучения бромидом калия (при длинах волн более 200 нм) позволяет проводить исследования образцов непосредственно в виде спрессованных таблеток.

Анализ представленных на рисунке 3.10 спектров показывает, что все исследуемые образцы оптически прозрачны при длинах волн более 300 нм , что позволяет использовать метод Тауца для определения оптической ширины запрещенной зоны ZnO , основываясь на следующей формуле [138]:

$$(ah\nu)^n = A(h\nu - E_g), \quad (3.2)$$

где $ah\nu$ – коэффициент поглощения;

A – энергия фотона;

$h\nu$ – параметр аппроксимации;

E_g – оптическая ширина запрещенной зоны.

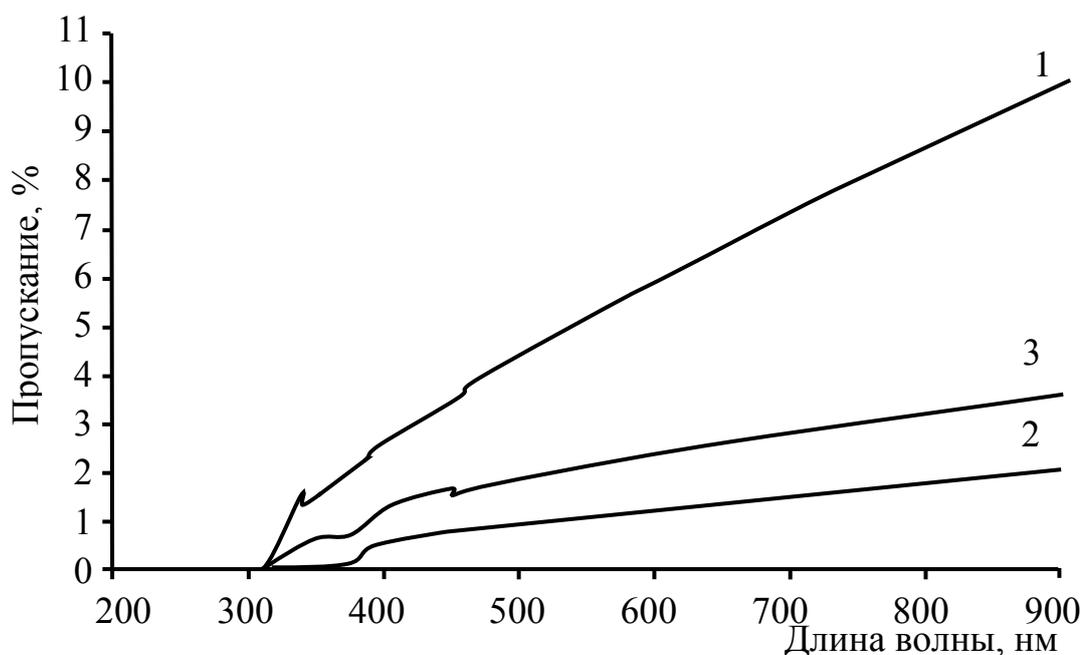


Рисунок 3.10 – Оптические спектры пропускания исследуемых образцов:
 1 – алюмосиликатная добавка, 2 – смешение ультрадисперсного порошка ZnO и алюмосиликатной добавки; 3 – алюмосиликатная добавка с внесенным в процессе синтеза ультрадисперсным порошком ZnO

Для прямозонного полупроводника коэффициент $n=2$, в то время как для непрямозонного $n=0.5$. В рамках настоящего исследования предполагалось, что оксид цинка является прямозонным полупроводником.

На рисунке 3.11 представлены результаты определения оптической ширины запрещенной зоны ZnO в исследуемых образцах по методу Тауца.

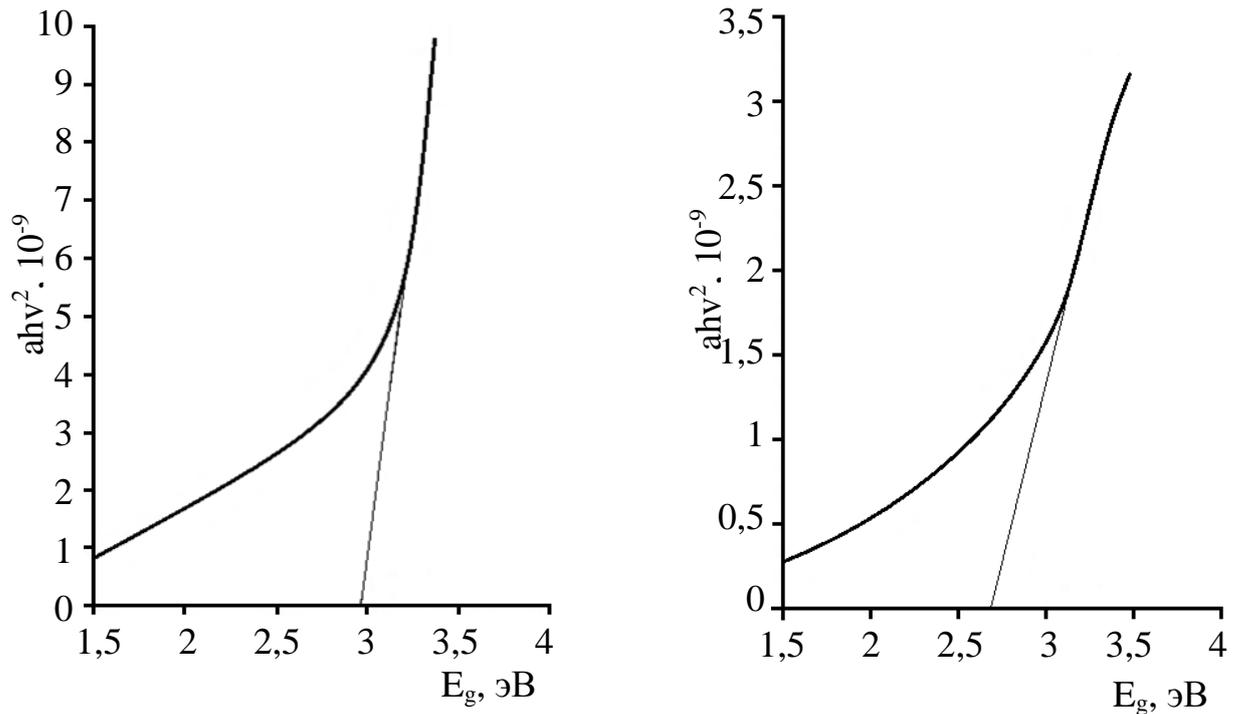


Рисунок 3.11 – Определение оптической ширины запрещенной зоны ZnO по методу Тауца в исследуемых образцах: а – смешивание ультрадисперсного порошка ZnO и алюмосиликатной добавки; б – алюмосиликатная добавка с внесенным в процессе синтеза ультрадисперсным порошком ZnO

Анализ полученных результатов показывает, что оптическая ширина запрещенной зоны оксида цинка составляет 2,96 эВ и 2,70 эВ, что существенно меньше типичного значения 3,37 эВ, характерного для объемного материала. Данное обстоятельство, по всей видимости, может быть связано с легированием высокодефектного ультрадисперсного порошка ZnO ионами алюминия или кремния в процессе синтеза или смешения с алюмосиликатной добавкой, что коррелирует с данными инфракрасной спектроскопии. Ионы Al^{3+} , замещая ионы Zn^{2+} в кристаллической решетке, выступают как доноры, предоставляя дополнительные электроны в зону проводимости. В результате для оптического перехода электрону требуется меньшая энергия, что наблюдается как уменьшение ширины запрещенной зоны.

3.4 Оценка энергетических свойств поверхности фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтезируемых алюмосиликатах

Локализованный характер процессов взаимодействия синтезированной добавки и вяжущего в значительной степени зависит от энергетических параметров активных центров [86, 87]. Данное положение обосновывает необходимость исследования дисперсного распределения адсорбционных центров по кислотно-основным характеристикам в соответствии с теориями Бренстеда-Льюиса [86, 87].

Для определения пространственного распределения и концентрации кислотно-основных центров на поверхности частиц добавки применяли индикаторный метод адсорбции с использованием индикаторов, характеризующихся различными значениями констант диссоциации pK_a^x . Количественную оценку адсорбционных центров заданной кислотной силы ($q_{pK_a^x}$, мг-экв/г или мг-экв/м²) осуществляли фотометрическим способом. Методика обеспечивает дифференцированное определение суммарной кислотности по Льюису и Бренстеду с классификацией реакционных центров по типу и силе в зависимости от величины pK_a^x используемого индикатора.

Адсорбционное взаимодействие протекает одновременно на бренстедовских и льюисовских центрах в соответствии со значением pK_a^x индикатора. Исследования охватывали диапазоны бренстедовских кислотных ($pK_a = 0-7$) и основных ($pK_a = 7-13$) центров, а также льюисовских кислотных центров ($pK_a > 13$). Величине $pK_a = +7$ соответствуют центры нейтрального характера. Рост значений pK_a^x свидетельствует об усилении донорных свойств атомов металлов, тогда как их снижение указывает на преобладание акцепторных характеристик [66].

На основе экспериментальных данных построена кривая распределения кислотно-основных центров на поверхности алюмосиликатной добавки, модифицированной ультрадисперсным порошком оксида цинка, в координатах $q = f(pK_a^x)$ (рис. 3.12).

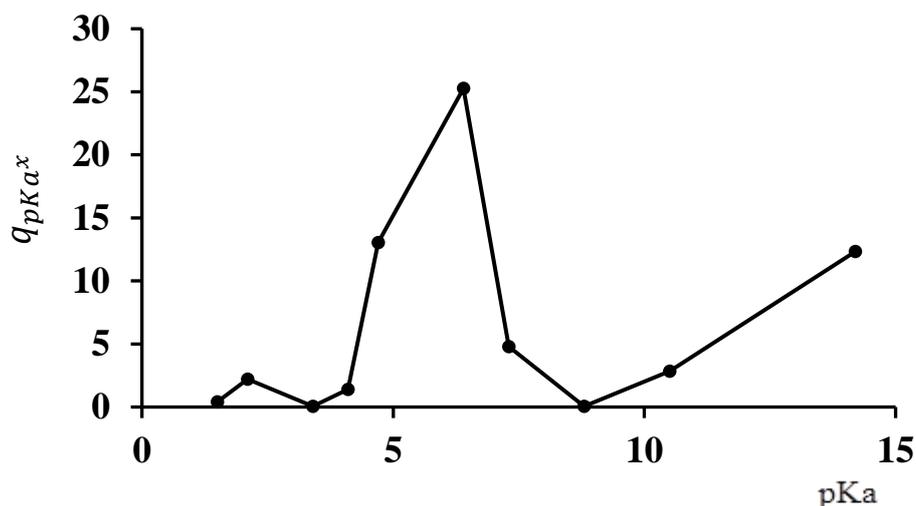


Рисунок 3.12 – Кривая распределения кислотно-основных центров на поверхности частиц фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтезируемой алюмосиликатной добавке

Установлено, что кислотно-основный центр поверхности образца добавки характеризуется преобладанием центров $pK_a=+4,7$, $pK_a=+6,4$. Суммарное количество кислотных центров $\sum q_{pKa} = 53,72$ ммоль/г и основных центров $\sum q_{pKa} = 7,70$ ммоль/г.

Повышение кислотности поверхностного центра по Бренстеду ($pK_a < 7$) способствует возрастанию акцепторной способности атома элемента.

Такое строение кислотных центров алюмосиликатов объясняется изоморфным замещением четырехвалентного Si в решетке SiO_2 на атомы трехвалентного Al. При этом алюминий стремится провзаимодействовать с молекулой воды, давая центр Бренстеда.

Кислотный центр Бренстеда представляет собой гидроксильную группу, образованную вблизи атома алюминия, связанного с двумя кремнекислородными тетраэдрами. Кислотный центр Льюиса возникает в алюмосиликате при удалении двух гидроксильных групп (в виде молекулы воды) с образованием трех координированных атомов Al и предположительно атомов Si с избыточным положительным зарядом.

Выводы по главе 3

1. Установлены закономерности синтеза добавки на основе аморфных алюмосиликатов, предназначенной для известковых сухих строительных смесей. Установлены оптимальные параметры синтеза добавки, заключающиеся в добавлении микродисперсных порошков алюминия марки ПАП-1 в натриевое жидкое стекло с модулем 2,9 и выдерживании смеси при температуре 60 °С в течение 90 мин. Оптимальным является состав с соотношением компонентов алюминиевая пудра: жидкое стекло: вода: ZnO в соотношении 1: 8: 14: 2.

2. Разработана модель параметров синтеза добавки на основе аморфных алюмосиликатов, позволяющая оптимизировать время синтеза добавки и соотношение компонентов при изготовлении алюмосиликатной добавки.

3. Установлен гранулометрический состав добавки, в котором 2,48 % составляют частицы размером 0,01–2,0 мкм, содержание частиц размером 80,000–100,000 мкм составляет 8,20 %. Истинная плотность добавки на основе аморфных алюмосиликатов составляет $\rho_{\text{ист}}=2100 \text{ кг/м}^3$, а насыпная $\rho_{\text{нас}}=550 \text{ кг/м}^3$. Выявлено, что в оксидном составе алюмосиликатной добавки преобладают оксиды алюминия, составляющие 51,03 %.

4. Методами рентгенофазового анализа и дифференциально-термического анализа установлено, что минеральный состав образца добавки на основе алюмосиликатов, в основном, представлен кристобалитом и алюмосиликатами натрия. Аморфная фаза, представленная алюминатом натрия, составляет 83 %.

5. Исследован характер энергетических свойств поверхности добавки. Установлено, что кислотно-основные центры поверхности фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтезируемой алюмосиликатной добавке, характеризуются преобладанием центров по Бренстеду. Содержание активных центров в области $\text{pK}_a < 7$ составляет 53,72 ммоль/г, в области $\text{pK}_a > 13$ – 7,70 ммоль/г.

6. Установлена зависимость между изменением структурных свойств порошков оксида цинка, полученных методом механического размола в планетарной

мельнице и их фотокаталитической активностью. Выявлено, что оксид цинка, удельная поверхность которого составляет 8,5 м²/г, обладает наибольшей фотокаталитической активностью.

7. Установлено повышение фотокаталитической активности оксида цинка, иммобилизованного на поверхности алюмосиликатной добавки. Выявлено уменьшение оптической ширины запрещенной зоны оксида цинка в присутствии синтезированного цеолита до 2,7–2,9 эВ в зависимости от технологии получения фотокатализатора.

Глава 4 СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

4.1 Закономерности структурообразования известковых составов с применением добавки на основе оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах

Для исследования процесса структурообразования известковых композитов были изготовлены образцы на основе извести-пушонки 1 сорта, активность которой составляла 84,4 %. В состав композитов вводилась алюмосиликатная добавка совместно с оксидом цинка, содержание которой варьировалось в пределах 1–30 % от массы извести (таблица 4.1). Образцы твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18-20 °С и относительной влажности воздуха 60-70 %. Результаты испытаний приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Прочность известкового композита с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов

Содержание добавки, % от массы извести	Прочность при сжатии, МПа, возраст, сут.			
	3	7	14	28
Контрольный, В/И=1,0	0,33±0,012*	0,51±0,017	0,75±0,017	1±0,058
1	0,62±0,054	1,35±0,068	1,58±0,075	1,75±0,99
5	0,82±0,061	1,56±0,072	2±0,096	2,16±0,127
10	0,9±0,048	1,88±0,088	2,8±0,13	2,71±0,108
10**	0,88±0,071	1,79±0,096	2,43±0,53	2,65±0,112
20	0,64±0,055	1,73±0,091	2,23±0,63	2±0,117
30	0,65±0,07	1,82±0,069	2,2±0,077	2±0,095

Примечания. * Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала.

** Значения прочности при использовании добавки, синтезированной в присутствии ZnO

Анализ данных свидетельствует, что максимальная прочность известковых образцов достигается при введении алюмосиликатной добавки, синтезированной в присутствии ZnO, в количестве 10 % от массы извести. Так, прочность при сжатии образцов после 28 суток воздушного твердения с применением добавки равна $R_{сж} = (2,71 \pm 0,108)$ МПа. Используя полученные результаты, были изготовлены и испытаны образцы известкового композита с содержанием 10 % алюмосиликатной добавки, содержащей ZnO. Полученная прочность при сжатии образцов составляет $R_{сж} = (2,65 \pm 0,112)$ МПа, что указывает на незначительное снижение прочностных характеристик при выборе оптимального содержания добавки с использованием ZnO в процессе синтеза.

Спустя 28 суток твердения у композитов, приготовленных на основе составов с большим содержанием алюмосиликатной добавки (20–30 % от массы извести) наблюдается снижение прочности. Для подтверждения этого был проведен количественный полнопрофильный РФА (рисунок 4.1) [28, 49].

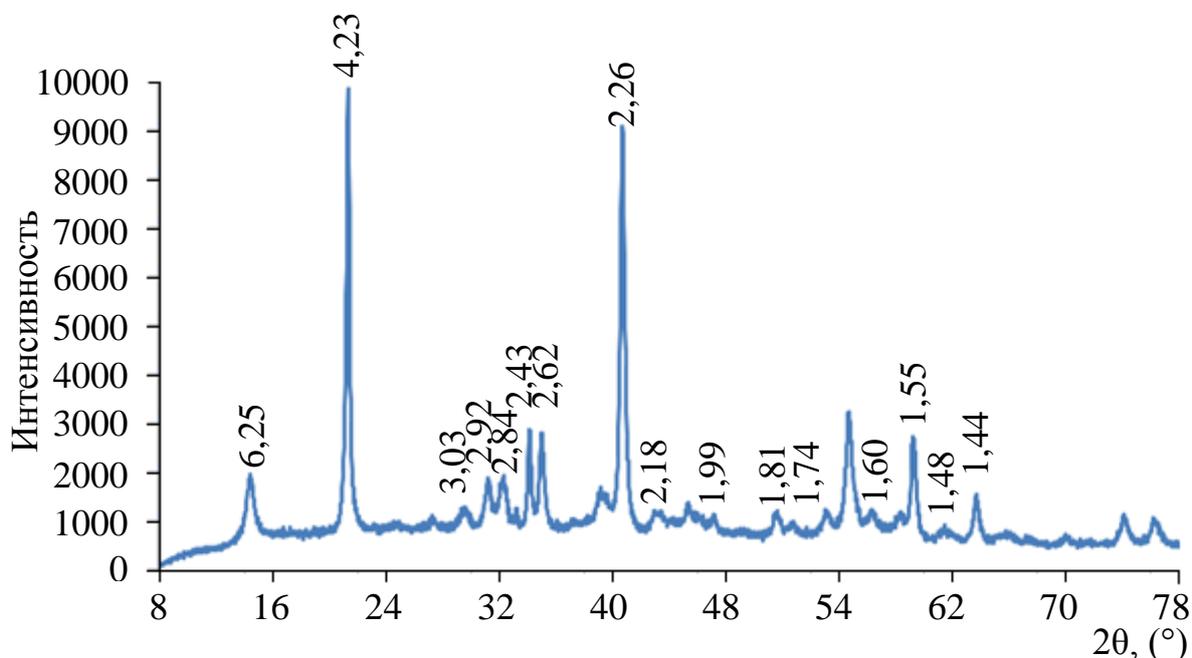


Рисунок 4.1 – Рентгенограмма известкового образца на основе разрабатываемого состава с применением алюмосиликатной добавки, синтезированной в присутствии ZnO

Повышение прочности известковых композитов при введении добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированной в присутствии ZnO, обусловлено наличием дополнительных химических образований.

Выявлено, что минералогический состав известковых композитов представлен портландитом $d, (\text{Å})$ (2,6281; 1,4831), кальцитом $d, (\text{Å})$ (3,03; 1,44; 1,60), гидросиликатами кальция, $d, (\text{Å})$ (6,25; 4,23; 2,26; 2,92; 1,81; 1,74; 2,84; 1,99; 2,18), гидроалюминатами кальция $d, (\text{Å})$ (1,74; 1,55; 2,43). [28, 116].

Для верификации экспериментальных данных выполнен дифференциально-термический анализ на установке «Термоскан-2». На термограмме известкового композита с алюмосиликатной добавкой, синтезированной в присутствии оксида цинка (рис. 4.2, кривая 2), идентифицированы характерные тепловые эффекты:

- эндотермический пик в интервале 80–130 °С (1.227 Дж), соответствующий удалению адсорбционной влаги;
- ступенчатая дегидратация гидроалюмината кальция при 150–210 °С (2.17 Дж);
- интенсивная эндотермическая реакция в области 479–550 °С (13.77 Дж), обусловленная дегидратацией портландита;
- диссоциация карбонатных соединений при 800–1000 °С (16.82 Дж) с потерей массы 9.93% [28, 116].

Сравнительный анализ термограмм модифицированных и контрольных образцов выявил снижение теплового эффекта дегидратации портландита с 25.63 Дж (контрольный состав) до 13.77 Дж (модифицированный состав), что коррелирует с уменьшением содержания свободной извести с 47.67% до 31.41% после 28 суток твердения.

Дополнительно установлено, что введение 10% алюмосиликатной добавки вызывает умеренное снижение рН жидкой фазы с 13.43 (контроль) до 13.31 в течение 1.5 часов после затворения.

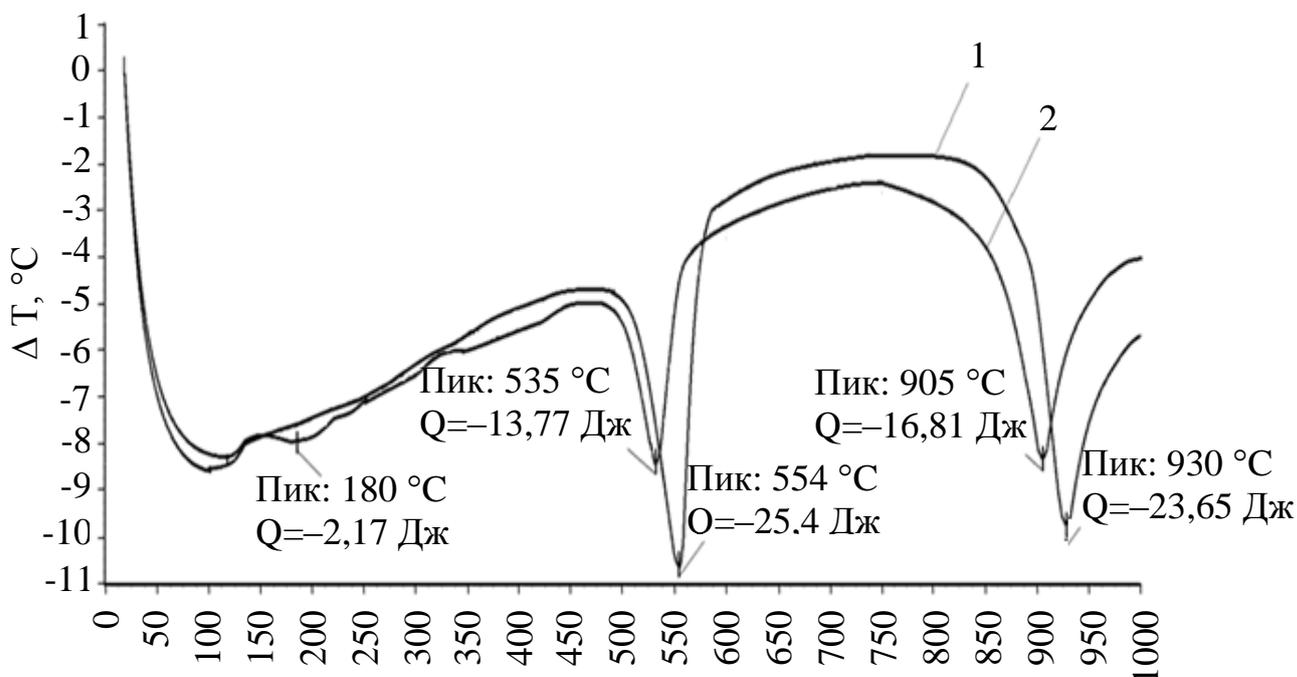


Рисунок 4.2 – Термограмма образцов: 1 – контрольный образец;
 2 – образец с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов,
 синтезированных в присутствии ZnO

Проводили сравнительные исследования влияния добавки на основе аморфных алюмосиликатов и добавок диатомита, и микрокремнезема на процессы структурообразования известковых систем (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Влияние алюмосиликатной добавки на рН жидкой фазы известковой системы

Время	Состав				
	Известь (без добавок)	Известь+микро кремнезем 5 %	Известь+добавка 10 %+микрокре мнезем 5 %	Известь: диатомит 1:3 + добавка 10 %	Известь+ добавка 10 %
0	13,37	13,06	12,86	12,61	12,81
30	13,42	13,18	13,28	13,1	13,35
60	13,43	13,19	13,30	13,11	13,37
90	13,43	13,19	13,31	13,13	13,31

Установлено, что введение в известковую систему одновременно добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, и 5 % микрокремнезема от массы извести не приводит к изменению значения pH жидкой фазы. Через полтора часа после введения добавок значение pH оставалось на уровне 13,31. Это свидетельствует о том, что комбинация данных добавок не оказывает существенного влияния на щелочность системы, сохраняя ее стабильность.

Для повышения прочности и водостойкости образцов ССС предложено вводить в их состав белый цемент. Однако важно подобрать оптимальное количество белого цемента, так как он непосредственно влияет на паропроницаемость отделочного слоя на основе разрабатываемого состава сухой строительной смеси.

Зависимость прочности при сжатии от процентного содержания белого цемента приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Влияние содержания белого цемента на прочность при сжатии известковых образцов

Содержание белого цемента, % от массы извести	Прочность при сжатии, МПа
Контрольный состав (без белого цемента)	2,5
1	2,7
5	2,9
10	3,7

Кроме того, использование введения добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, способствует повышению теплоты структурообразования известкового композита (рисунок 4.3).

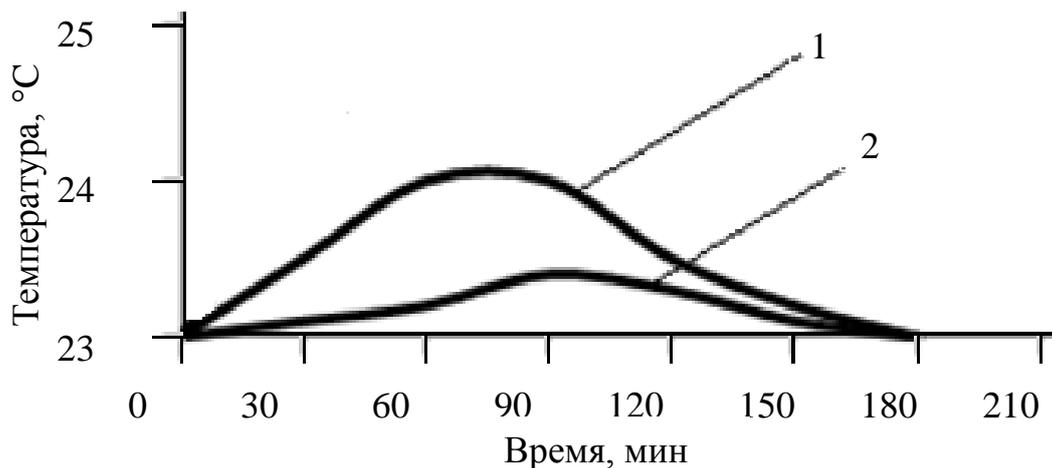


Рисунок 4.3 – Изменение температуры в процессе структурообразования известковой системы: 1 – известковый состав с содержанием добавки в количестве 10 %; 2 – контрольный состав

Использование белого цемента в количестве 5 % от массы извести способствует росту прочности известкового композита.

Так, прочность при сжатии образцов после 28 суток воздушного твердения с применением белого цемента равна $R_{сж}=2,9$ МПа, прочность контрольного образца равна $R_{сж}=2,5$ МПа.

Установлено, при введении алюмосиликатной добавки, синтезированной в присутствии ZnO, в количестве 10 % от массы извести максимальная температура структурообразования составляет 24 °С и достигается спустя 60 мин.

4.2 Влияние наполнителя на прочностные характеристики известковых составов с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Добавку на основе алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, предполагается применять при изготовлении теплоизоляционных сухих строительных смесей. В связи с этим в состав смеси вводился диатомит при соотношении известь: диатомит=1:3, перлитовый песок марки М150 в количестве 5–30 % от массы извести. Оптимизация состава наполнителями направлена на формирование пористой структуры с минимальной теплопроводностью. Введение

синтезируемой добавки с иммобилизованным оксидом цинка обеспечивает синергетический эффект повышения механической прочности и функциональных характеристик композита.

Кинетика набора прочности известковых образцов с использованием диатомита в зависимости от процентного содержания добавки представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Прочность при сжатии известково-диатомитового композита

Содержание добавки, % от массы извести	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.			
	3	7	14	28
Контрольный, В/И=5,0	0,33	0,51	0,75	1
1	0,5	1,74	2,45	2,6
5	0,55	2,28	2,49	2,7
10	0,65	1,73	2,45	2,38
20	0,75	2,05	2,3	2,25
30	0,8	2,03	2,2	1,9

В возрасте трех суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии известково-диатомитового композита на основе состава с содержанием алюмосиликатной добавки в количестве 10 % от массы извести составляет $R_{сж}=0,65$ МПа, а на основе контрольного состава – $R_{сж}=0,33$ МПа.

В возрасте 14 суток прочность при сжатии образца с содержанием 10 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов составляет $R_{сж}=2,45$ МПа, а на основе контрольного состава – $R_{сж}=0,75$ МПа.

Совместное введение в известковый композит добавки на основе алюмосиликатов/ZnO и диатомита обеспечивает значительный прирост прочности при сжатии на 90–170% в зависимости от дозировки (таблица 4.4). При этом максимальная прочность известково-перлитовых образцов (2,88 и 2,81 МПа) достигается при содержании 30% перлитового песка марки М150, кинетика набора прочности которыми представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Прочность известкового композита с содержанием 5–30 % перлитового песка в присутствии алюмосиликатной добавки

Содержание перлитового песка, % от массы извести	Прочность при сжатии, МПа	
	алюмосиликатная добавка	алюмосиликатная добавка + ZnO
Контрольный состав (без перлитового песка)	2,71±0,096*	2,65±0,112
5	2,72±0,072	2,68±0,093
15	2,81±0,102	2,74±0,086
30	2,88±0,119	2,80±0,108

Примечание. * Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

В таблице 4.6 приведены значения прочности известкового композита с применением перлитового песка в количестве 15 % в зависимости от времени твердения.

Таблица 4.6 – Прочность при сжатии известкового композита

Содержание алюмосиликатной добавки, % от массы извести	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.			
	3	7	14	28
Контрольный, В/И=1,0	0,33±0,012*	0,51±0,017	0,75±0,017	1±0,058
1	0,81±0,052	1,44±0,081	1,67±0,081	1,8±0,109
5	0,9±0,059	1,68±0,067	2,12±0,101	2,22±0,117
10	1,1±0,049	1,96±0,079	2,9±0,132	2,81±0,114
10**	0,95±0,071	1,76±0,096	2,78±0,086	2,74±0,086
20	0,74±0,075	1,82±0,094	2,35±0,75	2,16±0,13
30	0,76±0,09	1,91±0,073	2,3±0,09	2,14±0,0156

Примечание. * Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

** Значения прочности при использовании добавки, синтезированной в присутствии ZnO

В возрасте 3 суток воздушно-сухого твердения образец с 10% алюмосиликатной добавкой демонстрирует прочность при сжатии $(1,1 \pm 0,049)$ МПа, что в 3,3 раза превышает показатель контрольного состава $(0,33 \pm 0,012)$ МПа. При увеличении срока твердения прочность продолжает расти, достигая $(2,81 \pm 0,114)$ МПа.

Однако образцы на основе таких составов при содержании перлитового песка более 15 % характеризуются повышенными усадочными деформациями. Поэтому в дальнейшем содержание песка составляло 15 % от массы извести.

4.3 Влияние добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, на реологические и технологические свойства известковых смесей

Исследовали влияние содержания в известковом вяжущем добавки на основе аморфных алюмосиликатов на реологические свойства известкового композита (таблица 4.7). Установлено, что известковые составы представляют собой пластические системы, реологическое поведение которых описывается уравнением Шведова-Бингама:

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}, \quad (4.1)$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па;

η – пластическая вязкость, Па·с;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с^{-1} .

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что с увеличением содержания добавки наблюдается некоторое возрастание значений статического напряжения сдвига и увеличение значение динамического напряжения сдвига, особенно значительно при содержании добавки более 10 %. В таблице 4.7 приведены экспериментальные данные динамического напряжения сдвига известкового композита с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов [68].

Таблица 4.7 – Напряжение сдвига известкового теста в зависимости от содержания алюмосиликатной добавки

Содержание добавки, %	Статическое напряжение сдвига, МПа	Динамическое напряжение сдвига, МПа, при скорости вращения, об/мин		Пластическая вязкость, Па·с, при скорости вращения, об/мин	
		200–400	300–600	200–400	300–600
-	0,0004	0,000176	0,000276	45,18	57,23
1	0,00041	0,000185	0,000285	45,18	57,23
5	0,00042	0,000194	0,000294	45,18	57,23
10	0,00043	0,000205	0,000298	45,18	60,24
20	0,00045	0,000215	0,000312	49,69	63,25
30	0,00046	0,000217	0,000316	49,69	66,26

Проведенный анализ свидетельствует о структурирующем влиянии алюмосиликатной добавки (синтезированной с ZnO) на процесс твердения. С увеличением содержания добавки наблюдается увеличение напряжения сдвига и рост пластической вязкости теста. Так, динамическое напряжение сдвига у известкового состава составляет при числе оборотов 200–400 об/мин $\tau = 0,000176$ МПа, а у состава, на основе композиционного вяжущего с содержанием алюмосиликатной добавки 5 % $\tau = 0,000194$ МПа, с содержанием алюмосиликатной добавки 20 % – $\tau = 0,000215$ МПа

Установлено, что введение алюмосиликатной добавки в известковую смесь приводит к более быстрому набору пластической прочности (рисунок 4.4).

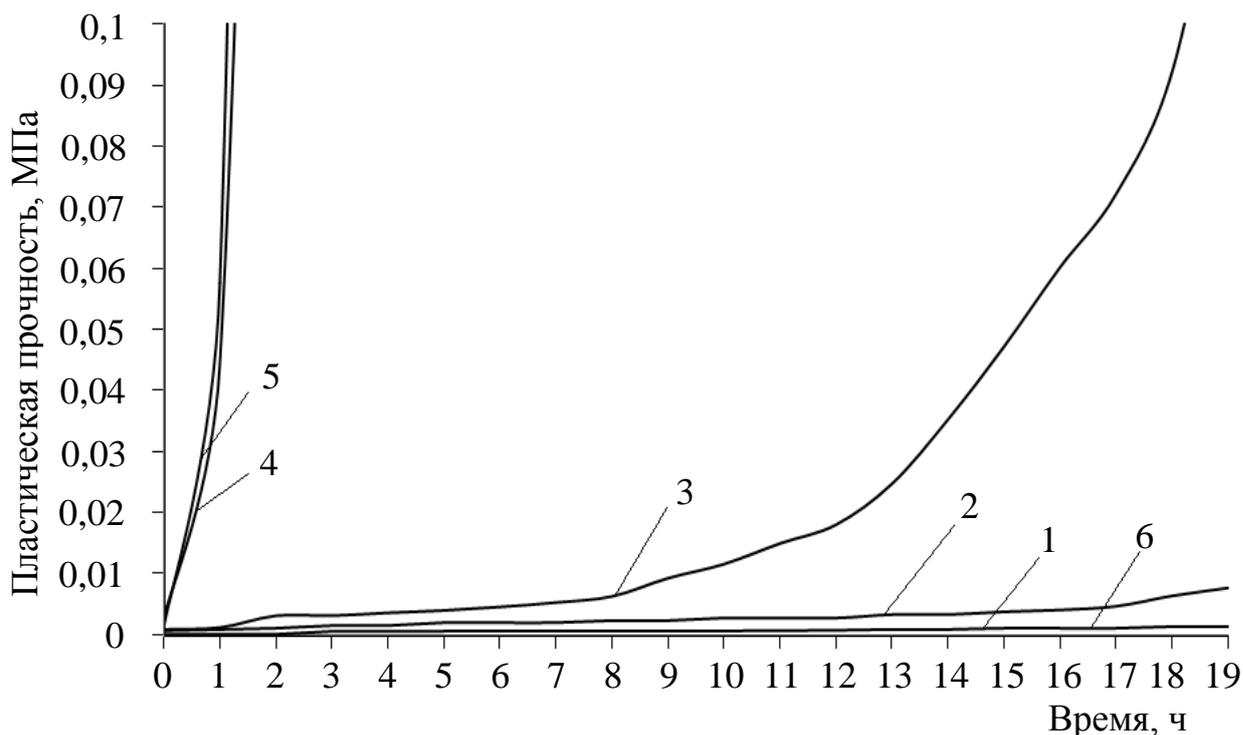


Рисунок 4.4 – Изменение пластической прочности известкового теста с применением алюмосиликатной добавки: 1 – содержание добавки 1 % от массы извести; 2 – содержание добавки 5 % от массы извести; 3 – содержание добавки 10 % от массы извести; 4 – содержание добавки 20 % от массы извести; 5 – содержание добавки 30 % от массы извести; 6 – контрольный образец (без добавки)

Анализ пластограмм показал, что оптимальное количество алюмосиликатной добавки составляет 10 %, т.к. использование добавки более 10 % вызывает резкий рост пластической прочности известкового теста, что снижает жизнеспособность состава и отрицательно сказывается на прочностных характеристиках композита (таблица 4.1).

С целью регулирования реологических свойств известковой смеси применяли пластифицирующие добавки Кратасол-ПФМ, С-3, Sika ViscoCrete-3180, Melflux 1641F в количестве 0,6–1 % от массы извести [71, 52].

В качестве наполнителей использовали перлитовый песок и диатомит. Результаты исследований приведены на рисунке 4.5 и рисунке 4.6.

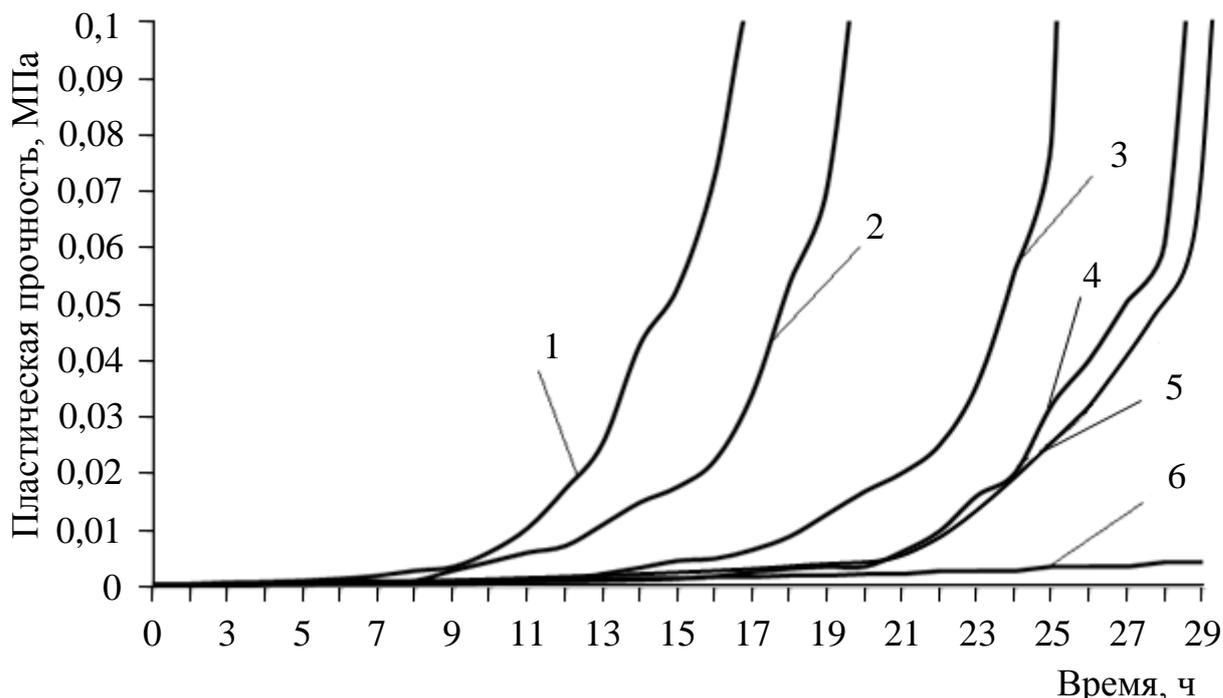


Рисунок 4.5 – Кинетика пластической прочности смеси на основе известково-диатомитового состава с добавкой аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO: 1 – без пластифицирующих добавок; 2 – с применением пластификатора Sika ViscoCrete-3180; 3 – с применением пластификатора С-3; 4 – с применением пластификатора Кратасол-ПФМ; 5 – с применением пластификатора Melflux 1641F; 6 – смесь на основе извести с добавлением диатомита в соотношении 1:3 (без добавок)

Результаты исследований демонстрируют повышение пластической прочности при использовании добавки на основе аморфных алюмосиликатов (рис. 4.5, кривая 1; рис. 4.6, кривая 1). Установлено, что через 5 часов твердения контрольный состав достигает значения $\tau = 0,00089$ МПа (рис. 4.5, кривая 6), тогда как модифицированный состав характеризуется значением $\tau = 0,0020$ МПа (рис. 4.5, кривая 1).

Анализ пластограмм (рис. 4.5) показывает, что введение пластифицирующих добавок замедляет процесс структурообразования. Через 5 часов после затворения

состав с добавкой «Кратасол-ПФМ» (1% от массы извести) демонстрирует пластическую прочность $\tau = 0,000504$ МПа (рис. 4.5, кривая 4), при использовании «Sika ViscoCrete-3180» (1% от массы извести) – $\tau = 0,001$ МПа (рис. 4.5, кривая 2), а с добавкой С-3 (1% от массы извести) – $\tau = 0,000504$ МПа (рис. 4.5, кривая 3).

Состав с добавкой Melflux 1641F (0,6% от массы извести) характеризуется значением пластической прочности $\tau = 0,000325$ МПа (рис. 4.6, кривая 5). Проведенный анализ данных свидетельствует о более выраженном пластифицирующем эффекте при использовании поликарбоксилатных добавок (Sika ViscoCrete-3180, Melflux 1641F) в сравнении с модификаторами на основе лигносульфонатанафталина (С-3) и полиметиленафталинсульфонатов натрия (Кратасол-ПФМ). Так, начальная пластическая прочность смеси с добавкой Sika ViscoCrete-3180 и Melflux 1641F составляет $\tau=0,000429$ МПа и $\tau=0,000195$ МПа соответственно, а с добавками С-3 и Кратасол-ПФМ, соответственно, $\tau=0,00044$ МПа и $\tau=0,000479$ МПа. Однако, в последующем составы с добавкой Sika ViscoCrete-3180 характеризуются более быстрым набором пластической прочности.

Схожие закономерности выявлены для известково-перлитовых композиций. Анализ их реологических характеристик показывает, что составы с перлитовым песком отличаются ускоренным набором пластической прочности относительно известково-диатомитовых систем. Установлено, что через 5 часов твердения контрольный состав достигает значения $\tau = 0,0011$ МПа (рис. 4.6, кривая 6), тогда как образец с алюмосиликатной добавкой демонстрирует показатель $\tau = 0,0118$ МПа (рис. 4.6, кривая 1).

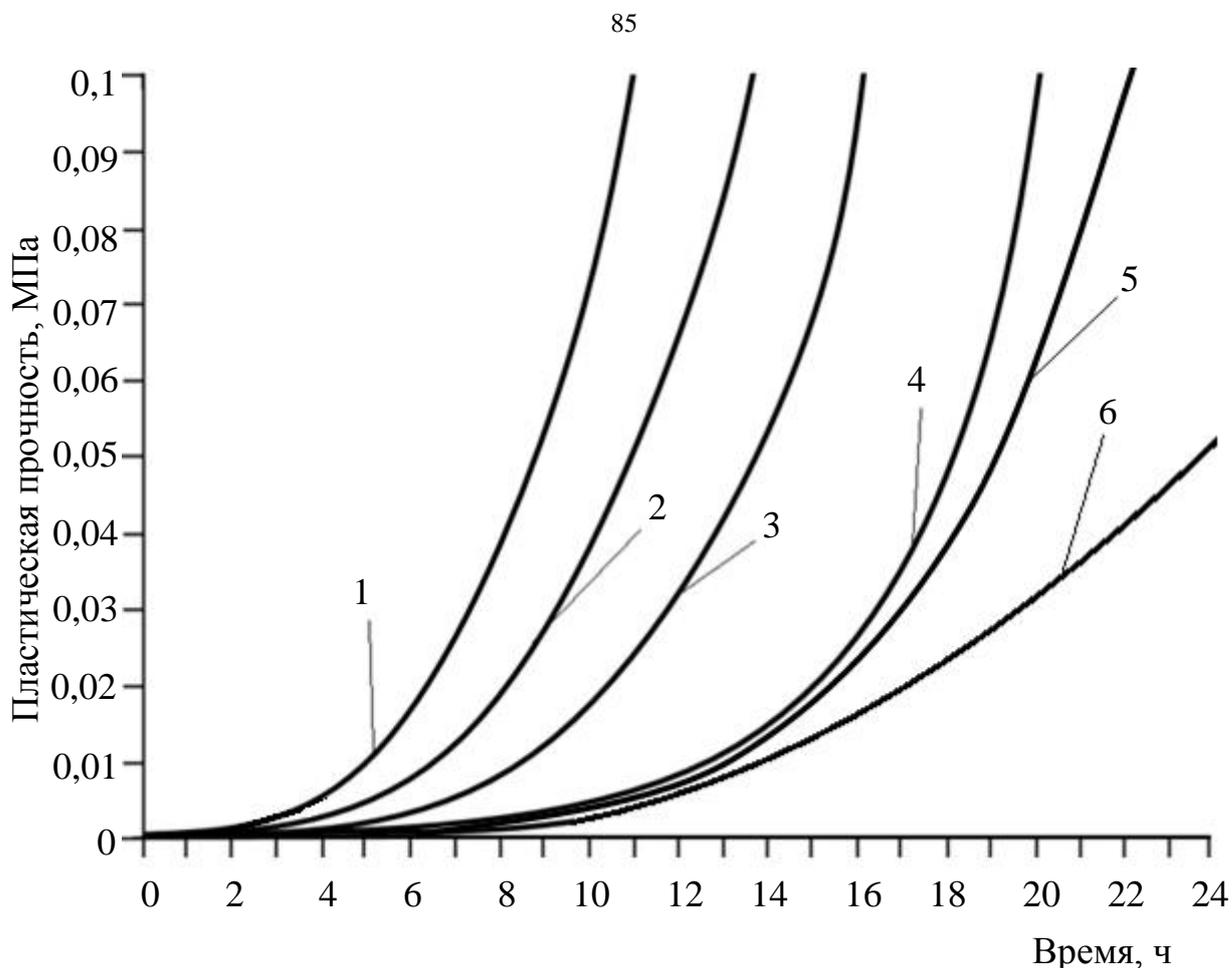


Рисунок 4.6 – Кинетика пластической прочности смеси на основе известково-перлитового состава с добавкой на аморфных алюмосиликатах, синтезированных в присутствии ZnO: 1 – без пластифицирующих добавок; 2 – с применением пластификатора Sika ViscoCrete-3180; 3 – смесь на основе известково-перлитового состава с пластификатора С-3; 4 – с применением пластификатора Кратасол-ПФМ; 5 – с применением пластификатора Melflux 1641F; 6 – смесь на основе извести с добавлением перлита (без добавок)

В возрасте пять часов с момента затворения пластическая прочность состава с добавкой Кратасол-ПФМ в количестве 1 % от массы извести составляет $\tau=0,00204$ МПа (рисунок 4.6, кривая 4), а при добавлении Sika ViscoCrete-3180 в количестве 1 % от массы извести – $\tau=0,005$ МПа (рисунок 4.6, кривая 2). Пластическая прочность состава с добавкой С-3 в количестве 1 % от массы извести составляет $\tau=0,00214$ МПа (рисунок 4.6, кривая 3). Пластическая прочность состава с добавкой Melflux 1641F в количестве 0,6 % от массы извести составляет

$\tau=0,00306$ МПа (рисунок 4.6, кривая 5). Таким образом, на основе анализа результатов влияния пластификатора на пластическую прочность составов выявлено, что добавка Melflux 1641F оказывает наилучший пластифицирующий эффект в сравнении с остальными пластификаторами.

Критерием выбора пластификаторов служил их водоредуцирующий эффект в дозировке 0,6–1 % от массы извести. Экспериментально установлено, что добавка Melflux 1641F обладает максимальным водоредуцирующим коэффициентом – 1,57. Показатели добавок Кратасол-ПФМ и С-3 оказались значительно ниже (1,42 и 1,38 соответственно), ни одна из них не достигла целевого значения 1,5. С добавкой Sika ViscoCrete-3180 значение водоредуцирующего коэффициента составило 1,5. Но, как говорилось ранее, пластифицирующий эффект этой добавки наблюдается только на ранней стадии твердения. На более поздних сроках твердения наблюдается резкий рост пластической прочности.

Значения водоредуцирующего эффекта добавок приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Значения водоредуцирующего эффекта добавок

Наименование пластификатора	Содержание добавки, % от массы вяжущего	Состав вяжущего	
		Известь-пушонка	Известь-пушонка + добавка
Кратасол-ПФМ	1	1,33	1,42
С-3	1	1,31	1,38
Sika ViscoCrete-3180	1	1,42	1,5
Melflux 1641F	0,6	1,49	1,57

Для увеличения прочности, а также для улучшения когезионных и адгезионных свойств покрытия, в рецептуру ССС вводились редуцируемые порошки (таблица 4.9). Для оценки эффективности применения различных редуцируемых порошков измерялась прочность при сжатии известковых композитов после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С.

Таблица 4.9 – Прочность известковых композитов

Состав	Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа
Известь, В/И=1	1
Известь с добавлением 5 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов и 0,6 % пластификатора Melflux 1641F, В/И=1	2,22±0,189*
Известь с добавлением 5 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов, 0,6 % пластификатора Melflux 1641F и 5 % Neolith P4400, В/И=1	3,35±0,209
Известь с добавлением 5 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов, 0,6 % пластификатора Melflux 1641F и 5 % VINNAPAS 5044N, В/И=1	4,26±0,133
Известь с добавлением 5 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов, 0,6 % пластификатора Melflux 1641F и 5 % VINNAPAS 8031H, В/И=1	4,75±0,149
Известь с добавлением 5 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов+ZnO, 0,6 % пластификатора Melflux 1641F и 5 % VINNAPAS 8031H, В/И=1	4,48±0,101
Известь с добавлением 5 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов, 0,6 % пластификатора Melflux 1641F и 5 % Mowilith PulverDM 1142P	3,75±0,121

Примечание. * Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

Введение в рецептуру смеси редиспергируемого порошка вызывает ускорение структурообразования (рисунок 4.7).

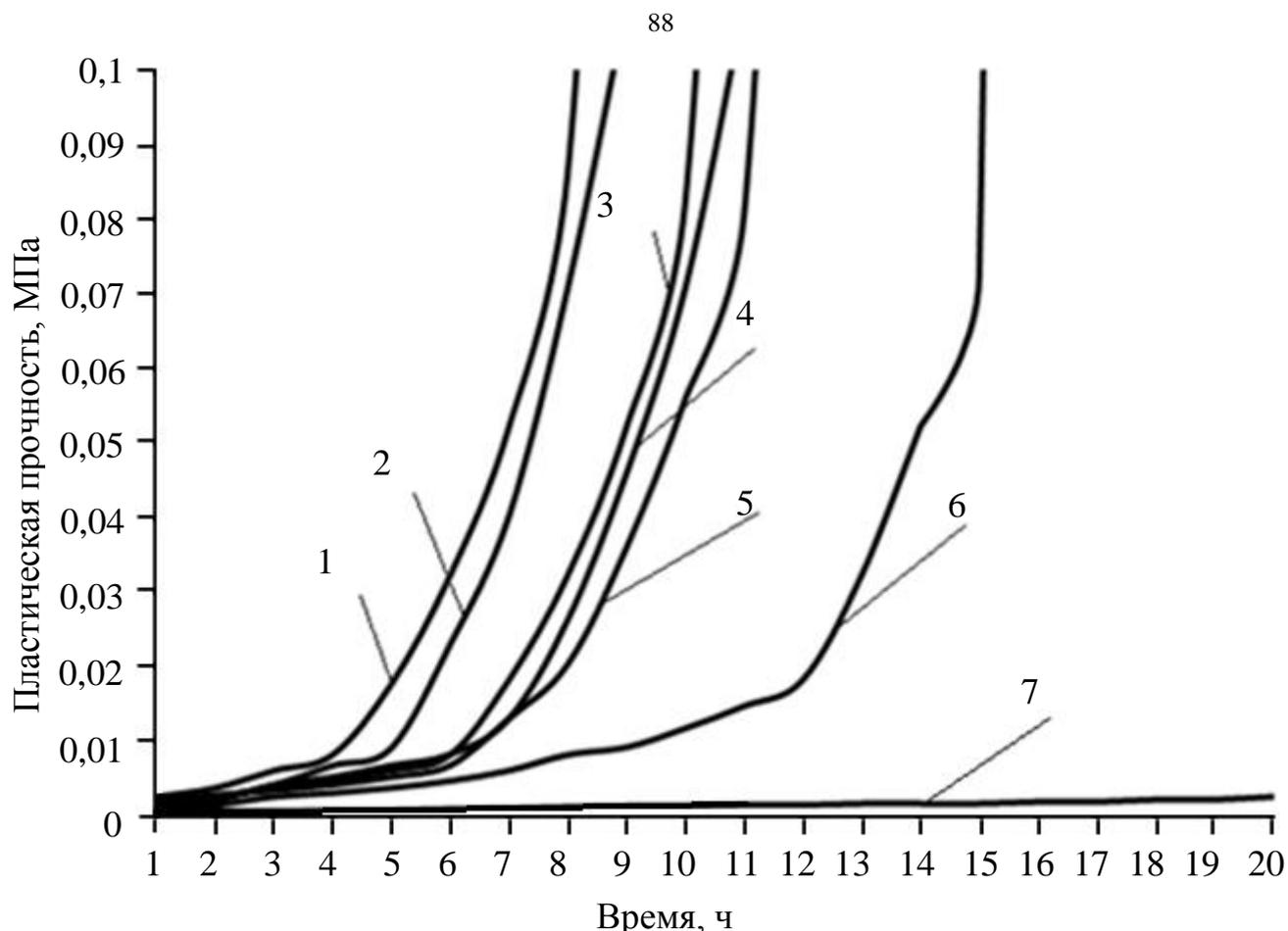


Рисунок 4.7 – Кинетика пластической прочности смеси: 1 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами, синтезированными в присутствии ZnO, с добавлением VINNAPAS 5044N; 2 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами (первый состав) с добавлением Neolith P4400; 3 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами (второй состав) с добавлением VINNAPAS 5044N; 4 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами (второй состав) с добавлением Neolith P4400; 5 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами (первый состав) с добавлением VINNAPAS 8031H; 6 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами (второй состав) с добавлением VINNAPAS 8031H; 7 – контрольный состав (без добавок)

Уже в возрасте пять часов с момента затворения пластическая прочность состава с добавлением VINNAPAS 5044N составляет $\tau = 0,0022$ МПа (рисунок 4.7, кривая 1), а при добавлении Neolith P4400 – $\tau = 0,0012$ МПа (рисунок 4.7, кривая 2).

Согласно данным таблицы 4.9, модификация известковых композитов редиспергируемыми полимерными порошками способствует повышению их прочностных характеристик. Максимальные значения прочности при сжатии после 28 суток воздушно-сухого твердения зафиксированы для состава с 5% содержанием добавки VINNAPAS 8031N от массы извести, достигая величины $R_{сж} = (4,75 \pm 0,149)$ Мпа.

Водоудерживающая способность как ключевой технологический показатель отделочных композиций обеспечивает стабильность реологических характеристик. Значения этого параметра для известковых систем с аморфной алюмосиликатной добавкой представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Влияние модифицирующих добавок на водоудерживающую способность известковых смесей с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO

№ п\п	Состав	В/И	Водоудерживающая способность, %
	1	2	3
1	Известь + алюмосиликатная добавка (10 %)	1	94,5
2	Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %) + Белый цемент (5 %)	1	94,8
3	Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %) + Белый цемент (5 %) + Melflux 1641F (0,6 %)	1	98,3
4	Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %) + Белый цемент (5 %) + Кратасол-ПФМ (1 %)	1	95,3

Продолжение таблицы 4.10

	1	2	3
5	Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %) + Белый цемент (5 %) + Кратасол-ПФМ (1 %) + Mecellose FMC 2094 (0,3 %)	1	96,2
6	Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %) + Белый цемент (5 %) + Melflux 1641F (0,6 %) + Mecellose FMC 2094 (0,3 %)	1	99,2

При использовании добавки VINNAPAS 8031N наблюдается увеличение водоудерживающей способности до 94,8 %. При совместном введении добавок VINNAPAS 8031N и Melflux 1641F водоудерживающая способность повышается до 98,3 %. В случае совместного применения добавок Mecellose FMC 2094 и Melflux 1641F водоудерживающая способность достигает максимального значения – 99,2 %. Эти данные свидетельствуют о синергетическом эффекте при совместном использовании добавок, что способствует значительному улучшению водоудерживающих свойств системы.

Экспериментально установлено, что период жизнеспособности состава, модифицированного добавкой на основе синтетического цеолита, достигает 80 минут. Согласно стандартной методике испытаний, временные интервалы высыхания до степени 3 и 7 составляют 15 и 35 минут соответственно.

Выводы по главе 4

1. Установлены закономерности твердения известковых растворов с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов. Введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, в известковую систему приводит к незначительному снижению pH жидкой фазы, способствует

повышению теплоты структурообразования. Подобрана оптимальная концентрация минеральной добавки, составляющая 10 % от массы извести. Показано, что введение в известковый состав добавки на основе аморфных алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, способствует повышению прочности при сжатии образцов возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения на 158 %.

2. Методом рентгенофазового анализа выявлено, что минералогический состав известковых композитов представлен портландитом, кальцитом, гидросиликатами кальция, гидроалюминатами кальция. Выявлено увеличение количества химически связанной извести на 68,59 %.

3. Установлены закономерности изменения реологических и технологических свойств известковых растворных смесей в зависимости от рецептурно-технологических факторов. Установлен больший пластифицирующий эффект добавок на основе поликарбоксилатных эфиров по сравнению с добавками на основе модифицированных лигносульфонатов натрия в известковых системах с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов. Установлено оптимальное содержание пластифицирующей добавки и редуцируемого порошка. Выявлено, что совместное введение пластифицирующих и модифицирующих добавок в рецептуру известковых сухих строительных смесей способствует повышению водоудерживающей способности составов до 99,2 %.

Глава 5 ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ОТДЕЛОЧНОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ

5.1 Фотокаталитические свойства известковых покрытий с добавкой на основе синтетических алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO

Оценка эффективности самоочищающей способности образцов проводилась с использованием двух методов:

1. Метод фотокаталитического разложения органического красителя родамина Б (Rhodamine B, $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$)

Методика основана на фиксации изменения оптических характеристик образцов при воздействии ультрафиолетового излучения. Исследования выполнены в соответствии с регламентом итальянского стандарта UNI 11259, регламентирующего оценку фотокаталитической активности гидравлических вяжущих методом родамин-теста. Сущность метода заключается в нанесении красителя родамин Б на поверхность образцов с последующей экспозицией в УФ-излучении. Количественная оценка фотокаталитической активности материала осуществлялась путем мониторинга динамики уменьшения интенсивности окраски через заданные временные интервалы, характеризующей скорость фотодегradации красителя.

2. Метод изменения краевого угла смачивания

Второй способ оценки самоочищающей способности заключался в измерении краевого угла смачивания поверхности образцов до и после облучения ультрафиолетовым светом. Этот метод позволяет определить, насколько поверхность становится гидрофильной под воздействием света, что является важным показателем её способности к самоочищению.

Оба метода позволяют комплексно оценить эффективность самоочищающихся свойств материалов, что особенно важно для их применения в строительстве и других областях, где требуется устойчивость к загрязнениям.

Для оценки фотокаталитической активности были изготовлены образцы покрытия на основе известкового вяжущего с применением алюмосиликатной добавки, синтезированной в присутствии ZnO , а также с добавлением перлита в качестве наполнителя. Тест проводился в возрасте семи суток.

Для окраски приготовлен раствор красителя родамина Б, который наносился на подготовленную поверхность образцов. Затем образцы помещались в деревянный шкаф под ультрафиолетовую лампу (315–400 нм), установленную на высоте около 10 см от кубиков на 24 часа. Ниже представлены фото образцов сразу после нанесения раствора и через каждые четыре часа, последующие началу облучения (рисунок 5.1).

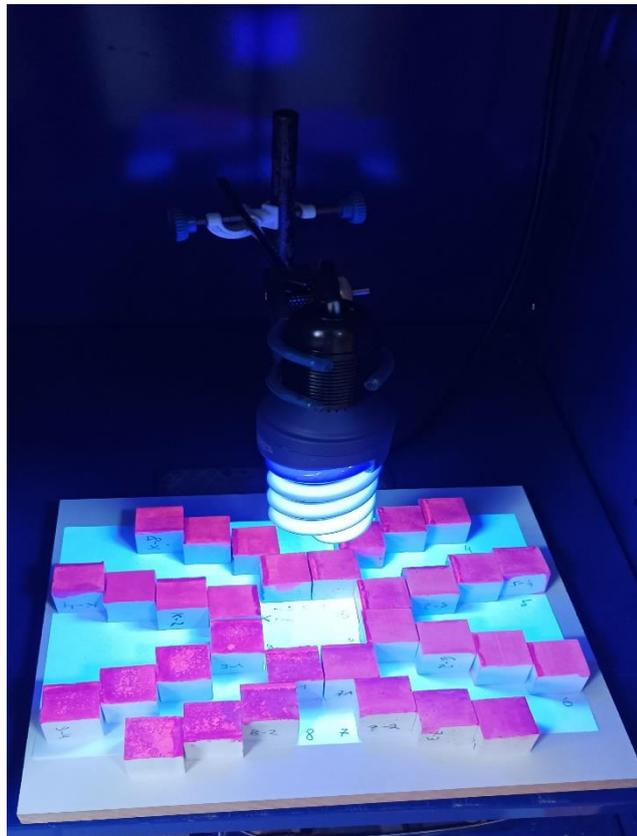


Рисунок 5.1 – Экспериментальная установка УФ облучения образцов покрытия

Визуальные наблюдения показывают, что с течением времени обесцвечивание красителя отличается в зависимости от состава покрытия и количества ZnO (рисунок 5.2).

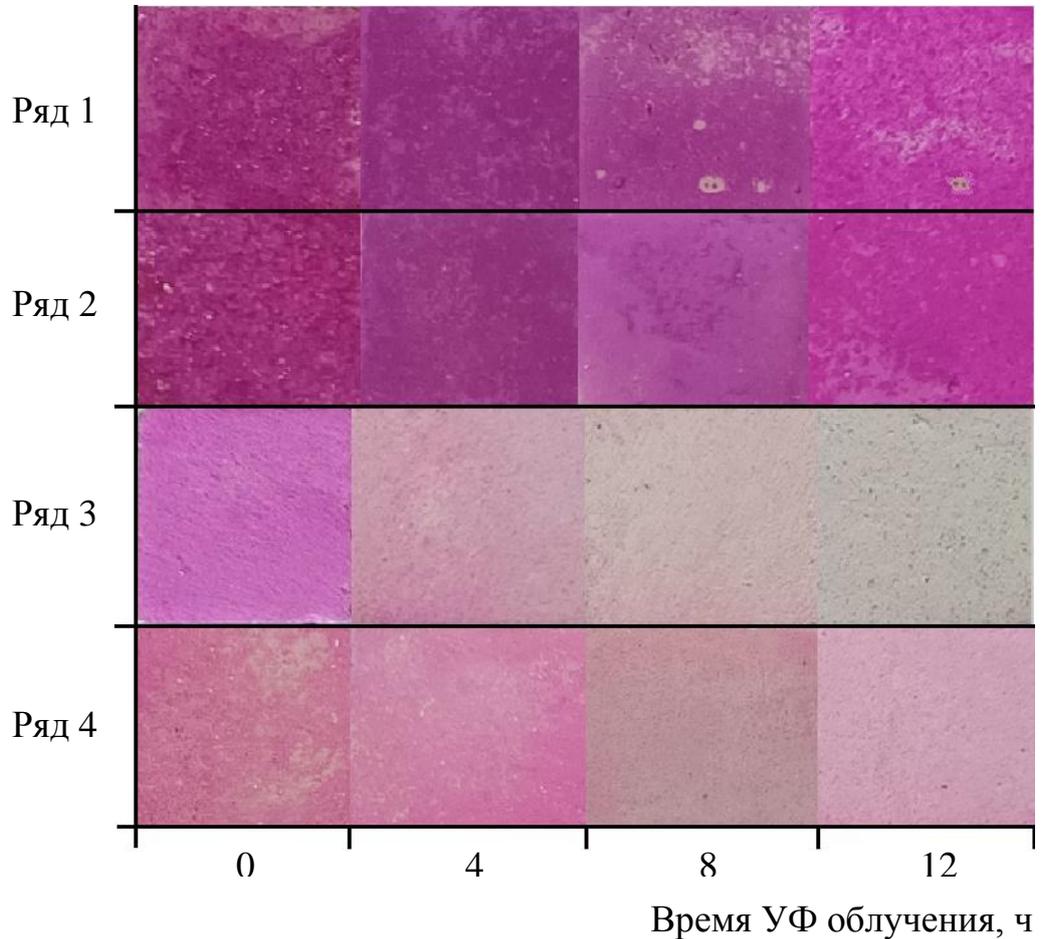


Рисунок 5.2 – Деградация раствора родамина Б на поверхности известкового покрытия. Состав содержит: ряд 1 – 10 % ZnO ($S= 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$); ряд 2 – 10 % диатомита+10 % ZnO ($S= 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$); ряд 3 – 15 % перлита +10 % алюмосиликатной добавки +10 % ZnO ($S= 8,5 \text{ м}^2/\text{г}$); ряд 4 – 15 % перлита +10 % алюмосиликатной добавки +10 % ZnO ($S= 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$)

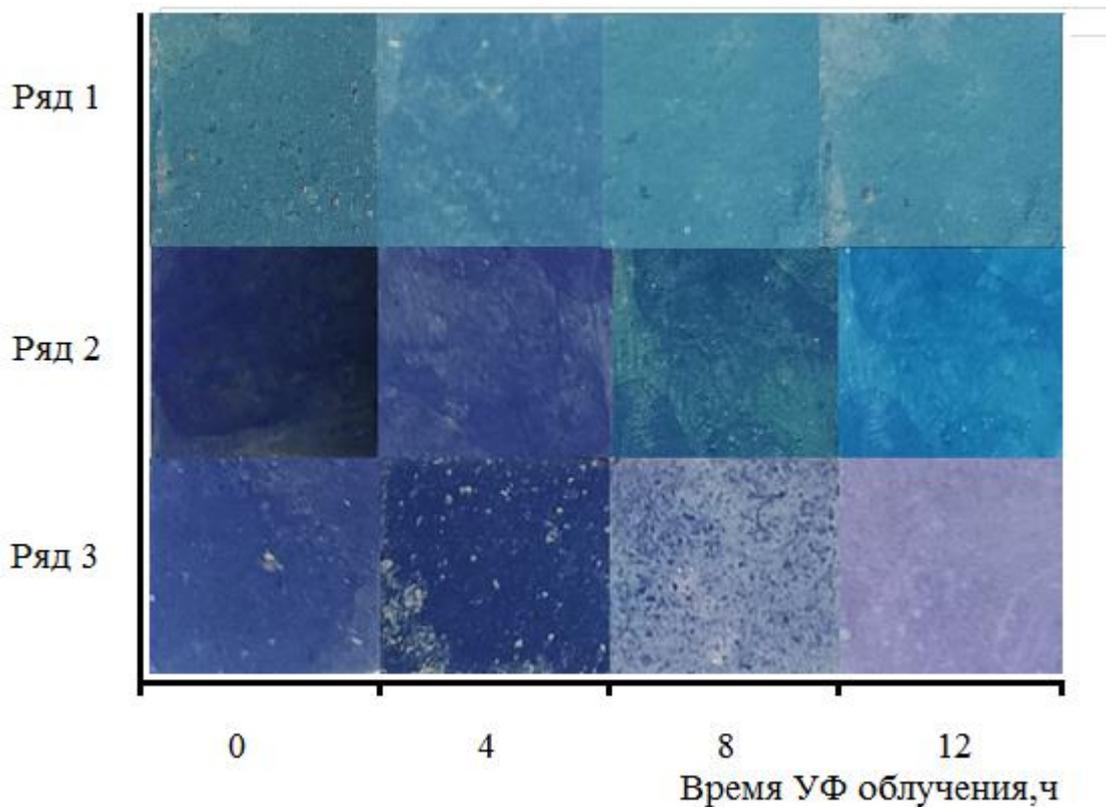
При использовании алюмосиликатной добавки в количестве 10 % от массы извести и перлита в количестве 15 % наблюдается положительный эффект применения ZnO в составе испытываемого образца. Полученный эффект

соответствует добавлению ZnO в процессе синтеза добавки в соотношении частей 1:8:14:2 (алюминиевая пудра: жидкое стекло: вода: оксид цинка).

Применение ZnO самостоятельно в рецептуре известкового состава показало несколько худший результат.

Кроме того, для сравнительной оценки фотокаталитической активности известкового состава в присутствии фотокатализатора были изготовлены образцы покрытия с применением в качестве органического красителя раствора метиленового синего. Методика испытания аналогична родамин-тесту и описана выше. Результаты эксперимента представлены на рисунке 5.3.

Рисунок 5.3 – Деградация раствора метиленового синего на поверхности



известкового покрытия. Состав содержит: ряд 1 – 5 % ZnO ($S= 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$); ряд 2 – 10 % ZnO ($S= 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$); ряд 3 – 10 % алюмосиликатной добавки + 10 % ZnO ($S= 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$)

Фотофиксация деградации метиленового синего в поверхностном слое покрытия проводилась каждые четыре часа с момента облучения. Представленные результаты свидетельствуют об эффективности применения оксида цинка,

иммобилизованного на алюмосиликатной добавке (рисунок 5.3, ряд 3). Образец покрытия на основе известкового вяжущего с фотокатализатором без иммобилизации на поверхности алюмосиликатной добавки показал более низкую фотокаталитическую способность (рисунок 5.3, ряды 1, 2).

Оценка фотокаталитической деградации органического красителя родамина Б проводилась в соответствии с методикой итальянского стандарта UNI 11259. Метод основан на колориметрическом анализе поверхности в системе CIELAB с регистрацией координат L^* (светлота), a^* и b^* (хроматические координаты), определяющих цветовое положение в двухмерном пространстве.

Цифровая обработка изображений выполнялась с применением программного обеспечения ImageJ. На рисунке 5.4 представлены результаты визуализации известковых покрытий после нанесения родамина Б до и после УФ-облучения. Расчет фотокаталитической активности осуществлен на основе полученных колориметрических координат.

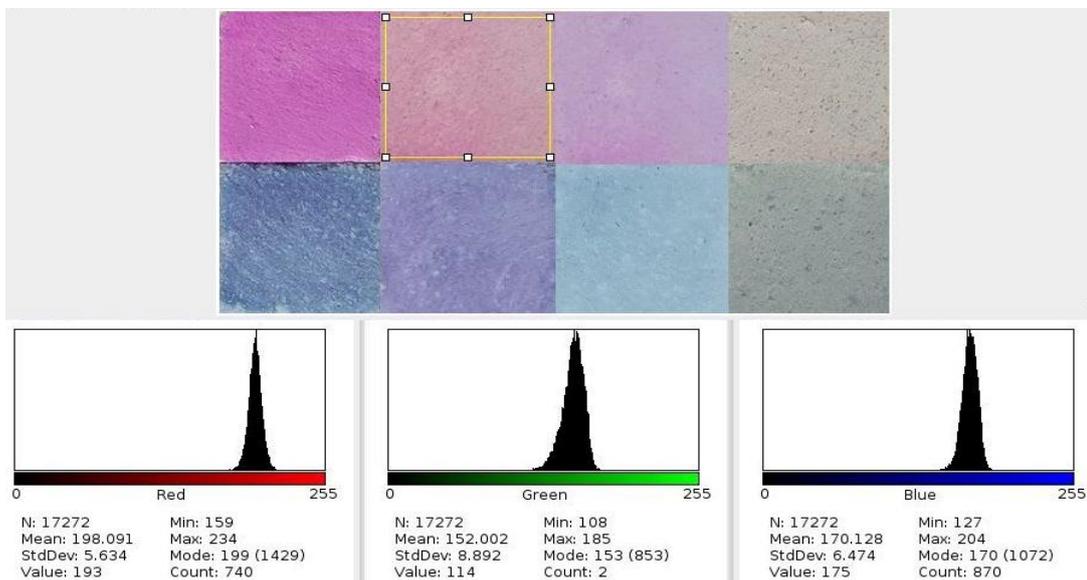


Рисунок 5.4 – Измерения цвета поверхности по системе CIELAB

В соответствии с требованиями стандарта значения R должны быть более 20 % спустя четыре часа и более 50 % спустя 26 часов воздействия УФ излучения.

Оценка фотокаталитической активности рассчитывалась через 4, 8, 12, 26 часов по формулам:

$$R = \frac{a_0 - a_t}{a_0} \cdot 100 \% , \quad (5.1)$$

где a_0 – значение цветовой координаты в нулевой момент времени;

a_t – значение цветовой координаты после t часов УФ излучения;

Результаты анализа отражены в таблицах 5.1 – 5.3.

Таблица 5.1 – Этапы обработки изображений с помощью программного обеспечения (получение значений в пространстве RGB)

Время облучения, час	R	G	B
Удельная поверхность оксида цинка $S_{уд} = 8,5 \text{ м}^2/\text{г}$			
0	198,004	106,878	182,512
4	198,091	152,002	170,128
8	186,349	159,935	194,957
12	182,211	176,234	169,709
26	185,067	153,87	171,052
Удельная поверхность оксида цинка $S_{уд} = 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$			
0	195,99	111,06	148,37
4	204,06	138,17	165,53
8	185,18	134,99	152,49
12	204,17	159,83	180,13
26	206,95	163,28	183,45

Перевод цветов из системы RGB в LAB выполняется в несколько этапов, так как эти цветовые пространства основаны на разных принципах. RGB (Red, Green, Blue) – это аддитивная цветовая модель, используемая в цифровых устройствах, а LAB – это цветовое пространство, основанное на восприятии цвета человеческим глазом, где:

- L – lightness (яркость);
- A – значение от зеленого до красного;
- B – значение от синего до желтого.

Таблица 5.2 – Этапы обработки изображений с помощью программного обеспечения (перевод в координаты $L^* a^* b^*$)

№ п/п	Время облучения, час	L	a	b
		Удельная поверхность оксида цинка $S_{уд} = 8,5 \text{ м}^2/\text{г}$		
2	0	57,78	44,46	-23,64
3	4	67,66	19,82	-2,43
4	8	69,06	14,62	-14,37
5	12	72,19	1,28	4,4
6	26	72,9	0,8	6,2
7	Удельная поверхность оксида цинка $S_{уд} = 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$			
8	0	57,4	37,41	-4,95
9	4	63,17	29,2	-6,37
10	8	61,47	22,16	-1,49
11	12	70,44	19,32	-3,91
12	26	71,63	17,97	-3,95

Фотокаталитическая активность R, % представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты обесцвечивания родамина Б

Фотокаталитическая активность поверхности спустя час	Значение R, %
Удельная поверхность оксида цинка $S_{уд} = 8,5 \text{ м}^2/\text{г}$	
4	55,42060279
8	67,11650922
12	97,12100765
26	98,20062978
Удельная поверхность оксида цинка $S_{уд} = 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$	
4	21,94600374
8	40,76450147
12	48,35605453
26	51,96471532

Анализ данных, представленных в таблице 5.3, свидетельствует, что известковое покрытие с применением фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтетическом цеолите, проявляет фотокаталитическую активность, т.е. является самоочищающимся.

Применение оксида цинка с более высокой удельной поверхностью в процессе синтеза фотокатализатора совместно с добавкой синтетического цеолита способствует повышению фотокаталитической активности, однако, фотокатализатор с применением оксида цинка с удельной поверхностью $S_{уд} = 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$ также обеспечивает высокие самоочищающие свойства известковых покрытий. В связи с этим нами рекомендовано синтез фотокатализатора проводить с применением оксида цинка с удельной поверхностью $S_{уд} = 6,2 \text{ м}^2/\text{г}$.

Для подтверждения полученных данных была исследована способность к самоочищению покрытия на основе разрабатываемого состава в соответствии с методикой испытаний ГОСТ Р 57255–2016. Результаты испытаний представлены на рисунке 5.5.

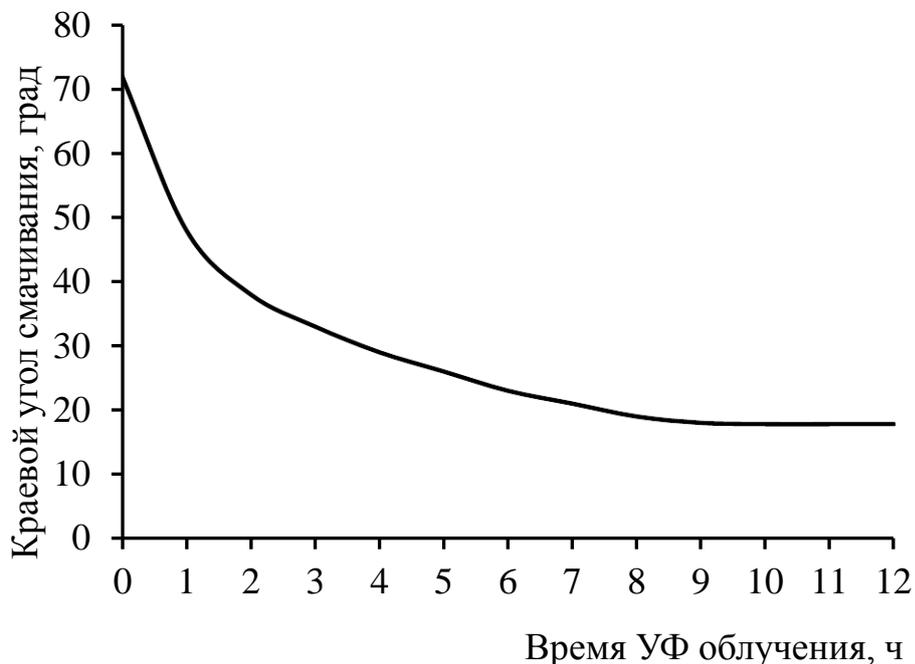


Рисунок 5.5 – Изменение значения краевого угла смачивания от времени

УФ облучения образца покрытия на основе разрабатываемого состава

Значение начального краевого угла смачивания составило 75° для контрольного состава, в то время как для образца с ZnO в составе алюмосиликатной добавки –

72°. Состав без применения добавки оксида цинка не обладает фотокаталитической активностью и, следовательно, не способен к самоочищению, так как значение начального краевого угла смачивания остаётся стабильным и не изменяется в результате облучения ультрафиолетовым (УФ) светом. По мере увеличения времени УФ-облучения происходит постепенное снижение угла смачивания. Значение краевого угла смачивания испытываемого образца с применением фотокатализатора уменьшилось за пять часов воздействия ультрафиолетом до 26°. Это свидетельствует о том, что на поверхности за этот период исчезает гидрофобный слой олеиновой кислоты.

Снижение значения начального краевого угла смачивания после облучения поверхности УФ подтверждает фотокаталитические свойства. Таким образом, полученные двумя методами данные по определению самоочищающейся способности поверхности образца на основе разрабатываемого состава согласуются между собой. Выявленная закономерность увеличения фотокаталитической активности с ZnO в составе алюмосиликатной добавки прослеживается как при определении краевого угла смачивания, так и при измерении интенсивности окраски органического красителя.

5.2 Трещиностойкость покрытий на основе разрабатываемого состава

Одним из важных показателей долговечности отделочных составов является трещиностойкость покрытий [27]. Трещины появляются под действием внутренних и внешних факторов, вызывающих деформации растяжения $\varepsilon_{\text{деф}}$, превышающие предельную растяжимость материала $\varepsilon_{\text{пред}}$, то есть растрескивание покрытий происходит, если не выполняется условие:

$$\varepsilon_{\text{деф}} < \varepsilon_{\text{пред}} \quad (5.2)$$

Также растрескивание покрытий происходит в случае, когда внутренние растягивающие напряжения σ достигнут значения когезионной прочности материала покрытия, то есть:

$$\sigma = R_{\text{kog}} \quad (5.3)$$

Для оценки трещиностойкости покрытий на основе разрабатываемого состава ССС были проведены замеры усадочных деформаций покрытий в процессе отверждения.

Измерение усадочных деформаций образцов проводилось с помощью оптического компаратора ИЗА-2. На рисунке 5.6 представлен график изменения усадочных деформаций покрытия на основе состава: известь-пушонка, перлитовый песок 15 %, добавка на основе алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, в количестве 10 % от массы извести, белый цемент в количестве 5 % от массы извести, Melflux 1641F в количестве 0,6 % от массы извести, VINNAPAS 8031 Н в количестве 5 %, гидрофобизирующий порошок Zincum-5 – 0,5 %.

Для сравнения в качестве наполнителя также применялся диатомит в соотношении к извести 1:3.

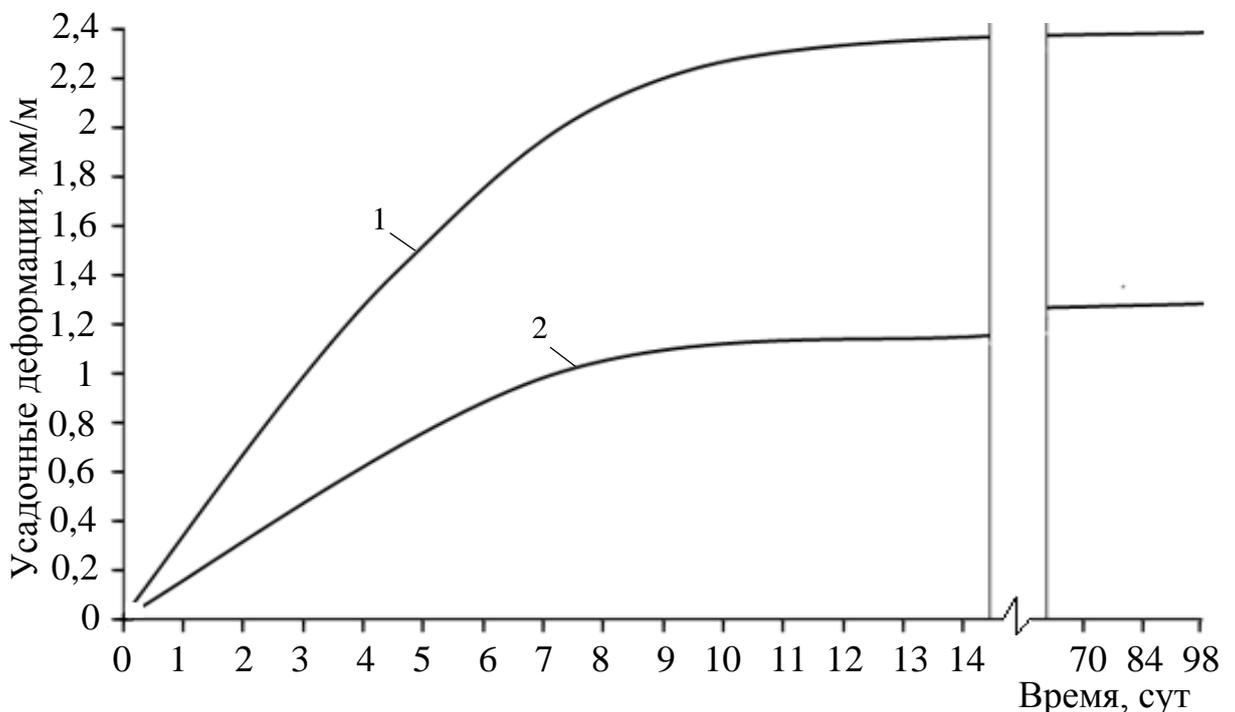


Рисунок 5.6 – Изменения усадочных деформаций покрытия на основе разрабатываемого состава с применением: 1 – диатомита; 2 – перлитового песка

Так, значение усадочных деформаций образцов с применением алюмосиликатной добавки, синтезированной в присутствии ZnO, после 14 суток воздушного твердения составило $\varepsilon = 2,1$ мм/м, а спустя 98 суток значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 2,4$ мм/м.

Анализ данных (рисунок 5.6) свидетельствует, что для состава с применением перлитового песка после 14 суток твердения значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 1,1$ мм/м, а спустя 98 суток значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 1,3$ мм/м. Применение диатомита в качестве наполнителя отрицательно сказывается на усадочных деформациях.

Наиболее интенсивный рост усадочных деформаций образцов с применением перлитового песка происходит в течение семи суток твердения, после чего наблюдается заметная стабилизация. У образцов с применением диатомита стабилизация роста усадочных деформаций устанавливается только после 10 суток воздушного твердения.

Определение предела прочности при растяжении (когезионной прочности) проводилось на разрывной машине ИР 5057-50. Размеры испытуемого образца $1 \times 1 \times 5$ см, скорость деформирования 1 мм/мин. Образцы закреплялись в зажимах разрывной машины так, чтобы его продольная ось была расположена в направлении растяжения, а приложенные силы действовали равномерно по всему сечению образца. Испытания проводились при температуре воздуха (20 ± 2) °С и относительной влажности воздуха 60 %.

Модуль упругости вычислялся по диаграмме «напряжение – деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной (Z), проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

Модуль упругости для каждого образца ($E_{упр}$), МПа, вычислялся по формуле:

$$E_{упр} = \frac{R'_{ког}}{\varepsilon'_{уп}}, \quad (5.4)$$

где $R'_{ког}$ – предел прочности при растяжении в момент отрыва касательной от диаграммы «напряжение – деформация», МПа;

$\varepsilon'_{уп}$ – упругие деформации при разрыве, мм/мм.

Определение предела прочности при растяжении проводили на образцах после 28 суток воздушно-сухого твердения. Результаты экспериментов представлены на рисунке 5.7.

Полученные результаты (рисунок 5.7) свидетельствуют о том, что добавление в рецептуру разрабатываемого отделочного состава добавки на основе алюмосиликатов, синтезированных в присутствии ZnO, позволяет получить материал с прочностью при растяжении до $R_{\text{кор}}=0,39$ МПа. Относительные деформации составили $\varepsilon=1,5$ мм/м. У образцов на известково-диатомитовой основе разрушение происходит при деформации, равной $\varepsilon=1,3$ мм/м.

Упругие деформации образца на основе известково-перлитового состава составили $\varepsilon=0,2$ мм/м, при применении диатомита – $\varepsilon=0,45$ мм/м.

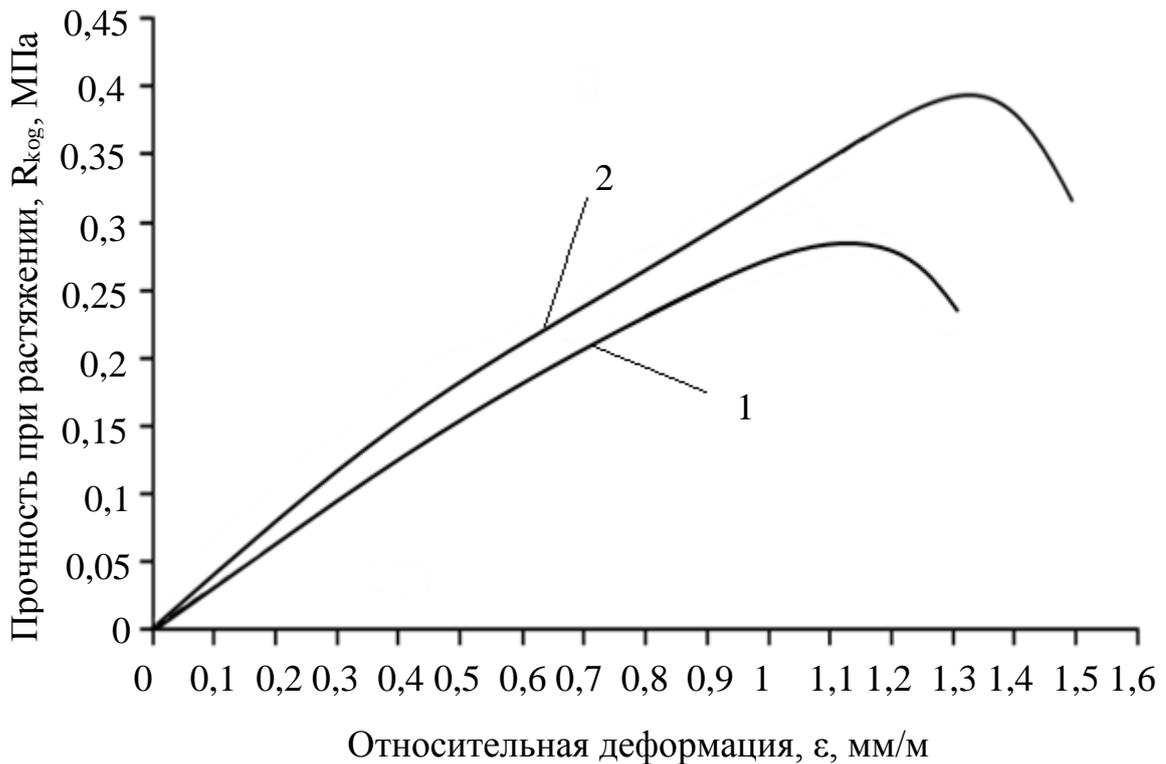


Рисунок 5.7 – Изменение относительных деформаций при растяжении образцов на основе разрабатываемого состава с применением:

1 – диатомита; 2 – перлитового песка

В таблице 5.4 приведены результаты эксперимента. Результаты расчета показывают, что образцы покрытий на основе известково-перлитового состава

обладают большей прочностью при растяжении. Использование диатомита в качестве наполнителя снижает прочность при растяжении.

Таблица 5.4 – Деформативные свойства покрытия на основе разрабатываемого состава

Вид наполнителя	В/И	Значения показателей				
		$E_{упр}$, МПа	$\epsilon_{упр}$, мм/м	$\epsilon_{пл}$, мм/м	$\epsilon_{полн}$, мм/м	$R_{ког}$, МПа
Перлитовый песок	1	40	0,2	0,13	1,3	0,39
Диатомит	1	36,12	0,45	0,85	1,5	0,28

Исходя из полученных данных, в дальнейшем были исследованы составы с применением перлитового песка.

5.3 Прочность сцепления с подложкой покрытий на основе разрабатываемого состава

Адгезионные характеристики покрытий на основе ССС исследовались методами отрыва штампа и сдвига применительно к системе «известково-перлитовый состав – цементно-песчаная подложка». Экспериментальные условия моделировали реальную эксплуатацию на минеральных основаниях (бетон, кирпич, штукатурка), где формирование адгезионных связей происходит в условиях ограниченной деформации подложки.

Исследование адгезии известково-перлитовых покрытий к цементно-песчаным основаниям проводилось методами отрыва и сдвига. Твердение композитов в условиях жесткого контакта с подложкой обеспечивало формирование эксплуатационно значимых адгезионных связей.

Установлено, что значения адгезионной прочности изменяются в интервале $R_{адг}=0,3-0,38$ МПа.

Исследовали влияние модифицирующих добавок и рецептуры состава на адгезионную прочность (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Адгезионные свойства отделочных составов

Состав	В/И	Адгезионная прочность, $R_{адг}$, МПа
Известь + алюмосиликатная добавка, синтезированная в присутствии ZnO (10 %) + перлитовый песок (15 %) + Белый цемент (5 %) + Melflux 1641F (0,6 %) + Zincum-5 (0,5 %)	1	0,3
Известь + алюмосиликатная добавка, синтезированная в присутствии ZnO (10 %) + перлитовый песок (15 %) + VINNAPAS 8031N (2,5 %) + Белый цемент (5 %) + Melflux 1641F (0,6 %) + Zincum-5 (0,5 %)	1	0,33
Известь + алюмосиликатная добавка, синтезированная в присутствии ZnO (10 %) + перлитовый песок (15 %) + VINNAPAS 8031N (5 %) + Белый цемент (5 %) + Melflux 1641F (0,6 %) + Zincum-5 (0,5 %)	1	0,38

В процессе отверждения отделочные составы претерпевают усадочные деформации вследствие испарения воды, протекания химических реакций и процессов структурообразования. Монолитность отделки будет зависеть от разности усадочных (или температурных) деформаций основания (ε_2) и отделочного слоя (ε_1). Для оценки стойкости покрытий к отслаиванию и растрескиванию необходимо знать распределение сдвигающих и растягивающих напряжений по протяженности контакта отделочного слоя и его толщине. Полученные значения напряжений сравнивают с показателями прочности на растяжение и сцепления покрытий с подложкой.

Между тем, значение прочности сцепления в основном определяют методом отрыва. Однако, растворный слой в процессе эксплуатации испытывает также и сдвиговые нагрузки относительно подложки. В связи с этим необходимо проводить испытания также и на сдвиг.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что в настоящее время существует методика определения прочности сцепления на срез полимерных клеев и пластмасс. Однако такая методика не учитывает влияние масштабного фактора и не позволяет определять прочность отделочного растворного слоя на сдвиг. В работах предложена методика испытания на прочность касательного сцепления кладочных растворов. Однако условия твердения отделочного слоя отличаются от схемы испытаний, предложенной авторами [32, 45, 46, 89].

В работе предложена методика определения сопротивления при сдвиге с помощью прибора ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек» [69].

На рисунке 5.8 представлена схема испытания образцов.

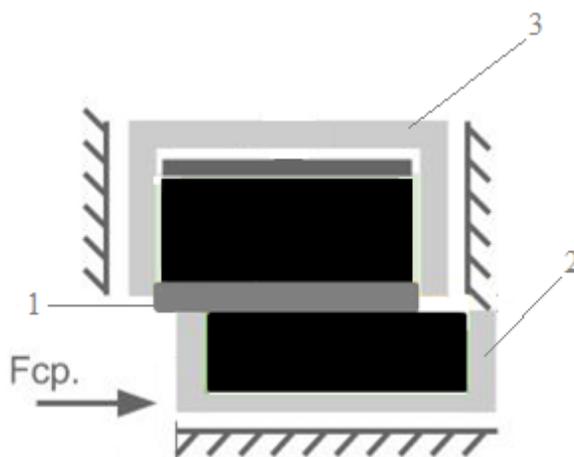


Рисунок 5.8 – Схема работы прибора ГТ 2.2.3:

1 – растворный слой; 2 – малое срезное кольцо; 3 – большое срезное кольцо

Принцип работы прибора ГТ 2.2.3 заключается в создании в испытательной установке горизонтальной сдвигающей нагрузки на образец на основе исследуемого состава (рисунок 5.8) [82].

Указанную методику и прибор ГТ 2.2.3 использовали для определения прочности сцепления на сдвиг растворного слоя на основе разрабатываемой известково-перлитовой штукатурки с улучшенными теплоизоляционными свойствами [93]. Для испытаний применяли рецептуру сухой строительной смеси (ССС), включающую следующие компоненты: белый цемент, известь-пушонка, алюмосиликатная добавка, синтезированная в присутствии ZnO, пластификатор Melflux 1641F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031N, перлитовый песок,

гидрофобизирующий порошок Zincum-5.

Для испытаний предварительно изготовили цилиндрические образцы-основания двух типов: цементно-песчаные и пенополистирольные, геометрические размеры которых составили $71,4 \times 15$ мм. После завершения стадии твердения на подготовленную поверхность подложки наносили исследуемый отделочный состав толщиной 10 мм. Подготовленный образец устанавливали в каретку испытательного прибора с расположением подложки в малом срезном кольце, а отделочного слоя — в большом срезном кольце согласно схеме (рисунок 5.8). Остаточный объем большого кольца заполняли гипсовым тестом для обеспечения надежной фиксации образца и равномерного распределения прикладываемой нагрузки. Формируемый технологический зазор (1 мм) определял плоскость среза. В ходе испытаний осуществляли регистрацию величины деформаций сдвига модифицированного состава относительно основания при ступенчатом возрастании касательной нагрузки, прилагаемой к нижнему срезному кольцу.

После отверждения образцы испытывали в сухом и увлажненном состоянии. Кроме того, часть образцов в увлажнённом состоянии перед испытаниями выдерживалась в морозильной камере в течение 12 часов. Выбрана оптимальная скорость сдвига растворного слоя, равная 0,01 мм/мин. Результаты испытания представлены на рисунке 5.9.

Анализ результатов исследований показал, что прочность сцепления на сдвиг растворного слоя образца, испытанного в сухом состоянии при температуре 20 °С, составляет $R_{сд}=0,2$ МПа. Прочность при сдвиге замороженного образца несколько выше и составляет $R_{сд}=0,23$ МПа. При испытании образца в увлажненном состоянии при температуре 20 °С наблюдается незначительное снижение прочности $R_{сд}=0,18$ МПа, вызванное деструктивным действием влаги. В таблице 5.6 приведены значения деформативных свойств покрытий.

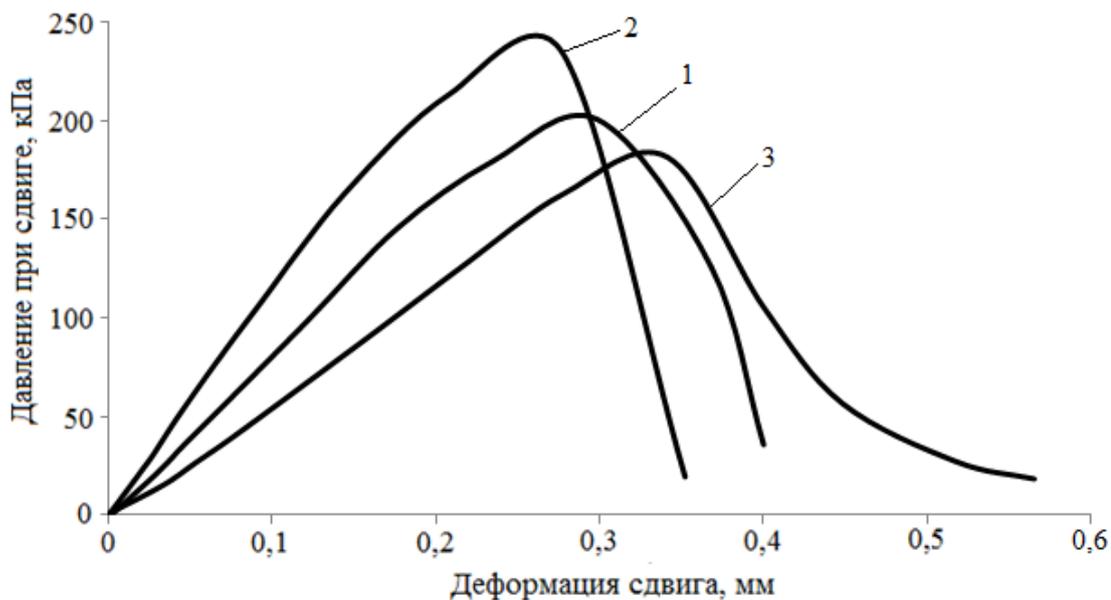


Рисунок 5.9 – Зависимость давления сдвига от деформаций сдвига:

1 – образец, испытанный в сухом состоянии при температуре 20 °С;

2 – образец, испытанный в увлажненном состоянии с последующим замораживанием при температуре минус 20 °С;

3 – образец, испытанный в увлажненном состоянии при температуре 20 °С

Таблица 5.6 – Деформативные характеристики покрытий

Образец	Прочность при сдвиге, МПа	Модуль сдвига, МПа	$\epsilon_{уп}$, мм/мм	$\epsilon_{пл}$, мм/мм	$\epsilon_{об}$, мм/мм
Сухой	0,2	59	0,00084	0,0048	0,00564
Замороженный	0,23	83	0,00057	0,0044	0,00497
Влажный	0,18	41	0,00042	0,0075	0,00792

Результаты исследований свидетельствуют, что увлажненные образцы на основе разрабатываемого состава характеризуются повышенными деформациями, составляющими $\epsilon_{об}=0,00792$ мм/мм. Наблюдается снижение упругих и увеличение пластических деформаций. Образцы в замороженном состоянии характеризуются пониженными деформациями, составляющими $\epsilon_{об}=0,00497$ мм/мм.

Результаты испытаний с подложкой на основе пенополистирола представлены на рисунке 5.10. Для фиксации штукатурки на подложке использовалась полиуретановая сетка.

Прочность сцепления на сдвиг растворного слоя образца, испытанного в сухом состоянии при температуре 20 °С на подложке из пенополистирола, составляет $R_{сд}=0,153$ МПа. Общие деформации испытанных образцов составляют $\varepsilon_{о6}=0,0038$ мм/мм.

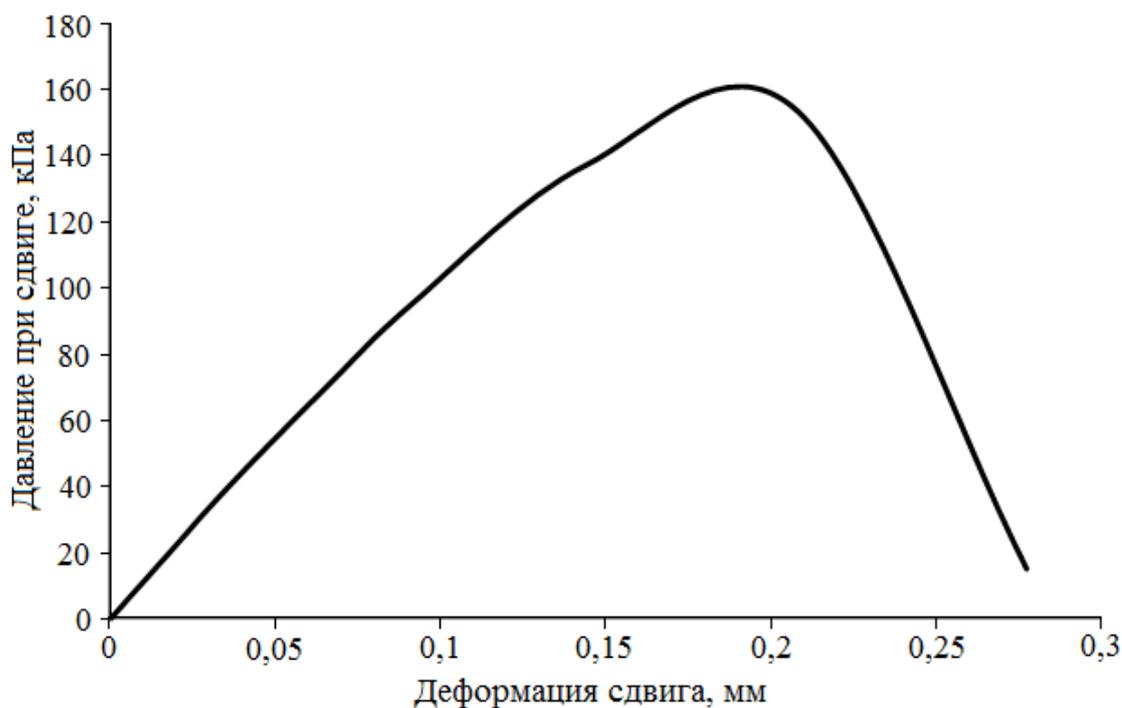


Рисунок 5.10 – Деформация сдвига растворного слоя на подложке из пенополистирола

Для характеристики однородности данных, полученных при проведении эксперимента с помощью предлагаемой методики, был определен коэффициент вариации. Для расчета использовали значения прочности при сдвиге, полученные в ходе испытаний серии образцов. Среднеквадратическое отклонение при испытании серии образцов составляет $\sigma=3-6$ кПа. Полученный коэффициент вариации равен $\nu=1,5-2,6$ %, следовательно, изменчивость вариативного ряда можно считать незначительной. Погрешность измерений самого прибора составляет 0,5 % от диапазона измерений.

5.4 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов

Эксплуатационные свойства отделочных покрытий на основе сухих строительных смесей и характер влагообмена с окружающей средой напрямую определяются характером капиллярно-пористой структуры. Воздушно-влажное воздействие и возможный прямой контакт с водой оказывают значимые воздействия на отделочный слой, что обуславливает необходимость экспериментальной оценки гигроскопических параметров в условиях эксплуатации. Для оценки гигроскопических свойств покрытий (табл. 5.7) проведены исследования водопоглощения, водостойкости, паропроницаемости и капиллярного влагопереноса.

Водопоглощение образцов с применением перлитового песка в качестве наполнителя после 24-часового водонасыщения достигло 53%, тогда как контрольные образцы показали значение 49,6%. Модификация состава добавкой на основе аморфных алюмосиликатов увеличивает пористость на 18,4% (табл. 5.7).

Коэффициент диффузии влаги определяли экспресс-методом, основанным на регистрации изменения влагосодержания образцов в заданные временные интервалы, выбранные с соотношением 1:2. Данный подход позволяет оперативно оценить кинетику влагопереноса в материале. Экспериментально установленное значение коэффициента диффузии составило $4,74 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$.

В процессе эксплуатации зданий на поверхностях стеновых конструкций возможно образование конденсата. При последующем повышении температуры окружающей среды происходит фазовый переход скопившейся влаги в парообразное состояние, сопровождающийся возникновением избыточного давления на внутренние поверхности покрытий. Данное давление вызывает напряжения, направленные на отслоение отделочного слоя от основания, что инициирует процесс трещинообразования и развитие иных дефектов. Указанные повреждения не только нарушают эстетическую целостность, но и ухудшают функциональные показатели ограждающих конструкций.

Таблица 5.7 – Показатели пористости и гидрофизических свойств покрытий на основе ССС

№	Состав	Пористость, %			Водопоглощение, W_m , %	Значение коэффициента диффузии влаги, D , $\times 10^{-9}$, m^2/c
		$P_{закр}$	$P_{откр}$	$P_{общ}$		
1	С применением перлитового песка	17,96	47,57	65,53	53	4,74

Результаты исследований показали, что коэффициент размягчения покрытий достигает значения $K_p = 0,78$ при использовании перлитового песка в качестве наполнителя. Это свидетельствует о высокой устойчивости материала к деформациям под воздействием внешних факторов.

Создание комфортного микроклимата в жилых помещениях обусловлено необходимостью применения отделочных материалов с регламентированной паропроницаемостью. В таблице 5.8 систематизированы экспериментальные данные по определению коэффициента паропроницаемости покрытий на основе известково-перлитового состава. Применение материалов с оптимизированными показателями паропроницаемости повышает долговечность отделочного слоя и способствует поддержанию нормативных параметров внутренней среды здания.

Это свойство позволяет влаге свободно испаряться, предотвращая её накопление внутри стеновых конструкций. Результаты исследований подтвердили, что покрытия на основе разработанных составов сухих строительных смесей обладают высокой паропроницаемостью.

Таблица 5.8 – Паропроницаемость отделочных покрытий

Состав	Толщина отделочного слоя, δ , м	Коэффициент паропроницаемости, μ , мг/(м·ч·Па)	Сопротивление паропроницанию, R_p , м ² ·ч·Па/мг
Известково-перлитовый	0,01	0,18	0,055

5.5 Оценка тепловлажностного состояния ограждающих конструкций при наличии отделочного слоя на основе разрабатываемого состава

Отделочный материал на основе разрабатываемого состава отличается низким коэффициентом теплопроводности. Так, коэффициент теплопроводности образца покрытия на основе разрабатываемого состава с содержанием 10 % добавки и 15 % перлитового песка равен $\lambda=0,158$ Вт/(м²·°С) (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Зависимость коэффициента теплопроводности покрытия на основе разрабатываемого состава от вида наполнителя

Состав	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м ² ·°С)	Сопротивление теплопередаче, R , (м ² ·°С)/Вт
Известь + синтезируемая добавка 10 % + перлит 15 % + VINNAPAS 8031H 5 % + Кратасол-ПФМ 1 % + белый цемент 5 % + Zincum-5 (0,5 %)	0,179	0,082
Известь+ синтезируемая добавка 10 %+перлит 15 %	0,158	0,112

При добавлении модифицирующих добавок и белого цемента коэффициент теплопроводности увеличивается до $\lambda =0,179$ Вт/(м²·°С)

Исходные климатические параметры для расчётов приняты в соответствии с картой климатического районирования СП 131.13330.2012 на примере городов, расположенных в различных климатических условиях и зонах влажности: Новосибирск и Пенза. Для анализа влияния теплоизоляционного штукатурного слоя на базе разрабатываемой сухой строительной смеси на формирование тепловлажностного режима ограждающих конструкций проведен теплотехнический расчет. Конструктивная схема расчетного фрагмента стены представлена на рисунке 5.11.

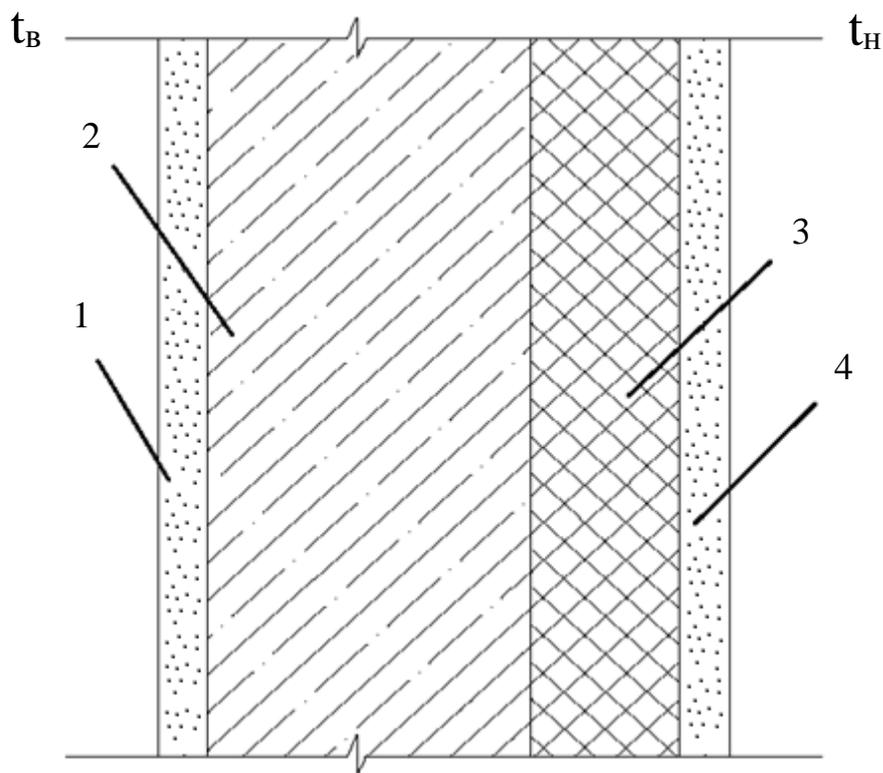


Рисунок 5.11 – Конструктивное решение наружной ограждающей конструкции:

1 – штукатурка; 2 – керамзитобетон плотностью $\rho=1400 \text{ кг/м}^3$;

3 – утеплитель; 4 – штукатурка

При расчетах рассматривали два варианта отделки:

1 – внутренняя и наружная поверхности конструкции стены отделаны известково-песчаным раствором плотностью $\rho=1600 \text{ кг/м}^3$;

2 – внутренняя поверхность конструкции отделана известково-песчаным раствором плотностью $\rho=1600 \text{ кг/м}^3$, наружная поверхность конструкции стены отделана штукатуркой на основе разрабатываемого состава плотностью 700 кг/м^3 .

В качестве теплоизоляционного слоя используются:

- минераловатные плиты плотностью $\rho=175 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $0,052 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$;
- плиты из пенополистирола плотностью $\rho=100 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $0,041 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

В таблице 5.10 и таблице 5.11 приведены значения границы нулевой изотермы в теплоизоляционном слое для условий г. Пензы и г. Новосибирска.

Таблица 5.10 – Положение нулевой изотермы в сечении конструкции для условий г. Пензы

Вариант отделки	Расстояние от границы утеплителя до нулевой изотермы, м	
	По данным наиболее холодной пятидневки	По данным среднемесячной температуры в январе
Утеплитель – плиты из пенополистирола		
1	0,012	0,041
2	0,014	0,044
Утеплитель – минераловатные плиты		
1	0,019	0,058
2	0,021	0,061

При проведении расчетов влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха была принята температура наиболее холодной пятидневки. В качестве примера рассмотрен город Новосибирск, для которого использовалась температура с обеспеченностью 0,92. Это значение соответствует климатическим условиям, характерным для данного региона, и позволяет учесть наиболее экстремальные погодные условия, которые могут повлиять на влажностное состояние ограждающих конструкций. Использование температуры наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 позволяет получить высокую точность расчетов, так как учитывает периоды с минимальными температурами, когда риск образования конденсата внутри стеновых конструкций наиболее высок. Это особенно важно для оценки долговечности и

теплотехнических характеристик зданий в условиях сурового климата. Результаты расчетов, выполненных по данным при среднемесячной температуре января, показывают, что для условий, например, г. Пензы, для всех видов утеплителей и при оштукатуривании внешней поверхности стены известково-песчаным раствором плотностью $\rho=1600$ кг/м³ возможна конденсация влаги в толщине утеплителя. При применении штукатурки на основе разрабатываемого состава ССС конденсация влаги отсутствует.

Таблица 5.11 – Положение нулевой изотермы в сечении конструкции для условий г. Новосибирск

Вариант отделки	Расстояние от границы утеплителя до нулевой изотермы, м	
	По данным наиболее холодной пятидневки	По данным среднемесячной температуры в январе
Утеплитель – плиты из пенополистирола		
1	0,005	0,032
2	0,007	0,034
Утеплитель – минераловатные плиты		
1	0,0051	0,037
2	0,0067	0,039

Экспериментально установлено, что использование в качестве наружной отделки штукатурного состава на основе разрабатываемой известково-перлитовой композиции приводит к смещению положения нулевой изотермы на 1–3 мм в область более низких температур (рисунок 5.12) по сравнению с традиционным известково-песчаным раствором (рисунок 5.13). Указанное смещение изотермической границы свидетельствует об интенсификации процессов высыхания ограждающей конструкции при применении предложенного состава. [65].

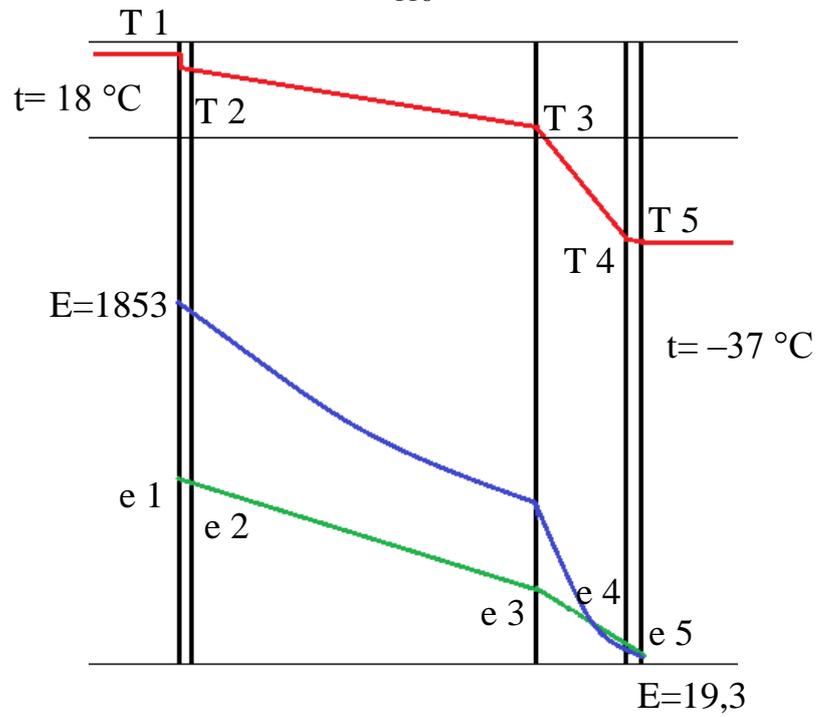


Рисунок 5.12 – Распределение линий упругости водяных паров по толщине ограждения при использовании второго способа отделки

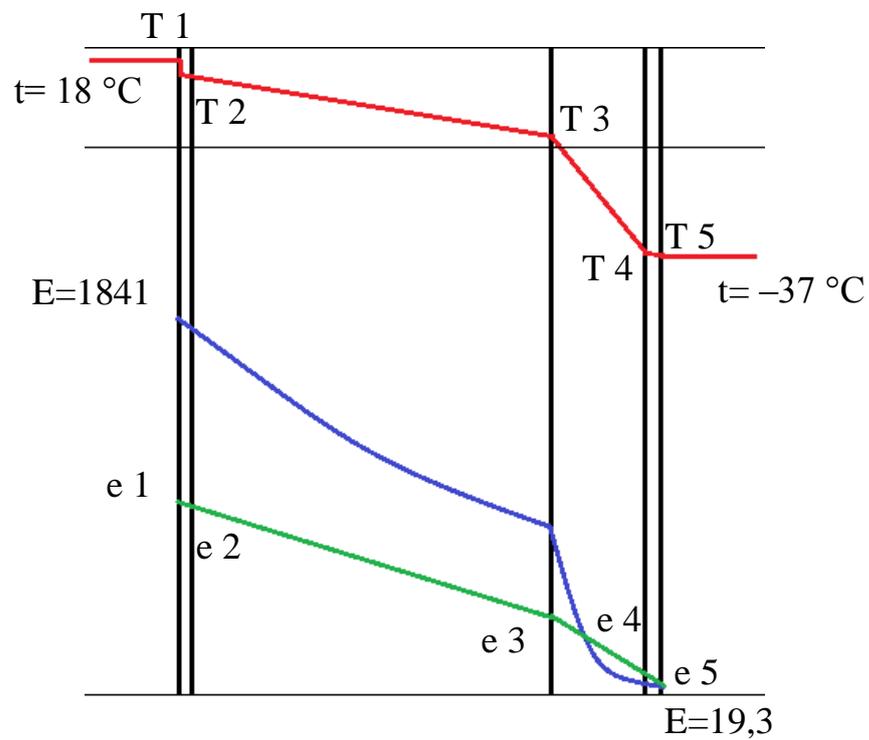


Рисунок 5.13 – Распределение линий упругости водяных паров по толщине ограждения при использовании первого способа отделки

Таким образом, применение при отделке наружных стен зданий разработанного теплоизоляционного состава будет способствовать повышению теплозащитных свойств и стойкости ограждающей конструкции здания [79].

Численные значения расчета упругости водяных паров по толщине ограждения представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет упругости водяных паров по толщине ограждения

Номер слоя	Температура, °С	Упругость водяного пара, Па	Максимальная упругость водяного пара, Па
Первый вариант отделки			
1	16,3	1032	1853
2	16,0	1012	1817
3	2,4	292	727
4	-34,6	32	23,1
5	-36,3	16	19,3
Второй вариант отделки			
1	16,2	1032	1841
2	15,9	1013	1807
3	2,0	300	705
4	-35,9	43	20,1
5	-36,3	16	19,3

Важно определить величину повышения весовой влажности материала при конденсации в толщине ограждения ΔW_i , %, и сравнить ее с нормативным значением $\Delta W_{\text{ср}}$, %:

$$\Delta W_i = \frac{\Delta G}{\gamma_{\text{ув}} \delta_{\text{ув}(C-D)}} \cdot 100, \quad (5.5)$$

где $\gamma_{\text{ув}}$ – объемная масса материала увлажненного слоя, кг/м³;

$\delta_{\text{ув}(C-D)}$ – толщина увлажненного слоя ограждения, м;

ΔG – количество конденсата в граммах, прошедшего за час через 1 м² сечения ограждения, г/м²·ч, определяемое по уравнению.

Количество конденсата ΔG , г/м²·ч, за период z определяем по уравнению

$$\Delta G = (G_C - G_D) \cdot 24 \cdot z, \quad (5.6)$$

где z – продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами;

G_C, G_D – количество водяного пара в граммах, прошедшего за один час через 1 м² сечения ограждения соответственно до и после зоны конденсации, г/(м²·ч), определяемое по формуле:

$$G_C = \frac{e_B - e_C}{R_B^{\Pi} + \Sigma \left(\frac{\delta_{BC}}{\mu_X} \right)}, \quad (5.7)$$

$$G_C = \frac{e_D - e_H}{R_H^{\Pi} + \Sigma \left(\frac{\delta_{DH}}{\mu_X} \right)}, \quad (5.8)$$

где δ_{B-C} – толщина слоя ограждения до зоны конденсации, м;

δ_{D-H} – то же после зоны конденсации, м;

μ_X – расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждения, м²/(м·ч·Па) м;

e_B, e_H – значения действительной упругости водяных паров соответственно в наружном и внутреннем воздухе, Па;

R_B^{Π}, R_H^{Π} – сопротивление паропроницанию соответственно внутренней ($R_H^{\Pi} = 0,0133$) и наружной ($R_B^{\Pi} = 0,0266$) поверхностей, (м²·ч·Па)/м².

При использовании первого варианта отделки весовая влажность пенополистирола составляет $\Delta W_{\text{ср}} = 71,1 \%$, что не соответствует нормируемым значениям весовой влажности для данного материала. Избыточная влага в слое утеплителя снижает его теплоизоляционные характеристики и усложняет процесс удаления влаги из стеновой конструкции. Это происходит потому, что вода обладает высокой теплопроводностью, что уменьшает эффективность утеплителя. Кроме того, накопление влаги может привести к образованию конденсата, ухудшению микроклимата внутри помещения и развитию плесени или грибка.

Результаты расчета влажностного состояния конструкций приведены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Влажностный режим стеновой конструкции в зависимости от вида отделки (г. Новосибирск)

Слой	Толщина зоны конденсации по слоям δ , м	Количество конденсата ΔG , г/м ² ·ч	Весовая влажность материала ΔW_i , %	Нормируемое значение весовой влажности материала $\Delta W_{ср}$, %
Первый вариант отделки				
Пенополистирол	0,0068	48,38	71,1	25
Штукатурка	0,0052	37	4,44	5
Второй вариант отделки				
Пенополистирол	0,0045	4,19	1,35	25
Штукатурка	0,0004	0,38	1,36	5

Использование второго варианта отделки характеризуется меньшей толщиной зоны конденсации и количеством конденсата в толщине отделочного слоя, что положительно сказывается на общем влажностном состоянии ограждающей конструкции, естественных процессах удаления влаги из толщины ограждения.

Ниже приведен пример расчета влажностного режима ограждающей конструкции для условий г. Пензы (таблица 5.14).

Использование разработанного состава совместно с минераловатными плитами способствует смещению зоны конденсации в сторону пониженных температур. Влага конденсируется в отделочном слое, не затрагивает утеплитель и, как следствие, не влияет на его теплозащитные свойства.

При расчетах влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха принимали температуру наиболее холодной пятидневки для г. Пензы с обеспеченностью 0,92 (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Влажностный режим стеновой конструкции в зависимости от вида отделки (г. Пенза)

Слой	Количество конденсата ΔG , г/м ² ·ч	Весовая влажность материала ΔW_1 , %	Нормируемое значение весовой влажности материала $\Delta W_{ср}$, %
Первый вариант отделки			
Штукатурка	102,52	16,28	5
Второй вариант отделки			
Штукатурка	5,28	3,42	5

Таким образом, вариант использования разрабатываемого состава в качестве наружной штукатурки характеризуется образованием меньшего количества конденсата по сравнению с использованием в качестве штукатурки известково-песчаных составов [77]. Применение второго варианта отделки характеризуется уменьшением весовой влажности материала и её соответствием нормативным значениям.

5.6 Оценка морозостойкости отделочного состава

Оценка морозостойкости покрытий на основе известковой сухой строительной смеси проводилась методом циклического замораживания-оттаивания. Подготовка образцов предусматривала нанесение отделочного слоя на цементно-песчаное основание с последующим 28-суточным твердением в воздушно-сухих условиях. Визуальная оценка состояния после циклов нагружения выполнялась в соответствии с ГОСТ 6992-68, где критерием отказа принималась категория повреждений III.3.

Результаты испытаний показали, что разработанные составы сохранили целостность после 40 циклов воздействия. Состояние покрытий после испытательного цикла соответствовало категории III.3, характеризующейся следующими изменениями: снижение блеска до 50%, значительное изменение цвета с признаками белесоватости, бронзирования и загрязнения, отслоение поверхностного слоя на площади до 5%, образование трещин и поверхностной сетки, видимых без увеличения, на площади до 50%.

Установленная марка морозостойкости покрытий составила F35. Наряду с этим ключевым показателем, значимым фактором является морозостойкость контактной зоны «покрытие-основание». Методика её оценки заключалась в циклическом замораживании-оттаивании образцов покрытия, нанесенного на подложку, с последующим контролем адгезионной прочности. Для количественной оценки сцепления после испытаний применялись два метода: сдвиг и отрыв со скалыванием. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Адгезионная прочность системы «покрытие-основание» после циклических испытаний на морозостойкость

Количество циклов	Оценка прочности сцепления покрытия с подложкой методом сдвига (Мпа / %)	Оценка прочности сцепления покрытия с подложкой методом отрыва штампа (Мпа / %)
0	0,2/100	0,38/100
5	0,2	0,37/97,4
10	0,196/98	0,36/94,8
15	0,191/95,5	0,35/92,1
20	0,188/94	0,34/89,5
25	0,182/91	0,33/86,9
30	0,173/86,5	0,32/86,5
35	0,165/82,5	0,31/81,6
40	0,15/75	0,3/79

Анализ полученных данных позволяет присвоить марку по морозостойкости контактной зоны покрытия $F_{кз}$ 35. Рецептура разработанной нами известковой сухой строительной смеси представлена в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Рецептура теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести

№ п/п	Наименование компонентов	Состав, массовая доля, %
1	Белый портландцемент	3,54
2	Известь-пушонка	70,87
3	Перлитовый песок М150	10,63
4	Пластификатор Melflux 1641F	0,43
5	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031Н	7,09
6	Гидрофобизатор Zincum-5	0,35
7	Алюмосиликатная добавка, синтезируемая в присутствии ZnO	7,09
ИТОГО:		100,00

Таблица 5.17 обобщает ключевые параметры разработанного материала и свойства покрытий на его основе [98].

Для сравнительного анализа использованы следующие коммерческие составы:

- сухая цементно-перлитовая штукатурная смесь «Перлитка ШТ-4»;
- теплоизоляционная штукатурная смесь UF-2 ТМ «УМКА»;
- фасадная цементная теплоизоляционная штукатурка КНАУФ-Грюнбанд (производитель – «Knauf»).

Проведенный сравнительный анализ (таблица 5.17) выявил значительное превосходство разработанного состава строительной смеси, содержащей аморфную алюмосиликатную добавку с оксидом цинка, над существующими аналогами.

Таблица 5.17 – Технологические и эксплуатационные свойства модифицированной известковой композиционной системы

Параметр	Ед.изм.	Величина показателя для состава			
		разработанный	прототип 1	прототип 2	прототип 3
Средняя плотность ССС	кг/м ³	700	300	550-600	1100
Удобоукладываемость		хорошая	хорошая	хорошая	хорошая
Расход состава	кг/м ²	8,4	3,2	5,5	12
Водоудерживающая способность	%	98,3	96,0	97,0	98
Коэффициент паропроницаемости	мг/(м·ч·Па)	0,18	0,05	0,11	0,1
Прочность при сжатии	МПа	4,7	>0,5	3,5	3,5
Прочность сцепления с основанием	МПа	0,38	0,5	0,3	0,4
Морозостойкость	марка	F35	F25	F50	F35
Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·°С)	0,18	0,07	0,13	0,35
Способность к самоочищению		+	-	-	-
Гарантийный срок хранения в неповрежденной упаковке в сухих помещениях	месяцев	12	12	12	12

Установлены следующие преимущества: ускоренное схватывание, повышенное водоудержание, высокая адгезионная прочность при различных эксплуатационных

условиях, сниженные усадочные деформации и выраженный эффект самоочищения.

5.7 Технико-экономические показатели и технологическая схема производства известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Промышленная апробация композиции известково-цементной сухой строительной смеси, модифицированной алюмосиликатной добавкой, синтезированной в присутствии оксида цинка, подтвердила технологическую реализуемость её производства.

Технологический цикл производства реализуется на базе автоматизированной линии, включающей дозаторы, смесители, приемные и фасовочные бункеры, вибросито и шнековые транспортеры. Процесс представляет собой последовательность операций: подготовка и сушка компонентов, фракционирование, загрузка в бункеры, дозирование, гомогенизация, фасовка и складирование. Дополнительно линия оснащается электронными весами, специализированной оснасткой и технологической тарой.

Сырьевая база включает известь-пушонку, перлитовый песок, белый портландцемент, жидкое натриевое стекло, алюминиевую пудру и комплекс модифицирующих добавок. Структурная схема технологического процесса представлена на рис. 5.14.

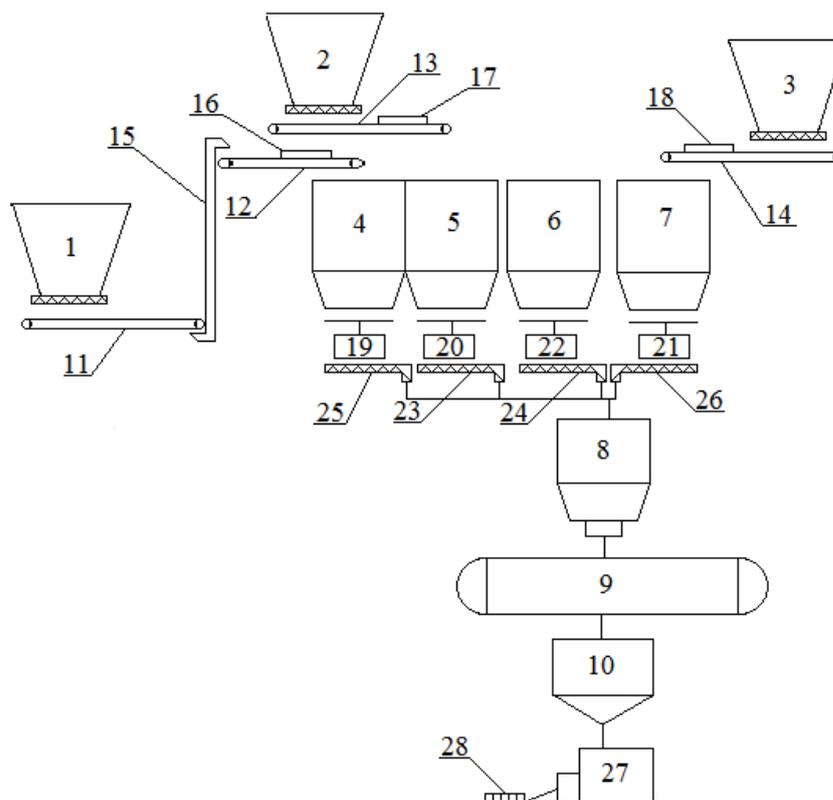


Рисунок 5.14 – Технологическая схема производства разработанного состава ССС: 1 – расходный бункер извести; 2 – расходный бункер белого цемента; 3 – расходный бункер перлитового песка; 4 – силос извести; 5 – силос белого цемента; 6 – силос алюмосиликатной добавки; 7 – силос перлитового песка; 8 – накопительный бункер; 9 – смесители; 10 – бункер ССС; 11, 12, 13, 14 – транспортеры; 15 – элеватор; 16, 17, 18 – плужковые сбрасыватели; 19, 20, 21, 22 – дозаторы; 23, 24, 25, 26 – шнеки; 27 – фасовочная машина; 28 – склад готовой продукции

Результаты работы прошли успешную апробацию в промышленных условиях на предприятии ООО РСУ «Спецработ» (г. Пенза), что подтверждено соответствующим актом (Приложение А).

В основе производственного процесса лежит непрерывная поточная технология, интегрирующая операции дозирования, транспортировки и смешения. Компоненты композиции (известь, белый цемент, перлитовый песок) из исходных бункеров параллельно направляются конвейером в силосы. Далее через систему весового дозирования материал поступает на шнековые питатели, осуществляющие его точную подачу в центральный накопительный бункер —

ключевой узел подготовки. Одновременно с этим из силосов через дозаторы поступают модифицирующие добавки и также по шнековым питателям поступают в накопительный бункер.

Перечень затрат на приобретение предполагаемого оборудования для производства разработанного состава ССС представлен в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Перечень затрат на производственное оборудование

Оборудование	Цена за штуку	Количество	Цена
1	2	3	4
Транспортер ленточный	104006	4	416024
Винтовой конвейер сухих добавок	101400	4	405600
Дозатор	70400	4	281600
Смеситель	324000	1	324000
Системы аспирации	150000	2	300000
Большие бункеры	198000	3	594000
Маленькие бункеры	84999	2	169998
Силосы	90000	4	360000
Фасовщик	198000	1	198000
Воздухоотвод	1388	3	4164
Транспортеры ленточные	104006	4	416024
Элеватор	124000	1	124000
Итоговая стоимость оборудования			5177392

Производство добавки осуществляется посредством дозированного отбора компонентов из расходных бункеров с последующей обработкой в термостатической камере. Продукт синтеза транспортируется конвейерной системой в сушильный барабан, после чего готовая добавка направляется в силосный накопитель для дальнейшего дозирования.

Редиспергируемый порошок, пластифицирующие и гидрофобизирующие компоненты подаются к дозирующим узлам вручную. Все составляющие сухой строительной смеси после накопительного бункера поступают в смесительный

агрегат. После, готовая продукция перемещается в расходный бункер и подвергается фасовке на автоматизированном оборудовании.

Фасовка готовой смеси осуществляется в многослойные крафт-мешки (5-50 кг), снабженные герметичным полиэтиленовым вкладышем для защиты от влаги и контаминации. Далее упаковка транспортируется ленточным конвейером на склад для паллетирования. Рекомендуемые условия хранения и транспортировки: температура $>0^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха $\leq 70\%$.

Эксплуатация производственной линии требует следующих трудовых ресурсов в расчете на одну смену: технолог, операторы дозирочно-смесительного комплекса, упаковщик и грузчик. Для калькуляции себестоимости производства необходимы исходные данные, приведенные в таблицах 5.19 и 5.20.

Таблица 5.19 – Исходные данные для технико-экономических расчетов

Показатель	Значение показателя
Количество рабочих	8 чел.
Количество смен	2
Длительность смены	8 ч
Производительность оборудования	7500 т/год
Установленная мощность оборудования	60 кВт/ч
Аренда помещения за год	732000 руб.
Средняя з.п.	24000 руб.
Зарплата сотрудников за год	2304000 руб.
Себестоимость продукции	22,12 руб.
Цена реализации сухой строительной смеси	28,75 руб.
Прибыль за год	206303779,5 руб.
Чистая прибыль за год	47608564,5 руб.
Стоимость оборудования	5177392 руб.
Объем инвестиций	22435365,33 руб.

Таблица 5.20 – Анализ затрат на изготовление алюмосиликатной добавки и композитной известково-цементной сухой смеси

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб.	Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	1	2	3	4	5
2	Добавка на основе аморфных алюмосиликатов				
3	Дистиллированная вода	т	1500	0,6153	923,07
4	Алюминиевая пудра	т	168000	0,0769	12923,07
5	Жидкое стекло	т	6000	0,3076	1846,15
6	Вспомогательные материалы	руб.			200
7	Амортизация основного оборудования	руб.			60,00
8	Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	5,00	4	20
9	Основная заработная плата производственных рабочих	руб./чел	800	0,09	72
10	Дополнительная заработная плата производственных рабочих	руб./чел	180	0,09	16,2
11	Отчисления на социальное страхование	руб./ч	112,32	0,09	10,1
12	Итого:	руб.			16070,59

Продолжение таблицы 5.20

	1	2	3	4	5
Разработанный состав ССС					
15	Известь	т	3000	0,734	2202
16	Перлитовый песок	т	3500	0,11	385
17	Пластифицирующая добавка	т	900000	0,0044	3960
18	Редиспергируемый порошок	т	321000	0,0367	11780,7
19	Гидрофобизирующая добавка	т	245000	0,0037	906,5
20	Белый цемент	т	10000	0,0367	367
21	Оксид цинка, иммобилизованный на добавке на основе аморфных алюмосиликатов	т	16070,6	0,0735	1181,18
22	Итого:	руб.			20782,38
23	Вспомогательные материалы	руб.			600
24	Амортизация основного оборудования	руб.			120,00
25	Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	5,00	7,33	36,66

Продолжение таблицы 5.20

	1	2	3	4	5
26	Основная заработная плата производственных рабочих	руб./чел	800	0,53	426,6
27	Дополнительная заработная плата	руб./чел	180	0,53	95,4
28	Отчисления на социальное страхование	руб./ч	112,32	0,53	59,52
29	Заводская себестоимость 1т	руб.			22120,5
30	Заводская себестоимость 1кг	руб.			22,12

Экономическую эффективность исследования оценивали методом сравнительного анализа рыночной стоимости. Расчетная стоимость разработанной теплоизоляционной ССС определялась как сумма себестоимости и 30% рентабельности. Полученные данные сопоставлялись со стоимостью аналогов (таблица 5.21).

Таблица 5.21 – Оценка стоимости сухих строительных смесей

Существующие аналоги	Единица измерения	Стоимость, руб.
Разработанная рецептура ССС	кг	22,12
Перлитка ШТ-4	кг	34
UF-2 ТМ «УМКА»	кг	52
КНАУФ-Грюнбанд	кг	10

Согласно данным таблицы 5.21, разработанная сухая строительная смесь (ССС) демонстрирует высокую экономическую эффективность. Стоимость 1 кг разработанной теплоизоляционной известково-цементной ССС составляет 22,12 руб., что на 16,82% ниже, чем у теплоизоляционной штукатурки «Перлитка ШТ-4», и на 45,61% ниже, чем у теплоизоляционной штукатурной смеси UF-2 ТМ «УМКА».

Выводы по главе 5

1. Разработан состав сухих строительных смесей обеспечивающий получение покрытий, характеризующихся способностью к самоочищению, адгезионной прочностью $R_{адг}=0,38$ МПа, когезионной прочностью $R_{ког}=0,39$ МПа, коэффициентом паропроницаемости $\mu=0,18$ мг/(м²чПа), водопоглощением по массе $W_t = 53$ %, усадочными деформациями $\delta = 1,3$ мм/м, маркой по морозостойкости F35

2. Установлено, что в соответствии с итальянским национальным стандартом UNI 11259 известковое покрытие с применением фотокатализатора оксида цинка,

иммобилизованного на синтетическом цеолите, проявляет фотокаталитическую активность, т.е. является самоочищающимся.

3. Измерение краевого угла смачивания (КУС) поверхности покрытий, загрязнённой олеиновой кислотой, до и после облучения ультрафиолетовым (УФ) светом показало, что использование оксида цинка, иммобилизованного на синтетической алюмосиликатной добавке, в составе покрытия способствует развитию фотоиндуцированной супергидрофильности. Это проявляется в переходе поверхности от гидрофильного состояния к супергидрофильному под воздействием света. Установлено, что время достижения окончательного угла смачивания при воздействии УФ для покрытия, модифицированного оксидом цинка, иммобилизованного на синтетической алюмосиликатной добавке, составило девять часов. Для бездобавочного состава значение начального краевого угла смачивания является стабильным и не изменяется в результате облучения УФ светом.

4. Предложена методика определения прочности сцепления штукатурного слоя, заключающаяся в определении сопротивления при сдвиге. Установлено, что коэффициент вариации равен $v=1,5-2,6\%$, изменчивость вариативного ряда можно считать незначительной. Погрешность измерений самого прибора составляет $0,5\%$ от диапазона измерений. Показано, что прочность сцепления на сдвиг растворного слоя образца, испытанного в сухом состоянии при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, составляет $R_{\text{сд}}=0,2\text{ МПа}$.

5. Определены гидрофизические свойства разработанной ССС и покрытий на ее основе. Изучено влияние растворного слоя на основе разработанной рецептуры на тепловлажностное состояние ограждающих конструкций. Установлено, что использование разработанного состава в качестве наружной штукатурки приводит к образованию меньшего количества конденсата, по сравнению с использованием в качестве штукатурки известково-песчаных составов, на 71% . Установлено, что при отделке конструкции с внешней стороны штукатуркой на основе разрабатываемого известково-перлитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы на $1-3\text{ мм}$ в сторону пониженных температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Разработано научно обоснованное технологическое решение, обеспечивающее получение известковых самоочищающихся покрытий фасадов зданий, заключающееся в применении в рецептуре фотокатализатора на основе оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах

2. Разработан состав сухих строительных смесей обеспечивающий получение покрытий, характеризующихся способностью к самоочищению, адгезионной прочностью $R_{адг}=0,38$ МПа, когезионной прочностью $R_{ког}=0,39$ МПа, коэффициентом паропроницаемости $\mu=0,18$ мг/(м²чПа), водопоглощением по массе $W_T = 53$ %, усадочными деформациями $\mu = 1,3$ мм/м, маркой по морозостойкости F35

3. Предложена технология синтеза фотокатализатора, заключающаяся в введение оксида цинка, микродисперсных порошков алюминия марки ПАП-1 в натриевое жидкое стекло с модулем 2,9 и выдерживании смеси при температуре 60 °С в течение 90 мин. Установлен оптимальный является состав с соотношением компонентов алюминиевая пудра: жидкое стекло: вода: ZnO в соотношении 1: 8: 14: Выявлены закономерности изменения фотокаталитической активности фотокатализатора в зависимости от удельной поверхности оксида цинка, заключающиеся в том, что применение оксида цинка с более высокой удельной поверхностью способствует повышению фотокаталитической активности. Рекомендовано синтез фотокатализатора проводить с применением оксида цинка с удельной поверхностью $S_{уд} = 6,2$ м²/г..

4. Определены свойства синтезируемого фотокатализатора: гранулометрический состав представлен частицами размером 0,01–2,0 мкм (2,48%), содержание частиц размером 80,000–100,000 мкм составляет 8,20 %. Истинная плотность равна $\rho_{ист}=2100$ кг/м³, насыпная $\rho_{нас}=(0,55\pm 0,05)$ г/см³. Химический состав представлен оксидами алюминия, составляющими 51,03 %.

Выявлено уменьшение оптической ширины запрещенной зоны оксида цинка в присутствии синтезированного цеолита до 2,7–2,9 эВ в зависимости от технологии получения фотокатализатора.

5. Исследован характер энергетических свойств поверхности фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтезируемых алюмосиликатах. Установлено, что кислотно-основной центр поверхности образца добавки характеризуется преобладанием центров по Бренстеду. Содержание активных центров в области $pK_a < 7$ составляет 53,72 ммоль/г, в области $pK_a > 13$ составляет 7,70 ммоль/г.

6. Методом РФА выявлено, что минералогический состав известкового композита представлен портландитом – $Ca(OH)_2$, тремя известными полиморфами карбоната кальция $CaCO_3$ – кальцитом, арагонитом и ватеритом, гидрокарбоалюминатами кальция, $d, (\text{Å})$ (4,613; 2,5289), гидроалюминатами кальция $d, (\text{Å})$ (4,099; 3,948; 3,6187; 3,47; 2,8432), гидроалюмосиликатами кальция $d, (\text{Å})$ (5,016; 3,1816), кальцитом $d, (\text{Å})$ (3,0079; 2,7542), портландитом $d, (\text{Å})$ (3,1816; 2,6433), гидроалюмосиликаты натрия, $d, (\text{Å})$ (3,6896; 2,9214; 2,6708). Выявлено увеличение количества химически связанной извести на 68,59 %.

7. Установлены закономерности твердения известковых растворов с добавкой фотокатализатора на основе аморфных алюмосиликатов. Установлено, что введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов в известковую систему приводит к незначительному снижению pH жидкой фазы, способствует повышению теплоты структурообразования. Подобрана оптимальная концентрация минеральной добавки, составляющая 10 % от массы извести. Показано, что введение в известковый состав алюмосиликатной добавки способствует повышению прочности при сжатии образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения.

8. Установлено, что в соответствии с итальянским национальным стандартом UNI 11259, российским ГОСТ Р 57255–2016 «Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия» известковое покрытие с применением

фотокатализатора оксида цинка, иммобилизованного на синтетическом цеолите, проявляет фотокаталитическую активность, т.е. является самоочищающимся.

9. Установлены закономерности влияния рецептурно-технологических факторов на реологические и технологические свойства известковых растворных смесей. Установлен большой пластифицирующий эффект добавок на основе поликарбоксилатных эфиров по сравнению с добавками на основе модифицированных лигносульфонатов натрия в известковых системах с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов. Установлено оптимальное содержание пластифицирующей добавки и редуцируемого порошка. Выявлено, что совместное введение пластифицирующих и модифицирующих добавок в рецептуру известковых сухих строительных смесей способствует повышению водоудерживающей способности составов до 99,2 %.

10. Определены гидрофизические свойства самоочищающихся покрытий на основе разработанной ССС. Значение коэффициента диффузии влаги составляет 4,74 м²/с. Изучено влияние растворного слоя на основе разработанной ССС на тепловлажностное состояние ограждающих конструкций зданий. Использование покрытия на основе разработанной ССС характеризуется меньшей толщиной зоны конденсации и количеством конденсата в толще отделочного слоя.

11. Разработан проект стандарта организации (СТО) «Самоочищающиеся известковые покрытия с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия» (Приложение Б).

Рекомендации. Проект СТО «Самоочищающиеся известковые покрытия с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия», а также рецептуру и технологию изготовления известковой сухой строительной смеси с добавкой оксида цинка, иммобилизованного в процессе синтеза на алюмосиликаты, рекомендуется внедрить на предприятиях по производству сухой строительной смеси.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы рекомендуются для внедрения в практику деятельности предприятий по выпуску

сухих строительных смесей, а также в учебный процесс для подготовки бакалавров по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейшей разработки темы. Положения и выводы, изложенные в диссертации, могут представлять методологическую основу для продолжения исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адсорбенты, их получение, свойства и применение / А.Ю. Крупенникова, Г.В. Цицишвили, М.Н. Бурджанадзе и др. – Л.: Наука, 1978. – 44 с.
2. Алексеева, Л.В. Технологические особенности производства вспученного перлита из сырья различных месторождений / Л.В. Алексеева // Строительные материалы и изделия. -2005. - № 6. - С. 25-29.
3. Анализ структурной эволюции порошков оксида цинка, полученных методом механического высокоэнергетического размола / И.А. Аверин, И.А. Пронин, Н.Д. Якушова, А.А. Карманов, М.М. Сычев, С.В. Вихман // Журнал технической физики. -2019. -Т. 89. -№ 9. -С. 1406-1411.
4. Ананьев, А.А. Долговечность и теплозащитные качества наружных ограждающих конструкций, утепленных пенополистиролом / А.А. Ананьев, Т.Н. Гоняева, А.И. Ананьев // Сб. докладов: "Актуальные проблемы строительной теплофизики", 7-ая конференция, -Москва: НИИСФ, 2002, -С. 124-132.
5. Андерхальт, Р. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применения: монография / Р. Андерхальт, П. Анзалоне, Р. Апкариан, А. Борисевич. – Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 582 с. - ISBN 978-5-9963-1110-1.
6. Андрианов, К.А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистиролов ограждающих конструкциях зданий: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Андрианов Константин Анатольевич; Тамбовский государственный технический университет. - Тамбов, 2002. -210 с. -Библиогр.: с. 189-208.
7. Антоненко, М.В. Мелкозернистый бетон с полифункциональной анатаз-кремнеземной добавкой для самоочищающихся изделий: специальность 2.1.5 «Строительные материалы и изделия»: диссертация на соискание ученой

степени кандидата технических наук / Антоненко Марина Вячеславовна; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - Белгород, 2022. - 200 с.

8. Артемьев, Ю.М. Введение в гетерогенный фотокатализ: учебное пособие / Ю.М. Артемьев, В.К. Рябчук. - СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. – 304 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 5-288-01745-X.

9. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – М: Издательство АСВ, 2003. – 96 с. -(Профессиональное образование). - ISBN 978-5-4323-0095-9.

10. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 60-62.

11. Беляков, А.В. Преимущество теплоизоляции из материалов с естественной пористостью / А.В. Беляков, С.Э. Иванов // Новые огнеупоры. -2008.- №7.-С. 41-44.

12. Берлин, А.А. Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Химия, 1974. - 391 с.

13. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. М.: Стройиздат, 1979. - 248 с.

14. Большаков, Э.Л. Систематизация сухих строительных смесей (к проекту государственного стандарта «Смеси сухие строительные. Классификация») / Э.Л. Большаков, Т.Н. Тюрина. // Сб. докл. 3 Междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологии сухих строительных смесей в строительстве «MixBuild» - Санкт-Петербург, -2001. - С.7-13.

15. Большаков, Э.Л. Сухие смеси для отделочных работ / Э.Л. Большаков. // Строительные материалы. - 1997. - №7. - С. 8-9.

16. Бондаренко, Д.О. Современные покрытия для теплоизоляции фасадов зданий / Д.О. Бондаренко, А.М. Рыкунов // Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика. - 2015 - С. 41-44.

17. Ботка, Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России: итоги 2022 года и перспективы / Е.Н. Ботка // Цемент и его применение. 2023. -№ 1. -. С. 20-21.
18. Ботка, Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России: итоги полугодия / Е.Н. Ботка // Строительные материалы. 2022. -№ 9. -С. 15-17.
19. Ботка, Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России: от быстрого роста к спаду? / Е.Н. Ботка // Цемент и его применение. 2022. -№ 2. -С. 24-25.
20. Варианты синтеза фотокаталитически активной добавки для цементных систем / И.В. Козлова, О.В. Земскова, С.В. Самченко, М.О. Дударева // Техника и технология силикатов. 2023. Т. 30. № 3. С. 206–216.
21. Василик, П.Г. Трещины в штукатурках / П.Г. Василик, И.В. Голубев. - Текст: электронный. // Строительные материалы. -2003. - №4. - с. 14-16. -URL: https://www.eurohim.ru/upload/art%20SSS_Tre%20v.pdf (дата обращения: 11.02.2015).
22. Вернигорова, В.Н. Физико-химические основы образования модифицированных гидросиликатов кальция в композиционных материалах на основе системы CaO–SiO₂–H₂O / В.Н. Вернигорова. -Пенза: ЦНТИ, - 2001. – 394 с.
23. Виноградов, Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона / Б.Н. Виноградов. - М.: Стройиздат, 1979. - 224 с.
24. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1979. - 476 с.
25. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. - 2001.- № 4. - С. 8-10.
26. Гордиенко, К.К. Исследование рынка сухих штукатурок / К.К. Гордиенко, Логинова Е. В. // MODERN SCIENCE. 2021. -№ 5-3. -С. 71-78.
27. Горчаков, Г.И. Повышение трещиностойкости водостойкости легких бетонов / Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер, И.И. Лифанов. -М.: Стройиздат. 1971.- 587 с.

28. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стекло. Кристаллические материалы: структура и свойства: справочное пособие / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. - М.: Стройиздат, 1995. - 584 с.

29. ГОСТ Р 58767–2019. Растворы строительные. Методы испытаний по контрольным образцам: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2019 г. № 1398-ст: дата введения 2022-07-01. - М.: Стандартинформ, 2020. - 16 с.

30. ГОСТ 10060–2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1982-ст: дата введения 2014-01-01. - М.: Стандартинформ, 2018. - 18 с.

31. ГОСТ 13078–2021. Стекло натриево-жидкое. Технические условия: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2021 г. № 993-ст: дата введения 2022-05-01. - М.: Российский институт стандартизации, 2021. - 20 с.

32. ГОСТ 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2021 г. № 993-ст: дата введения 2022-05-01. - М.: Изд-во стандартов, 1970. - 14с.

33. ГОСТ 18299-72. Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета стандартов совета министров СССР от 25.12.72 № 2324: дата введения 1974-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 2003. - 7 с.

34. ГОСТ 19007-73*. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания: утвержден и введен в действие постановлением

государственного комитета стандартов совета министров СССР от 20.07.73 № 1789: дата введения 1974-01-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. - 7 с.

35. ГОСТ 23732–2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 мая 2012 г. № 97-ст: дата введения 2012-10-01. - М.: Стандартиформ, 2012. - 16 с.

36. ГОСТ 31189–2015. Смеси сухие строительные. Классификация: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 03 апреля 2015 г. № 213-ст: дата введения 2015-10-01. - М.: Стандартиформ, 2015. - 16 с.

37. ГОСТ 50779.21–2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 января 2004 г. № 3-ст: дата введения 2004-06-01. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. - 47 с.

38. ГОСТ Р 57255–2016. Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2016 г. № 1659-ст: дата введения 2017-07-01. - М.: Изд-во Стандартиформ. -2016. - 19 с.

39. Государственная программа "Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации". Распоряжение от 30 ноября 2012 г. № 2227-р подписано Премьер-министром РФ Дмитрием Медведевым.

40. Грачев, И.А. Причины и возникновение повышенной влажности стен здания / И. А. Грачев // Жилищное строительство. -1995. - №9. - С. 18-20.

41. Губарева, Е.Н. Коллоидно-химические аспекты получения фотокаталитического анатаз-кремнеземного композиционного материала: специальность 1.4.10 «Коллоидная химия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Губарева Екатерина Николаевна; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - Белгород, 2021. - 205 с.

42. Губарева, Е.Н. Особенности структуры золь диоксида титана и морфологии пленок на их основе / Е.Н. Губарева, П.С. Баскаков, В.В. Строкова, М.В. Лабузова // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. -2019. -№ 48 (74). -С. 78-83.

43. Данилов, А.М. Математическое моделирование структуры и свойств материалов нового поколения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2008. - Т.1 (вып. 5). - С. 876–877.

44. Дергунов, С.А. Проектирование составов сухих строительных смесей: монография / С. А. Дергунов, В. Н. Рубцова. - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 97 с.

45. Деркач, В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке / В.Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. -2012. -№ 3. - С.19-28.

46. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, В. П. Смилга. - М.: Наука, 1977. - 280 с.

47. Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.]; под ред. В.С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с. - ISBN 5-274-00208-0.

48. Использование фотокаталитического композиционного материала в цементной системе / М.В. Лабузова, Е.Н. Губарева, Ю.Н. Огурцова, В.В. Строкова // Строительные материалы. - 2019. – № 5. - С. 16-21.

49. Жерновский, И.В. Применение полнопрофильного метода в рентгенофазовом исследовании цементного клинкера / И.В. Жерновский,

А.Н. Хархардин, В. В. Строкова // Известия вузов. Строительство. -2007. - №11. - С. 94-97.

50. Жуков, А.В. Перлитовые штукатурные растворы / А.В. Жуков, Т.В. Почупайло // Строительные материалы. -1978. - № 1. -С. 19-20.

51. Загороднюк, Л.Х. Эффективные строительные материалы для штукатурных работ на основе перлита / Л.Х. Загороднюк, Н.В. Ширина, Т.Е. Локтева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2005. - № 9. - С. 89 - 92.

52. Закономерности структурообразования известковых композитов с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов / К.В. Жегера, А.Д. Рыжов, Ю.А. Соколова, Н.И. Шестаков // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. -2023.-. - Т. 15.- С. 220-227.

53. Захаров, С.А. Высокоактивный метакаолин – современный активный минеральный модификатор цементных систем / С.А. Захаров, Б.С. Калачик // Строительные материалы. - 2007. - № 5. - С. 56-57.

54. Иванов, И.А. Легкие бетоны на основе зол электростанций / И.А. Иванов. - 3-е изд., перераб. и доп. -М.: Стройиздат, 1986. - 136 с.

55. Ильинский, В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий) / В.М. Ильинский. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.

56. Исследование механизма фотокаталитической активности оксида цинка в присутствии синтетического цеолита / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов, И.А. Пронин, А.А. Карманов, Н.Д. Якушова // Вестник МГСУ. - 2024.-. Т. 19- № 11.- С. 66-72.

57. Исследование физико-механических и фотокаталитических свойств цементных композитов, модифицированных промышленным диоксидом титана / С.В. Самченко, И.В. Козлова, А.В. Коршунов, О.В. Земскова, М.О. Дударева, Н.З. Агафонова // Техника и технология силикатов. 2023. Т. 30. № 2. С. 152–161.

58. К методике оценки влияния пластифицирующих добавок на технологические и реологические свойства цементных композиций / И.А. Иванов,

В.И. Калашников, Ю.С. Кузнецов, В.Н. Шкурко // Реология бетонных смесей и ее технологические задачи: Тез.докл. III всесоюз. Симпоз. - 1979. - С. 179-182.

59. Казарновский З.И. Утепление ограждающих конструкций, санация и гидроизоляция с применением сухих смесей / З.И. Казарновский, Л.М. Омельченко, Г.Н. Савилова // Строительные материалы. -1999.-№3.-С. 24-25.

60. Карапузов, Е.К. Сухие строительные смеси / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд. – К.: Техника, 2000. - 226 с.

61. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси / В.В. Козлов. - М.: АСВ, 2000. – 96.с.

62. Корнеев, В.И. Ускоритель схватывания портландцемента на основе аморфного гидроксида алюминия ОАО "Бокситогорский глинозем" / В.И. Корнеев, И.Н. Медведева, А.Г. Илясов // 3-я международная конференция "Сухие строительные смеси для XXI века: технология и бизнес" - СПб: 2003 - С.16-17.

63. Корнеев, В.И. Словарь «Что» есть «что» в сухих строительных смесях / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля. -Сбп.: Союз производителей сухих строительных смесей, 2004.-312 с. -ISBN: 5-9900235-1-0.

64. Кройчук, Л.А. Опыт изготовления и использования сухих растворных смесей за рубежом / Л.А.Кройчук // Строительные материалы. -2000. -№9. –С. 16-17.

65. Логанина, В.И. Влияние теплоизоляционной штукатурки на основе известково-перлитового состава на влажностный режим наружных стен зданий / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. - 2016. - № 1(26). - С. 44-47.

66. Логанина, В.И. Добавка на основе синтетических алюмосиликатов для известкового композиционного вяжущего / В.И. Логанина, П.А. Полубояринов, А.Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. -2016. -№ 3 (28). -С. 28-32.

67. Логанина, В.И. Закономерности синтеза добавки на основе аморфных алюмосиликатов / В.И. Логанина, К.В. Жегера, А.Д. Рыжов // Инженерный вестник Дона. -2018. -№ 2 (49). -С. 170.

68. Логанина, В.И. Композиционное известковое вяжущее с применением алюмосиликатов / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2014.- № 4.- С. 80-81.

69. Логанина, В.И. Оценка прочности сцепления известково-перлитовой сухой строительной смеси с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов // Известия вузов. Строительство. - 2016. - №3. - С. 38-42.

70. Логанина, В.И. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, Э.Р. Акжигитова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2011. - №3. - С.8-12.

71. Логанина, В.И. Реологические свойства известковых сухих строительных смесей с синтезируемой добавкой на основе аморфного алюминия / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. - 2015.- № 1.- С. 58-61.

72. Логанина, В.И. Структура и свойства тонкодисперсных наполнителей на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Вестник гражданских инженеров. - 2012. - № 2. - С. 167-169.

73. Логанина, В.И. Структура и свойства синтезированной добавки на основе аморфных алюмосиликатов для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов, И.В. Жерновский // Региональная архитектура и строительство. - 2014.- № 3.- С. 25-28.

74. Логанина, В.И. Структура и свойства синтезируемой добавки на основе аморфных алюмосиликатов/ В.И. Логанина, А.Д. Рыжов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2015.- № 5.- С. 7-10.

75. Логанина, В.И. Структурообразование известковых композитов в присутствии синтезированных добавок на основе гидросиликатов кальция / В.И. Логанина, И.С. Пышкина // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2015. - № 1. - С. 81-83.

76. Логанина, В.И. Фотокаталитические свойства известковых покрытий с добавкой на основе синтетических алюмосиликатов / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. - 2024.- № 2(59). - С. 66-72.

77. Логанина, В.И. Эффективность применения теплоизоляционной штукатурки на основе известково-перлитового состава с использованием алюмосиликатной добавки / В.И. Логанина, О.В. Карпова, А.Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. - 2016.- № 1(26). - С. 55-58.

78. Малайрэу, Ю.А. Синтез и исследование свойств поликарбоксилатных пластификаторов / Ю.А. Малайрэу, Е.А. Индейкин // Шестьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 23 апреля 2013 г., Ярославль: электрон.сб. тез. докл. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013. - С. 99.

79. Малявина, Е.Г. Теплотери здания / Е.Г. Малявина. - М.: НИИСФ, 2011- 148 с.

80. Материалы и изделия на основе вспученного перлита / А.В. Жуков [и др.]//: под общ. ред. А.В. Жукова. -М.: Стройиздат, 1972. -159 с.

81. Матросов, Ю.А. Энергосбережение в зданиях: проблема и пути её решения / Ю.А. Матросов –М.: НИИСФ. -2008.-496 с.

82. Методика оценки прочности сцепления растворного слоя на основе сухих строительных смесей / К.В. Жегера, И.С. Пышкина, А.Д. Рыжов, А.А. Живаев // Региональная архитектура и строительство. - 2015. - №2(23). - С. 64-67.

83. Моргун, В.Н. К вопросу об эффективности теплоизоляции фасадов гражданских зданий / В.Н. Моргун, Л.В. Моргун, И.А. Черенкова // Жилищное строительство - 2015. - № 4. - С. 21-24.

84. Наркевич, Ф.Ф. К вопросу о классификации сухих строительных смесей / Ф.Ф. Наркевич, Е.И. Дьяченко // Строительные материалы, -2002. -№9.- с. 10-12.

85. Наседкин, В.В. Перлит как заполнитель легких бетонов. Историческая хроника и перспективы на будущее / В.В. Наседкин // Строительные материалы. - 2006. - № 6. - С. 70-74.

86. Нечипоренко, А.П. Донорно-акцепторные свойства поверхности твердофазных систем. Индикаторный метод: специальность 02.00.18 «Химия, физика и технология поверхности»: диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук / Нечипоренко Алимпиада Павловна. - Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). –С.-Пб., 1995. – 40 с.

87. Новикова, Л.А. Определение типа активных центров на поверхности глинистых минералов в реакции конверсии метилбутинола / Л.А. Новикова, Л.И. Бельчинская, Ф. Ресснер. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2005. – Т. 5, № 6. – С. 806-815.

88. Правительство Российской Федерации: официальный сайт. - Москва. - URL: <http://government.ru/docs/22980/> (дата обращения:19.05.2016). - Текст: электронный.

89. Орлович, Р. Б., Деркач, В.Н. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий / Р. Б. Орлович, В.Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. -2011. -№7(25). -С.3-10.

90. Османов, С.Г. К исследованию возможностей повышения эксплуатационных качеств теплоизоляционных фасадных систем с тонкой штукатуркой / С.Г. Османов, О.А. Бабкин. //Научное обозрение. - 2015. - № 21. - С. 89-93.

91. Оценка эффективности минеральных добавок в цементных системах при разработке фотокаталитических композиций «ядро – оболочка» / А.С. Балыков, Т.А. Низина, В.М. Кяшкин, С.В. Володин // Нанотехнологии в строительстве. - 2022. - Т. 14. - № 5. - С. 405-418.

92. Патент № 2044689 Российская Федерация, МПК С01В33/38. Способ получения алюмосиликата натрия: № 92 5062929: заявл. 16.06.1992 /

Харитонов В.П., Алексеева Г.Н., Гнездинов А.А., Савина Н.Ф., Ковалев В.М.- 3 с.: ил.

93. Патент № 2132545 Российская Федерация, МПК G01N3/24, E02D1/00. Сдвиговый прибор: № 96114564/03: заявл. 22.17.1996: опубл. 27.06.1999 / Болдырев Г.Г., Хрянина О.В.- 4 с.: ил.

94. Патент № 2144499 Российская Федерация, МПК C01B33/26, B01J21/12. Способ получения аморфного, микро/мезопористого алюмосиликатного геля: № 94044330/12: заявл. 21.12.1994: опубл. 20.01.2000 / Карло П., Стефано П.; Роберто М.- 2 с.: ил.

95. Патент № 2402486 Российская Федерация, МПК C01B33/26 Способ получения аморфного алюмосиликатного адсорбента: № 2008118244/15: заявл. 20.11.2009: опубл. 27.10.2010 / Милинчук В.К., Шилина А.С. - 7 с.: ил.

96. Патент № 2438974 Российская Федерация, МПК C01B33/26. Способ получения аморфного алюмосиликатного адсорбента: № 2010102649/05: заявл. 26.01.2010: опубл. 10.08.2011 / Милинчук В.К., Шилина А.С. - 7 с.: ил.

97. Патент № 2463108 Российская Федерация, МПК B01J 21/12, B01J 20/16, B01J 29/06, B01J 29/89, C01B 39/02, C01B 39/18. Композиция аморфного алюмосиликата и способ получения и использования такой композиции: № 2010111735/04: заявл. 10.10.2011: опубл. 10.10.2012 / Аккерман Р.К., Мишел К.Г, Смигал Д.Э., Ван Вен Йоханнес.Ф.Р - 19 с.: ил.

98. Патент № 2601951 Российская Федерация, МПК C04B 41/50, C04B 28/10, C04B 111/20. Состав теплоизоляционной штукатурки: № 2015130688/03: заявл. 23.07.2015: опубл. 10.11.2016 / Логанина В.И., Рыжов А.Д. - 7 с.: ил.

99. Песцов, В.И. Современное состояние и перспектива развития производства сухих строительных смесей в России / В.И. Песцов, Э.Л. Большаков // Строительные материалы, -1999.-№3.-С. 3-6.

100. Применение диатомитов в производстве строительных материалов / С.С. Радаев, К.С. Иванов, О.И. Селезнёва, Н.З. Рясная. // Приволжский научный журнал. -2011- № 2. - С. 48-52.

101. Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер [и др.] - М.: Металлургия, 1978. -344 с.
102. Рыбакова, Г.С. Эффективные теплоизоляционные материалы в наружных ограждениях / Г.С. Рыбакова, А.С. Першина // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн – 2015– С. 140-144
103. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Т.Ю. Сафонова // Вестник гражданских инженеров. 2011. - № 1. -С. 98-103.
104. Синтез наноструктур на основе оксида цинка для создания гетероструктурных фотовольтаических элементов/ Н.А. Лашкова, А.И. Максимов, А.А. Рябко, А.А. Бобков, В.А. Мошников, Е.И. Теруков // Физика и техника полупроводников. -2016. -Т. 50. -№ 9. -С. 1276–1282.
105. Синтез и исследование фотокаталитических свойств материалов на основе TiO_2 / А.Ю. Степанов, Л.В. Сотникова, А.А. Владимиров, Д.В. Дягилев, Т.А. Ларичев, В.М. Пугачев [и др.] // Вестник КемГУ. -2013. -№ 2-1 (54). -С. 249–255.
106. Стрельников В.А. Создание эффективной теплоизоляции здания / В.А. Стрельников, А.А. Пудов, А.А. Пикалов // Современные технологии в строительстве, теплоснабжении и энергообеспечении. - 2015 - С. 211-213.
107. Строкова, В.В. Оценка свойств кремнеземного сырья как подложки в составе композиционного фотокаталитического материала / В.В. Строкова, Е.Н. Губарева, Ю.Н. Огурцова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2017. - № 2. - С. 6-12.
108. Сухие растворные смеси для штукатурных работ / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, А.А. Борисов, Н.И. Попов // Материалы XXVIII науч.-техн. конф. - 1995. - Ч. 2. - С. 66.
109. Сухие строительные смеси с наполнителями на основе гидросиликатов кальция / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева, Е.В. Королев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 222-228.

110. Тейлор, Х. Гидросиликаты кальция / Х. Тейлор. -М.: Стройиздат, 1973.- 114 с.
111. Телешов, А.В. Новые заводы по производству сухих смесей / А.В. Телешов, В.А. Сапожников. // Строительные материалы, -2003. -№ 11.-125с.
112. Тренды на рынке сухих строительных смесей: Группа компаний «ВИРА» [сайт]. -2016. -URL: <http://www.vira.ru/exp/news/detail.php?ID=43729> (дата обращения: 22.05.2016).
113. Тюрина, Т.Ю. К вопросу о разработке государственного стандарта «Смеси сухие строительные. Классификация» / Т.Ю. Тюрина // Строительные материалы. - 2003.-№1.- С.8-9.
114. Удодов, С.А. Особенности свойств сухих смесей с применением пористых заполнителей / С.А. Удодов, В.Ф. Черных // Строительные материалы. - 2006.-№3.- С.15-17.
115. Урецкая, Е.А. Сухие строительные смеси: материалы и технологии / Е.А. Урецкая, Э.И. Батяновский - Минск: НПООО «Стринко», 2001.-208с.
116. Уэндландт У. Термические методы анализа / У. Уэндландт. -М.: -Мир, 1978. -С. 145-212.
117. Фаликман, В.Р. Новые высокоэффективные нанодобавки для фотокаталитических бетонов: синтез и исследование/ В.Р. Фаликман, А.Я. Вайнер // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. -2015. -Т. 7. -№ 1. - С. 18–28.
118. Фаликман, В.Р. Фотокаталитически активные строительные материалы с наночастицами диоксида титана - новая концепция улучшения экологии мегаполисов / В.Р. Фаликман. - М.: МГСУ, 2015. -49 с.
119. Федулов, А.А. Техничко-экономическое обоснование преимущества применения сухих строительных смесей / А.А. Федулов // Строительные материалы. -1999. -№3. -С.26-27.
120. Фомина, Н.Н. Разработка теплоизоляционных защитно-декоративных композиций/ Н.Н. Фомина, В.А. Бабенко, Е.Г. Меньшикова // Техническое регулирование в транспортном строительстве - 2015. - № 5. - С. 81-85.

121. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы, свойства, применение / М.В. Антоненко, Ю.Н. Огурцова, В.В. Строкова, Е.Н. Губарева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2020. - № 3. - С. 16-25.
122. Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана/ Н.П. Лукутцова, О.А. Постникова, Г.Н. Соболева, Д.В. Ротарь, Е.В. Оглоблина // Строительные материалы. -2015. -№ 11. -С. 5-8.
123. Хела, Р. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа TiO_2 в бетоне / Р. Хела, Л. Боднарва // Строительные материалы. – 2015. - № 2. - С. 77-81
124. Цементно-перлитовая штукатурная смесь для фасадных работ Перлитка ШТ4: Перлитка [сайт]. -2016 – URL: <http://perlitka.org.ua/sht4> (дата обращения: 22.05.2016).
125. Черенкова, И.А. Проблемы теплоизоляции фасадов зданий / И.А. Черенкова, Л.В. Моргун //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2015. - №2 - С. 23-27.
126. Энергосбережение в многоквартирном доме / И.В. Генцлер, Е.Ф. Петрова, С.Б. Сиваев, Т.Б. Лыкова. - М.:Научная книга , 2009.-130с.
127. Ященко Ю.В. Энергоэффективные строительные материалы / Ю.В. Ященко// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2015. - № 4. - С. 24-27
128. Adams, F. W. Effect of particle size on the hydration of lime / F. W. Adams // Industrial and engineering chemistry. - 1997. - № 5. - pp. 589-591.
129. Allen, W. I. Lime as a building material. / W. Allen, I. Allen, L.A. McDonald // The structural engineer. -2003. - № 17. - 317 p.
130. Ashurst, J. The technology and use of hydraulic lime /J. Ashurst // Lime news. -1997.-№5.-pp. 51-58.
131. Axilat SA 502 Alumina Accelerator Formulation Additive: Hexion [сайт]. - 2016 -URL: <https://www.hexion.com/Products/TechnicalDataSheet.aspx?id=2626>

132. Cachim, P. Effect of Portuguese metakaolin on hydraulic lime concrete using different curing conditions / P. Cachim, A. Velosa, F. Rocha // *Construction and Building Materials*. - 2010. - Vol. 24. - pp. 71-78.

133. Chandra S. Lightweight aggregate concrete – science, technology, and applications. / S. Chandra, L. Berntsson. NY: William Andrew Publishing -Noyes: -2002.- 450 p.

134. Color removal from wastewater by photocatalytic process using titanium dioxide-coated glass, ceramic tile, and stainless-steel sheets / K. Sirirerkratana, P. Kemacheevakul, S. Chuangchote // *J. Clean. Prod.* - 2019. - V. 215. -pp. 123-130.

135. Diamanti, M. Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO₂ / M. Diamanti, B. Del Curto, M. Ormellese, M. Pedefferri // *Construction and Building Materials*. - 2013. - Vol. 46. - pp. 167-174.

136. Elaboration of Fe₃O₄/ZnO nanocomposite with highly performance photocatalytic activity for degradation methylene blue under visible light irradiation / R. Elshypany, H. Selim, K. Zakaria, A.H. Moustafa, S.A. Sadeek, S.I. Sharaa [et al.] // *Environmental Technology & Innovation*. -2021. -Vol. 23. -pp. 101710.

137. El-Roz, M. Immobilization of TiO₂ nanoparticles on natural *Luffa cylindrica* fibers for photocatalytic applications / M. El-Roz // *RSC Advances*. - 2013. - Vol. 3. - № 10. - pp. 3438-3445.

138. Evaluation of the Tauc method for optical absorption edge determination: ZnO thin films as a model system/ B.D. Viezbicke, S. Patel, B.E. Davis, D.P. Birnie // *Physica status solidi (b)*. -2015. -Vol. 252. Issue 8. -pp. 1700–1710.

139. Fatimah, I. Physicochemical characteristics and photocatalytic performance of TiO₂/SiO₂ catalyst synthesized using biogenic silica from bamboo leaves / I. Fatimah // *Heliyon*. - 2019. - Vol. 5. - №. 11. - pp. e02766.

140. Fortes-Revilla, C. Modelling of slaked lime–metakaolin mortar engineering characteristics in terms of process variables / C. Fortes-Revilla, S. Martínez-Ramírez, M. Blanco-Varela // *Cement and Concrete Composites*. - 2006. -Vol. 28, Issue 5. - pp. 458-467.

141. Interaction of Amorphous Nano-aluminosilicates with Cement Pore Solution and the Effect on the Early Hydration Reaction of Portland Cement / JF Munoz, JMS Silva, L Perry, J Youtcheff, K Sobolev // *Nanotechnology in Construction*, -2015.-Vol. 4 -pp. 161-166.

142. Im, J.S. Improved photodegradation properties and kinetic models of a solar-light-responsive photocatalyst when incorporated into electrospun hydrogel fibers / J.S. Im // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 2010. - Vol. 346. - № 1. - pp. 216-221.

143. Impact of photocatalytic remediation of pollutants on urban air quality / C. George, A. Beeldens, F. Barmpas, J. Doussin, G. Manganelli, H. Herrmann, J. Kleffmann, A. Mellouki // *Frontiers of Environmental Science*. - 2016. - Vol. 10. - № 5.

144. Kangwansupamonkon, W. Photocatalytic efficiency of TiO₂/poly [acrylamide-co- (acrylic acid)] composite for textile dye degradation / W. Kangwansupamonkon, W. Jitbunpot, S. Kiatkamjornwong // *Polymer Degradation and Stability*. - 2010. - Vol. 95. - № 9. - pp. 1894-1902.

145. Kazemi, F. Photodegradation of methylene blue with a titanium dioxide/polyacrylamide photocatalyst under sunlight / F. Kazemi // *Journal of Applied Polymer Science*. - 2016. - Vol. 133. - № 19. - pp. 43386-43395.

146. Kiriakidou, F. The effect of operational parameters and TiO₂ -doping on the photocatalytic degradation of azo-dyes/ F. Kiriakidou, D.I. Kondarides, X.E. Verykios // *Catalysis Today*. -1999. -Vol. 54. Issue 1. -pp. 119–130.

147. Kondo, R. Early hydration of Tricalcium Silicate: a Solid Reaction with Induction and Acceleration Periods / R. Kondo, M. Daimon // *J. Amer. Ceram. Soc.* – 1969. – № 9. – pp. 503–508.

148. Kochkina, N.E. Photocatalytic activity of biomorphic TiO₂ fibers obtained by ultrasound-assisted impregnation of cellulose with titanium polyhydroxocomplexes / N.E. Kochkina // *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. - 2017. - Vol. 5. - № 6. - pp. 5148-5155.

149. Lei, P. Immobilization of TiO₂ nanoparticles in polymeric substrates by chemical bonding for multi-cycle photodegradation of organic pollutants / P. Lei // *Journal of Hazardous Materials*. -2012. - Vols. 227-228. - pp. 185-194.

150. Loganina, V.I. Additive based on aluminosilicates for lime dry mortar mixes/ Y.P. Skachkov, A.D. Ryzhov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2018. -Vol. 441. -pp. 012028.

151. Loganina V.I. Photocatalytic self-cleaning lime coatings / V.I. Loganina, A.D. Ryzhov, N.A. Shipilova, R.V. Motylev, A.V. Klyuev // Construction Materials and Products 2025. DOI: 10.58224/2618-7183-2025-8-2-8

152. Loganina, V.I. Properties of limy composites with the addition aluminosilicates/ V.I. Loganina, A.D. Ryzhov // Contemporary Engineering Sciences. - 2015. -Vol. 8. -pp. 409–413.

153. Loganina V.I. Self-cleaning lime coatings for restoration and finishing of external walls of buildings / V.I. Loganina, A.D. Ryzhov // AIP Conference Proceedings. 2025. T. 3347 (1). P. 11-20. DOI: 10.1063/5.0290235

154. Loganina, V.I. Structure and properties of synthesized additive based on amorphous aluminosilicates/ V.I. Loganina, A.D. Ryzhov // Case Studies in Construction Materials. -2015. -Vol. 3. -pp. 132–136.

155. Loganina, V.I. The limy composite binder with the use of the synthesized aluminosilicates/ L.V. Makarova, R.V. Tarasov, A.D. Ryzhov // Applied Mechanics and Materials. -2014. -Vol. 662. -pp. 11–14.

156. Lucic, M. The potential application of TiO₂/hydrogel nanocomposite for removal of various textile azo dyes / M. Lucic // Separation and Purification Technology. - 2014. - Vol. 122. - pp. 206-216.

157. Migiey, H.G., In International Seminary on Calcium Aluminates / H.G. Migiey. – Turin: Politecnico di Torino, 1982. -396 p.

158. Morphology and photocatalysis of mesoporous titania thin films annealed in different atmosphere for degradation of methyl orange / Q. Ma, T. P. Qin, S. J.Liu, L. Q. Weng [et al.] // Appl. Phys. A Mater Sci. Process. - 2011. - V. 104. - pp. 365–373.

159. Morsi, R.E. Superabsorbent enhanced-catalytic core/shell nanocomposites hydrogels for efficient water decolorization / R.E. Morsi, R.A. Elsalamony // New J. Chem. - 2016. - Vol. 40. - № 3. - pp. 2927-2934.

160. Obtaining and properties of a photocatalytic composite material of the «SiO₂–TiO₂» system based on various types of silica raw materials / V. Strokova, E. Gubareva, Y. Ogurtsova, R. Fediuk, P. Zhao, N. Vatin, Y. Vasilev // *Nanomaterials*. - 2021. - Vol. 11(4). – 866.

161. Parameters of siliciferous substrate of photocatalytic composition material as a factor of its efficiency / Y. Ogurtsova, E. Gubareva, M. Labuzova, V. Strokova // 14TH INTERNATIONAL CONGRESS FOR APPLIED MINERALOGY (ICAM2019). - 2019. - pp. 376–380.

162. Pal, A. Mesoporous SiO₂–TiO₂ nanocomposite for photocatalytic degradation of organic dyes under visible light / A. Pal, T. K. Jana, K. Chatterjee // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. - 2016. - No. 4(2). - pp. 1854-1863.

163. Pal, A. Silica supported TiO₂ nanostructures for highly efficient photocatalytic application under visible light irradiation / A. Pal, T. K. Jana, K. Chatterjee // *Materials Research Bulletin*. - 2016. - No. 76. - Pp. 353-357.

164. Patent № 4289653 United States of America, B01J21/12; B01J23/85; C10G45/08; (IPC1-7): B01J21/12. Co-gel catalyst manufacture: № 06091304: app. 05.11.1979: pub. 15.09.1981 / Jaffe, Joseph. - 4 p.: ill.

165. Patent № 4499197 United States of America, C10G11/05; B01J21/12; B01J23/10; B01J29/00; B01J37/03; C01B33/152; C10G11/00; (IPC1-7): B01J21/12; B01J29/08. Co-gel catalyst manufacture: № 06361426: app. 24.03.1982: pub. 12.02.1985 / Seese, Mark A., Chiang, Robert L. - 5 p.: ill.

166. Patent № 4988659 United States of America, B01J21/12; C10G11/04; (IPC1-7): B01J21/12. Silica/alumina cogel catalysts: № 07440556: app. 22.11.1989: pub. 29.01.1991 / Pecoraro, Theresa A. - 9 p.: ill.

167. Preparation of TiO₂-coated glass and their application for photodecompose organic dye / C. W. Kartikowati, A. L. Sari, A. A. Sari, E. Susanti, [et al.] // *AIP Conf. Proc.* - 2022. - V. 2493. - pp.060014.

168. Rajgelj, S. Cohesion Aspects in rheological behaviour of fresh cement mortars / S. Rajgelj // *Mater. et constr.* – 1985. – №104. – pp. 109-114.

169. Roberts, L. R. Microsilica in concrete.1 / L.R. Roberts, W.R. Grace // Mater. Sci. Concr.1. – Westerville (Ohio), -1989. – pp. 197–222.
170. Self-restoration hardening systems of highstrength concrete of a new generation/ Tolstoy A.D., V.S. Lesovik, E.S. Glagolev, I.O. Vodopyanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2019. -Vol. 560. Issue 1. -pp. 012156.
171. Sharma, G. Applications of nanocomposite hydrogels for biomedical engineering and environmental protection / G. Sharma // Environmental Chemistry Letters. - 2018. - Vol. 16 -pp.113-146.
172. Synthesis and evaluation of properties of an additive based on bismuth titanates for cement systems/ S.V. Samchenko, I.V. Kozlova, A.V. Korshunov, O.V. Zemskova, M.O. Dudareva // Materials. -2023. -Vol. 16. Issue 18. -pp. 6262.
173. Specification for mortar for masonry. Rendering and plastering mortar BS EN 998-1:2010.
174. Sreethawong, T. Photocatalytic evolution of hydrogen over mesoporous TiO₂ supported NiO photocatalyst prepared by single-step sol-gel process with surfactant template/ T. Sreethawong, Y. Suzuki, S. Yoshikawa // International Journal of Hydrogen Energy. -2005. -Vol. 30. Issue 10. -pp. 1053–1062.
175. Srikanth, B. Recent advancements in supporting materials for immobilised photocatalytic applications in waste water treatment / B. Srikanth // Journal of Environmental Management. -2017. - Vol. 200. - pp. 60-78.
176. Surfactant-assisted synthesis of Mo-doped TiO₂ /FAC (fly ash cenosphere) for degradation of methylene blue dye under visible light irradiation/ G. Li, C. Mang, L. Xing, P. Cao, Y. Cai, J. Luo [et al.] // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2022. Vol. 651. pp. 129669.
177. Tang, Q. Preparation and photocatalytic degradability of TiO₂/polyacrylamide composite / Q. Tang // European Polymer Journal. - 2007. - Vol. 43. - № 6. - pp. 2214-2220.

178. T. Maile. A method to compare simulated and measured data to assess building energy performance/ T. Maile, V. Bazjanac, V. Fischer// Building and Environment 56 -2012 –pp. 241–251.

179. The European Standard EN 1015-10:1999/A1:2006. Methods of Test for Mortar for Masonry–Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar, European Committee for Standardization, -Bruxelles, -2007.

180. The European Standard EN 1015-19:1998/A1:2004. Methods of Test for Mortar for Masonry–Part 19: Determination of Water Vapour Permeability of Hardened Rendering and Plastering Mortar, European Committee for Standardization, -Bruxelles, -2006.

181. The European Standard EN 1015-2:1998/A1:2006. Methods of Test for Mortar for Masonry–Part 2: Bulk Sampling of Mortar and Preparation of Test Mortars, European Committee for Standardization, -Bruxelles, -2007.

182. The European Standard EN 1745:2002. Methods for Determining Design Thermal Values, European Committee for Standardization, -Bruxelles, -2002.

183. The European Standard EN 998-1:2010. Specification for Mortar for Masonry–Rendering and Plastering Mortar, European Committee for Standardization, -Bruxelles, -2011.

184. The optimum conditions for synthesis of Fe₃O₄ / ZnO core/shell magnetic nanoparticles for photodegradation of phenol / M. Nikazar, M. Alizadeh, R. Lalavi, M.H. Rostami // Journal of Environmental Health Science and Engineering. -2014. -Vol. 12. Issue 1.

185. Umebayashi, T. Analysis of electronic structures of 3d transition metal doped TiO₂ based on band calculations / T. Umebayashi, T. Yamaki, H. Itoh, K. Asai // Journal of Physics and Chemistry of Solids. -2002. -Vol. 63. Issue 10. -pp. 1909–1920.

186. UNI 11259-2008 Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders: rodamina test method. – Milan: UNI; 2008.

187. Using alkali-activated natural aluminosilicate minerals to produce compressed masonry construction materials // JF Muñoz, T Easton, J Dahmen Construction and Building Materials 95, -2015. – pp. 86-95.

188. Wang, D. SiO₂/TiO₂ composite powders deposited on cement-based materials: Rhodamine B removal and the bonding mechanism / D. Wang, P. Hou, D. Stephan S.Huang, L. Zhang, P. Yang, X. Cheng // Construction and Building Materials. – 2020.– Vol. 241. – pp. 118124.

189. Wei, S. Preparation, characterization, and photocatalytic degradation properties of polyacrylamide/calcium alginate/TiO₂ composite film / S. Wei [et al.] // Polymers and Polymer Composites. - 2016. - Vol. 16. - № 2. - pp. 101-113.

190. Xu, R. Photocatalytic degradation of organic dyes under solar light irradiation combined with Er³⁺: YAlO₃/Fe- and Co-doped TiO₂ coated composites / R. Xu, J. Li, J. Wang, X. Wang, B. Liu, B. Wang, X. Luan, X. Zhang // Sol. Energy Mater. Sol. Cells – 2010. – V. 94 – No 6 – pp.1157–1165.

191. Yang, L. Photocatalyst efficiencies in concrete technology: The effect of photo-catalyst placement / L. Yang, A. Hakki, F. Wang, D. MacPhee // Applied Catalysis B: Environmental. – 2018. – Vol. 222. – pp. 200-208.

192. Yun, J. pH-sensitive photocatalytic activities of TiO₂/poly (vinyl alcohol)/poly (acrylic acid) composite hydrogels / J. Yun [et al.] // Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology. - 2011. - Vol. 176. - № 3. - pp. 276-281.

193. Zhang, D. Semiconductor nanoparticle-based hydrogels prepared via self-initiated polymerization under sunlight, even visible light / D. Zhang [et al.] // Scientific reports. - 2013. - Vol. 3. - pp. 13991406.

194. Zhang, J. Fabrication and characterization of Eu²⁺-doped lanthanum-magnesium-gallium/ TiO₂-based composition as photocatalytic materials for cement concrete-related methyl orange (MO) degradation/ J. Zhang, Liu Z. // Ceramics International. 2019. Vol. 45. Issue 8. pp. 10342–10347.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
159

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Ремонтно-строительное управление «Спецработ»

Юридический адрес: 440028, г. Пенза, ул. Г.Титова, 1

Почтовый адрес: 440052, г. Пенза, ул. Чкалова, 40

Тел. Факс: (8412) 32-28-21, 32-28-22.

ИНН 5835025043, КПП 583501001, Р/с 10702810948000110814 Отделение №8624

Сбербанка России г. Пенза БИК 045655635, к/с 30101810000000000635

«20» 09 2021г.

АКТ

опытно-производственного апробирования самоочищающегося известкового покрытия с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО РСУ «Спецработ» Пшестилевский В.А., начальник ПТО ООО РСУ «Спецработ» Алешина Т.А., профессор ПГУАС Логанина В.И., аспирант ПГУАС Рыжов А.Д., составили настоящий акт о том, что нами было произведено опытно-производственное апробирование самоочищающегося известкового покрытия с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов, разработанного на кафедре «Управление качеством и технологии строительного производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» Логаниной В.И., Рыжовым А.Д. Состав самоочищающейся известковой сухой строительной смеси включает известь-пушонку, перлитовый песок марки М150, белый цемент, добавку оксида цинка, иммобилизованного на синтетических алюмосиликатах, пластификатор Melflux 1641 F, редиispersируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор Zincum – 5.

Самоочищающуюся штукатурку готовили перемешиванием сухой строительной смеси с водой в барабане лопастной мешалки.

Применяя полученный отделочный состав, были облицованы поверхности стеновых панелей зданий складского помещения. Перед нанесением поверхность очищалась от пыли и грязи. Состав наносился ручным способом. При нанесении отделочного состава отмечалась его хорошая удобнаносимость. Расход смеси составил 8,4 кг/м² при нанесении толщиной 10 мм. Общая площадь отделанной поверхности составила 300 м²

При визуальном осмотре отслаивания и растрескивания отделочного слоя не зафиксировано.

Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»



В.А. Пшестилевский

Начальник ПТО
ООО РСУ «Спецработ»

Т.А. Алешина

Профессор ПГУАС

В.И. Логанина

Аспирант ПГУАС

А.Д. Рыжов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)
160

Российская Федерация
Общество с ограниченной ответственностью
Ремонтно-строительное управление
«Спецработ»

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор

ООО РСУ «Спецработ»

В.А. Пшестилевский

«10» 09 2021 года

**Самоочищающиеся известковые покрытия с применением добавки
на основе аморфных алюмосиликатов.**

Технические условия

2021/г.

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом ФЗ № 162-ФЗ, а правила применения стандартов организации – ГОСТ Р 1.4–2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций.

Сведения о стандарте организации

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Ремонтно-строительным управлением «Спецработ»». В разработке стандарта принимали участие главный инженер ООО РСУ «Спецработ» Тригулов Р. И. и аспирант ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» Рыжов А.Д.

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Назначение и область применения.....	4
2 Нормативные ссылки	4
3 Термины и определения, обозначения и сокращения.....	6
4 Общие положения	7
5 Технические требования	8
5.1 Требования к материалам.....	8
5.2 Характеристики смеси.....	8
6 Характеристика исходного сырья и материалов	10
7 Технология изготовления известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси.....	12
7.1 Рецептура известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести	12
7.2 Технология изготовления теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести.....	12
8 Контроль производства.....	13
9 Методы испытаний.....	14
10 Правила приемки.....	16
11 Требования безопасности и охраны окружающей среды.....	18
12 Упаковка.....	20
13 Маркировка.....	20
14 Транспортирование и хранение.....	21
15 Гарантии изготовителя.....	22
Приложение А. Методика определения сдвига известковой теплоизоляционной смеси.....	23
Ключевые слова.....	25

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ ИЗВЕСТКОВЫЕ
ПОКРЫТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ
АЛЮМОСИЛИКАТОВ**

Введён
впервые

Технические условия

Дата введения

1 Назначение и область применения

Настоящий стандарт устанавливает организацию, порядок и контроль производства известковой сухой строительной смеси (далее смеси) с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Стандарт распространяется на штукатурные составы, применяемые в качестве теплоизоляционного слоя для отделки стен зданий и сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом регламенте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы;

ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы;

ГОСТ 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения;

ГОСТ 1.4-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения;

ГОСТ 4.233-86* Система показателей качества продукции. Строительство. Растворы строительные. Номенклатура показателей;

ГОСТ 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования;

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны;

ГОСТ 12.4.021-75 Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования;

ГОСТ 12.4.034-2001 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка;

ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний;

ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия;

ГОСТ 10354- 82 Пленка полиэтиленовая. Технические условия;

ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов;

ГОСТ 30515-97 Цементы. Общие технические условия.

ГОСТ 965-89 Портландцементы белые.

ГОСТ 10832-91 Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия

ГОСТ 18958-71 Стекло натриево жидкое. Технические условия;

ГОСТ 23732-79 Вода для бетонов и растворов. Технические условия;

ГОСТ 24211–2003 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия;

ГОСТ 25951-83 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия;

ГОСТ 28013–98* Растворы строительные. Общие технические условия;

СП 82-101 - 98 Приготовление и применение растворов строительных;

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в

сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам

ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения, обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие термины, обозначения и сокращения:

3.1 водопоглощение: Свойство материала, характеризующее его способность самопроизвольно впитывать и удерживать воду при контакте с водой без приложения давления (при смачивании).

3.2 водоудерживающая способность: Способность растворных смесей удерживать воду в слое смеси при ее контакте с пористым влагопоглощающим материалом.

3.3 жизнеспособность: Максимальный период времени, в течение которого свежеприготовленная растворная смесь (после дополнительного перемешивания без добавления воды) сохраняет свои технологические свойства.

3.4 наполнители: Природные (молотый природный камень, пески природные и молотые и др.) и искусственные вещества различной крупности, прочности и твердости, создающие совместно с вяжущими веществами структуру затвердевшего раствора.

3.5 модифицирующие добавки (функциональные добавки): Полимеры, органические и минеральные вещества, входящие в рецептуру сухой смеси и оказывающие влияние на физико-механические свойства растворных смесей и затвердевших растворов.

3.6 морозостойкость: Способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности.

3.7 прочность сцепления с подложкой (адгезия): Механическая характеристика контактной зоны в условиях растяжения при отрыве.

3.8 прочность при сжатии: Способность материала в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под влиянием механических напряжений.

3.9 теплопроводность: Способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий под влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающих его

3.10 растворная смесь: Смесь тщательно перемешанных вяжущего, мелкого заполнителя, необходимых добавок и воды для затворения, готовая к применению.

3.11 сухая строительная смесь: Смесь сухих компонентов, содержащие вяжущие, наполнители, наполнители и модифицирующие добавки, затворяемая

3.12 самоочищение: Функция фотокатализатора, содержащегося на поверхности бетона, предотвращать его загрязнение за счет разложения загрязнителей в результате окислительно-восстановительных реакций при облучении светом и/или за счет их смывания с поверхности под воздействием воды, в том числе в виде дождя, или вследствие проявляющейся гидрофильности поверхности.

3.13 фотокатализатор: Вещество, которое при фотооблучении проявляет одну или больше функций, основанных на окислительно-восстановительных реакциях, включая самоочищение, разложение и удаление загрязняющих веществ, устранение нежелательных запахов, антибактериальное и противотуманное действие.

4 Общие положения

4.1 Состав представляет собой сухую строительную смесь, состоящую из извести, перлитового песка, белого цемента, добавки оксида цинка с применением

аморфных алюмосиликатов, пластификатора, редиспергируемого порошка, гидрофобизатора.

4.2 Отделочный состав наносят на поверхность мастерком или методом пневматического распыления.

5 Технические требования

Известковые сухие строительные смеси должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

5.1 Требования к материалам

5.1.1 Для приготовления смесей следует применять материалы:

- белый цемент по ГОСТ 965-89;
- добавка, пластифицирующая Melflux 1641 F;
- редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H;
- добавка оксида цинка с применением аморфных алюмосиликатов;
- перлитовый песок марки M150 по ГОСТ 10832-91;
- гидрофобизатор Zincum-5;
- известь гидратная (пушонка) по ГОСТ 9179.

5.1.2 Материалы, применяемые для производства смесей, должны быть разрешены к применению органами Госсанэпидемслужбы.

5.1.3 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ($A_{эфф}$) материалов, а также готовых смесей должна соответствовать требованиям ГОСТ 30108 для 1 класса и быть не более 370 Бк/кг.

5.1.4 Химические добавки не должны выделять в окружающую среду вредные вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). Добавки вводят в сухие смеси в виде водорастворимого порошка или гранул.

5.2 Характеристики смеси

5.2.1 Свойства смеси должны характеризоваться показателями качества смесей в сухом состоянии, смесей, готовых для применения (растворных смесей).

5.2.2 Основные технические характеристики сухих строительных смесей на основе извести с применением в рецептуре синтетической добавки должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Таблица 1 - Нормы и требования, предъявляемые к сухим строительным смесям на основе извести

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1	Насыпная плотность	Не менее 1350 кг/м ³	ГОСТ 8735
2	Влажность	Не более 0,30%	ГОСТ 31357
3	Наибольшая крупность зерен заполнителя	Не более 0,63	ГОСТ 31357
4	Содержание зерен наибольшей крупности	Остаток на сите не более 0,50%	ГОСТ 31357

5.2.3 Основные технические характеристики теплоизоляционных смесей с применением в рецептуре оксида цинка и синтетической добавки должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Нормы и требования, предъявляемые к строительным смесям, готовым к применению, и покрытий на их основе

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1	2	3	4
1	Прочность при сжатии после 28 суток воздушного твердения	Не менее 0,5 МПа	DINEN 1015-11
2	Прочность сцепления покрытия при отрыве после 28 суток воздушного твердения	Не менее 0,32 МПа	ГОСТ 15140-78

3	Прочность сцепления на сдвиг	Не менее 0,5 МПа	Приложение А
4	Морозостойкость отделочного слоя	Не менее F35	ГОСТ 31356
5	Водопоглощение при капиллярном подсосе	Не более $0,4 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$	DINEN1015-18
6	Водоудерживающая способность	Не менее 97 %	ГОСТ 5802
7	Деформация усадки	Не более 0,4 мм/м	ГОСТ 24544
8	Коэффициент теплопроводности	Не более 0,2 Вт/м·К	DINEN1745
9	Способность к самоочищению, R	Не менее 50%	UNI 11259

При необходимости могут быть установлены дополнительные показатели по ГОСТ 4.212, ГОСТ 4.233 или условиям контракта.

5.2.4 Нормируемые показатели качества затвердевших растворов должны быть обеспечены в проектном возрасте в условиях естественного твердения при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 50 % - 60 %.

6 Характеристика исходного сырья и материалов

Качество исходного сырья для производства теплоизоляционных известковых смесей с добавкой оксида цинка с применением аморфных алюмосиликатов должно соответствовать предъявляемым требованиям согласно таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика исходного сырья

№ п/п	Наименование сырья	Нормативный документ	Показатели, необходимые для приемки партии перед использованием
1	2	3	4
1	Белый портландцемент	ГОСТ 31108; ГОСТ 310.4; ГОСТ 5382	-предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе; -сроки схватывания;

		ГОСТ 965-89	-химический состав клинкера.
2	Известь-пушонка	ГОСТ 9179-77	- активность; - температура и время гашения; - содержание непогасившихся зерен; - тонкость помола
3	Перлитовый песок	ГОСТ 10832-91	- химический состав; - гранулометрический состав; - насыпная плотность;
4	Пластификатор Melflux 1641 F	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
5	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
6	Гидрофобизирующая добавка Zincum – 5	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
7	Вода	ГОСТ 23732	-водородный показатель рН. -окисляемость - грубодисперсные примеси в воде

			-максимально допустимое содержание ионов SO ₄
8	Оксид цинка	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
9	Добавка на основе алюмосиликатов, синтезируемая в присутствии ZnO		- активность; - удельная поверхность;

7 Технология изготовления сухой строительной смеси

7.1Рецептура сухой строительной смеси на основе извести содержит такие компоненты как: белый портландцемент, перлитовый песок, пластификатор Melflux 1641F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор Zincum – 5 и добавку оксида цинка с применением аморфных алюмосиликатов в массовых долях, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Рецептuru теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести

№ п/п	Наименование компонентов	Состав, массовая доля, %
1	2	3
1	Белый портландцемент	3,54
2	Известь-пушонка	70,87
3	Перлитовый песок М150	10,63
4	Пластификатор Melflux1641 F	0,43
5	Гидрофобизатор Zincum – 5	0,35

6	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	7,09
7	Алюмосиликатная добавка синтезированная в присутствии ZnO	7,09
ИТОГО:		100,00

7.2 Технология изготовления сухой строительной смеси на основе извести.

7.2.1 Известь-пушонка из силосов поступает в смеситель.

7.2.2 Белый портландцемент, установленной маркой по прочности, из силосов поступает в смеситель.

7.2.3 Дозирование перлитового песка определенной марки производится в заданной пропорции.

7.2.4 Подача добавки оксида цинка с применением аморфных алюмосиликатов к дозаторам осуществляется вручную.

7.2.5 Добавки поступают в цех со склада и подаются с помощью погрузчика или гидравлических тележек.

7.2.6 Подача редиспергируемого порошка, оксида цинка с применением аморфных алюмосиликатов, пластификатора, гидрофобизирующей добавки, к дозаторам осуществляется вручную.

7.3.7 Процесс приготовления составов заключается в совместном смешивании отдозированных компонентов в смесительном модуле. Для смешивания, возможно, применяют смесители циклического действия.

7.2.8 Перед фасовкой сухая смесь проверяется на соответствие нормативным документам.

7.2.9 При несоответствии отдельных показателей теплоизоляционной смеси требованиям стандарта ПТО ООО РСУ «Спецработ» производится постановка смеси на коррекцию состава с обязательным последующим перемешиванием.

7.2.10 Готовая теплоизоляционная сухая строительная смесь, соответствующая требованиям стандарта ПТО ООО РСУ «Спецработ», направляют на фасовку.

Фасовка теплоизоляционной сухой строительной смеси предусмотрена как в крупную, так и в мелкую тару.

7.2.11 Из смесительного модуля готовая смесь поступает в модуль упаковки и выдачи, где предусматривается ее дозирование и расфасовка. Предусматривается фасовка одного вида: готовая смесь в тару различной емкости. Сухая смесь упаковывается в мешки емкостью от 5 до 50 кг. Упакованная продукция на тележках отправляется на склад готовой продукции.

8 Методы испытаний

8.1 Материалы для приготовления сухих строительных смесей испытывают в соответствии с требованиями нормативных или технических документов на эти материалы.

8.2 Методы испытаний материалов, применяемых для приготовления сухих смесей, должны быть указаны в технологической документации на приготовление сухой смеси.

8.3 Пробы сухих смесей для проведения испытаний отбирают в соответствии с ГОСТ 31356.

8.4 Насыпную плотность определяют по ГОСТ 8735.

8.5 Водоудерживающую способность растворных смесей определяют по ГОСТ 5802 путем испытания уложенной на промокательную бумагу растворной смеси толщиной 12 мм.

8.6 Водопоглощение при капиллярном подсосе затвердевших растворных смесей определяют по ГОСТ 31356.

8.7 Морозостойкость затвердевших растворов определяют по ГОСТ по ГОСТ 31356.

8.8 Прочность при сдвиге затвердевших растворов с основанием определяют в соответствии с приложением А настоящего стандарта.

8.9 Эффективность применяемых добавок определяют по ГОСТ 30459.

8.10 Прочность сцепления покрытия после выдерживания в воздушно-сухой среде определяют по ГОСТ 15140-78.

8.11 Деформация усадки определяется по ГОСТ 24544.

8.12 Способность к самоочищению определяют в соответствии с ГОСТ Р 57255-2016

9 Контроль производства

9.1 Методы контроля производства сухой строительной смеси представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Контроль производства сухой строительной смеси

№	Наименование стадии процесса, место отбора пробы или измерения параметра	Что контролируется	Частота и способ контроля	Нормы и технические показатели	Методы испытаний или условия приемки	Кто контролирует
1	Все оборудование перед началом работы. Место осмотра - цех.	Состояние и чистота оборудования	Перед загрузкой сырья	Должно быть чистым, исправным, герметичным	Визуально	Инженер по качеству
2	Загрузка сырья в смеситель	Точность дозирования загружаемого сырья; время перемешивания;	Периодически, до полного смешивания	Согласно нормам технологического режима	Визуально	Инженер по качеству
3	Тара	Чистота и исправность	Каждая партия	Должна быть чистой и исправной	Визуально	Бригадир
4	Фасовка	Точность дозировки; правильность оклейки; правильность нанесенной маркировки.	Через каждый час	- наименование изготовителя; - дата и место отбора проб; - номер партии; - дата изготовления.	ГОСТ 30515; ГОСТ 14192; визуально	Инженер по качеству

10 Правила приемки

10.1 Сухая строительная смесь должна приниматься техническим контролером или лицом, ответственным за качество, предприятия-изготовителя.

10.2 Сухая строительная смесь принимается партиями. За партию принимают количество сухой строительной смеси одной рецептуры, изготовленной в течение одной смены из материалов одного вида и качества.

10.3 Приемку сухой строительной смеси осуществляют по результатам приемо-сдаточных и периодических испытаний.

10.4 Для проведения приемо-сдаточных испытаний отбирается проба в соответствии с требованиями ГОСТ 30515.

10.5 Приемку по показателям для сухих строительных смесей: прочность, теплопроводность, способность к самоочищению, капиллярное водопоглощение следует осуществлять по результатам приемо-сдаточных испытаний один раз в смену от каждой партии.

10.6 При получении неудовлетворительных результатов приемо-сдаточных испытаний хотя бы по одному показателю проводят повторные испытания на удвоенном количестве продукции, взятом от той же партии. Результаты повторных испытаний являются окончательными и распространяются на всю партию.

10.7 Партию смеси бракуют, если смесь хотя бы по одному показателю не соответствует требованиям настоящего стандарта.

10.8 При периодических испытаниях приемку производят по показателям: удельная эффективная активность естественных радионуклидов, прочность сцепления с основанием (адгезия).

10.9 Периодичность испытаний по показателям:

- прочность сцепления с основанием – один раз в месяц;
- время переработки растворной смеси – один раз в квартал;
- водопоглощение – один раз в шесть месяцев;
- морозостойкость, сцепление с основанием, трещиностойкость – один раз в год.

Перечисленные показатели должны определяться при смене сырья и материалов, состава смесей, технологии изготовления.

10.10 Результаты периодических испытаний по величине удельной эффективности активности естественных радионуклидов и прочности сцепления с основанием распространяются на все произведенные партии до получения новых результатов периодических испытаний.

10.11 Радиационно- и санитарно-гигиеническую оценку смесей подтверждают наличием санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора, которое необходимо возобновлять по истечению срока его действия или при изменении качества исходных материалов, состава смеси и технологии изготовления.

10.12 Радиационно-гигиеническую оценку смесей допускается проводить на основании паспортных данных предприятий-поставщиков сырья и материалов, применяемых для изготовления смесей, о содержании естественных радионуклидов в этих материалах.

10.13 Потребитель имеет право проводить контрольную проверку качества смесей в соответствии с требованиями и методами, установленными в настоящем стандарте.

10.14 Каждая партия поставляемой смеси должна сопровождаться документом о качестве, за подписью лица, ответственного за качество и содержащим:

- наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак, адрес;
- наименование смеси, ее назначение;
- номер рецептуры, партии;
- дату изготовления смеси;
- дату выдачи документа о качестве;
- условия хранения и срок гарантийного хранения;
- отметку о принятии;
- обозначение нормативного документа, в соответствии с которым изготовлена сухая строительная смесь.

10.15 При экспортно-импортных операциях содержание документа о качестве уточняется в договоре на поставку сухой смеси.

11 Требования безопасности и охраны окружающей среды

11.1 Сухие смеси пожаро- и взрывобезопасны, не радиоактивны, относятся к веществам IV класса опасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.007.

11.2 Помещение, в котором изготавливаются сухие смеси, должно быть оснащено приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, в соответствии со СНиП 2.04-05-91 и ГОСТ 12.4.021.

11.3 Работники, занятые в производстве сухих смесей, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.034 (ЕН 133), в соответствии с «Типовыми отраслевыми нормами выдачи средств индивидуальной защиты работникам промышленности строительных материалов».

11.4 Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005 и составлять не более 4мг/м^3 .

11.5 Санитарно- и радиационно-гигиеническую безопасность применения смесей устанавливают на основании санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора и оценивают по безопасности смесей или их составляющих.

11.6 Безопасность минеральных составляющих смесей (цемента, заполнителей, наполнителей) оценивают по содержанию радиоактивных веществ, а химических добавок – по их санитарно-гигиеническим характеристикам.

11.7 Смеси не должны выделять во внешнюю окружающую среду вредные химические вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), утвержденные органами здравоохранения.

11.8 Запрещается сбрасывать сухие смеси, а также отходы от промывки оборудования в водоемы санитарно-бытового использования и канализацию.

11.9 Отходы производства образуются в ходе технологического процесса и сосредотачиваются на площадке, где собираются и помещаются в тару:

- третий класс – в бумажные мешки;
- четвертый класс – собираются в виде конуса, откуда автопогрузчиком перегружаются в автотранспорт и доставляются на полигон захоронения.

11.10 Во избежание пыления сверху отходы следует закрывать брезентом или полиэтиленовой пленкой по ГОСТ 10354.

11.11 Транспортировка промышленных отходов на полигон производится транспортом предприятия в соответствии с «Инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом».

11.12 Все работы, связанные с загрузкой, транспортировкой и выгрузкой, и захоронением отходов, должны быть механизированы и герметизированы.

11.13 Транспортирование отходов следует производить в специально оборудованном транспорте, исключающем возможность потерь по пути следования и загрязнения окружающей среды, а также обеспечивать удобство при перегрузке.

11.14 При перегрузке твердых и пылевидных отходов необходимо самостоятельное устройство или тара с захватными приспособлениями для загрузки автокранами, работающими на полигоне.

11.15 При работе с пылевидными отходами необходимо их увлажнение на всех этапах: при погрузке, транспортировании, выгрузке и разравнивании.

12 Упаковка

12.1 Упаковка смесей должна производиться в многослойные бумажные мешки из крафт-бумаги или с полиэтиленовым вкладышем массой 10 кг, 25кг, 40кг и 50 кг, полиэтиленовые пакеты массой 5 кг, 10 кг и 25 кг и 50 кг.

12.2 Упаковочная тара должна соответствовать требованиям нормативной документации на конкретные виды тары.

12.3 Сухие смеси, упакованные в мешки и пакеты, укладываются на деревянные поддоны ровными рядами общим весом не более 1500 кг на один поддон. Поддоны должны соответствовать требованиям ГОСТ 9078.

По требованию потребителя поддоны со смесями дополнительно могут быть упакованы термоусадочной пленкой по ГОСТ 25951.

12.4 Упаковка смесей должна обеспечивать защиту от доступа влаги к смесям из окружающего воздуха и исключать высыпание смесей при транспортировании и хранении.

13 Маркировка

Маркировка смесей должна производиться несмываемой краской непосредственно на упаковку или ярлык, вкладываемый в упаковку.

Маркировка должна содержать:

- наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак, адрес;
- наименование и обозначение смеси;
- инструкцию по применению;
- условия хранения;
- срок гарантийного хранения;
- дату изготовления;
- массу нетто, кг;
- номер партии;
- отметку о принятии лица, ответственного за качество;
- обозначение настоящего стандарта.

14 Транспортирование и хранение

14.1 Упакованные сухие смеси перевозят транспортными пакетами автомобильным, железнодорожным и другими видам транспорта в соответствии с правилами перевозки и крепления грузов, действующими на транспорте конкретного вида, и инструкцией предприятия-изготовителя.

14.2 Применяемые средства транспортирования смесей должны исключать возможность попадания атмосферных осадков, а также обеспечивать защиту упаковки от механического повреждения и нарушения целостности.

14.3 Сухие строительные смеси должны храниться в упаковке предприятия-изготовителя, в сухих помещениях с влажностью воздуха не более 70 %, при температуре не ниже +5°C в условиях, обеспечивающих сохранность упаковки и предохранения от увлажнения.

14.4 При хранении мешки с сухими смесями следует укладывать на деревянные поддоны на расстоянии 15 см от земли в ряды по высоте не более 1,8м, располагая мешки в ряду плотно один возле другого при обеспечении подхода к ним.

15 Гарантии изготовителя

15.1 Изготовитель гарантирует соответствие сухих смесей требованиям настоящего стандарта при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения и применения.

15.2 Гарантийный срок хранения сухих смесей составляет 11 месяцев со дня изготовления.

15.3 По истечению гарантийного срока хранения сухая смесь должна быть проверена на соответствие требованиям настоящего стандарта. В случае соответствия требованиям стандарта сухая смесь может быть использована по назначению.

Приложение А

(рекомендуемое)

Методика определения сдвига известковой сухой строительной смеси

А.1 Средства испытания

Прибор ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек»».

Подложки из бетона цилиндрической формы размером (71,4×15) мм.

А.2 Подготовка к испытанию

На подготовленную подложку наносится состав известковой штукатурки толщиной 10мм, сверху прикрепляется еще одна подложка, после чего полученный образец выдерживается в нормальных условиях. В качестве нормальных условий (нормального климата) принимают температуру (20 ± 2) °С, относительную влажность воздуха (60 ± 10) %, скорость циркуляции воздуха в зоне испытаний менее 0,2 м/с.

Приготовление растворной смеси проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 31356.

А.3 Проведение испытания

Испытываемый образец помещается в каретку прибора (рисунок А.1) таким образом, чтобы подложка находилась в малом срезном кольце, а исследуемый состав – в большом срезном кольце. Технологический зазор размером 1 мм образует область среза. В процессе испытаний при увеличении касательной нагрузки, применяемой к нижнему срезному кольцу, фиксируется значение деформаций сдвига исследуемого состава относительно подложки.

Скорость сдвига растворного слоя на основе известковой штукатурки принимается равной 0,1 мм/мин.

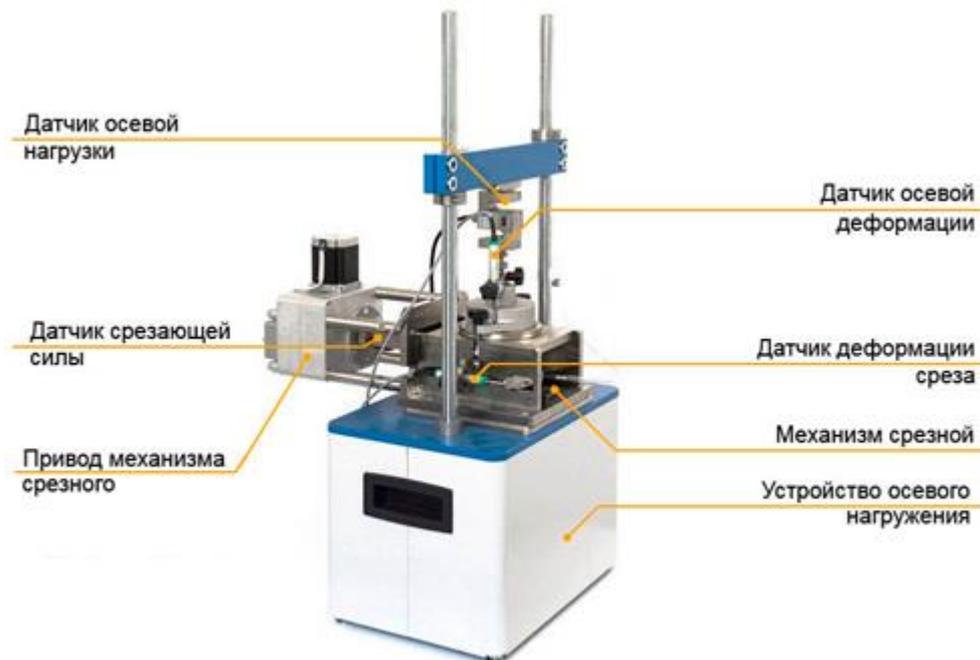


Рисунок А.2 – Схема испытания исследуемых образцов на сдвиг

Испытание образцов проходило по схеме, представленной на рисунке А.2.

Ключевые слова: известковые сухие строительные смеси, теплоизоляционная смесь, самоочищение, заполнитель, правила приемки, технология производства, методы контроля, приемка, упаковка, маркировка, транспортирование, хранение, сдвиг.
