

На правах рукописи

Зайцева Мария Владимировна

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ СОСТАВОВ
ДЛЯ ОТДЕЛКИ И РЕСТАВРАЦИИ СТЕН ЗДАНИЙ**

2.1.5. - Строительные материалы и изделия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Пермь 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

**Научный
руководитель**

Логанина Валентина Ивановна
доктор технических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Акулова Марина Владимировна
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
политехнический университет», кафедра
«Архитектура и строительные материалы»,
заведующий кафедрой

Бахтин Александр Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Крымский федеральный университет
имени В.И. Вернадского», кафедра
«Строительный инжиниринг и
материаловедение», доцент

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Тверской государственный
технический университет»

Защита диссертации состоится 11 октября 2023 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета Д ПНИПУ.05.20 Пермского национального исследовательского политехнического университета, по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109 ауд. 202 (строительный факультет).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и на сайте <http://www.pstu.ru>

Автореферат разослан 28 августа 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Марина Олеговна Карпушко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сохранение архитектурного наследия прошлого, санация зданий исторической застройки требует применения отделочных материалов специального назначения, сочетающих в себе особенности исторических композитов и современных технологий. Традиционно отделка стен зданий производилось известковыми составами, которые на сегодняшний день не удовлетворяют требованиям к уровню качества покрытий. Поэтому в целях повышения стойкости известковых композитов в рецептуру вводят различные добавки, в частности, кремнеземсодержащие. Представляет практический интерес применение в известковых составах полисиликатного раствора, однако, зависимость свойств известковых композитов от особенностей полимерного строения полисиликатных растворов пока что изучена недостаточно, что может привести к невоспроизводимости технологических параметров производства.

Кроме того, одной из причин несоответствия фактического срока службы отделочного слоя проектируемому является отсутствие показателя достоверности в нормативных документах при контроле качества отделочных строительных смесей. В связи с этим, имеется некая неопределенность суждения о принадлежности заданному диапазону, указанному в нормативной документации, измеренного значения показателя качества.

Разработка рецептуры известковых отделочных составов с учетом анализа достоверности входных параметров, характеризующих особенности сырья, и выходных параметров конечного продукта позволит контролировать качество уже на стадии проектирования.

Диссертационная работа выполнена в рамках Программа развития университета в области научно-исследовательской деятельности и инноваций федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки составов для реставрации и отделки стен зданий посвящены многочисленные работы российских и зарубежных ученых Загороднюк Л.Х., Лесовика В.С., Низиной Т.А., Акуловой М. В., Пустовгар А.П., Чулковой И.Л., Фроловой М.А., Fortes-Revilla, Degryse P., Cachim, P. и др. Вопросы теории и практики контроля и обеспечения качества рассматривались в трудах отечественных и зарубежных специалистов, ученых Данилевич С.Б., Кузнецов Л.А., Маевский С.М., Рубичев Н.А., Фрумкин В.Д., Серых В.И., Song, P.S., Montgomery D. C., Sakata S., Wang K.B. и др.

Цель и задачи исследования. Цель работы – разработка научно обоснованного технологического решения повышения эксплуатационных свойств известковых составов и покрытий на их основе с гарантированным уровнем качества.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- доказать целесообразность дополнения системы контроля качества известковых составов и покрытий на их основе показателями достоверности, репрезентативности выборки с учетом риска производителя и потребителя, что позволит получить конечный продукт гарантированного уровня качества;
- обосновать применение добавки полисиликатного раствора в рецептуре известкового состава, предназначенного для отделки и реставрации зданий исторической застройки;
- выявить закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки полисиликатного раствора;
- разработать рецептуру известкового состава для отделки и реставрации зданий исторической застройки и установить технологические и эксплуатационные свойства покрытия на его основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения в промышленное производство рецептуры разработанного известкового состава.

Научная новизна работы. Установлены закономерности формирования структуры и свойств известковых составов и покрытий на их основе при введении в рецептуру полисиликатного раствора, заключающиеся в том, что содержащиеся в полисиликатном растворе кремнийкислородные анионы (ККА) в мономерной форме обеспечивают взаимодействие с известью с образованием дополнительно гидросиликатов кальция-натрия, гидратных фаз, близких по химическому составу к С-S-H (I). Установлено повышение прочности известкового композита с увеличением содержания в полисиликатном растворе кремнийкислородных анионов в мономерной форме.

Выявлен синергетический эффект влияния полисиликатного раствора, полученного смешением жидкого стекла и золя кремниевой кислоты, на структурообразование известковых составов, проявляющийся в ускорении набора пластической прочности, повышении прочности при сжатии.

Теоретическая и практическая значимость работы. Расширены и дополнены теоретические представления о структурообразовании известковых составов и покрытий на их основе за счет использования полисиликатного раствора, способствующего повышению прочности при сжатии, снижению количества свободной извести в известковом композите.

Обоснована возможность получения известковых составов и покрытий на их основе с гарантированным уровнем качества за счет проведения контроля, учитывающего показатели достоверности и репрезентативности выборки, а также снижения вариативности показателей качества компонентов рецептуры.

Разработан известковый состав, предназначенный для отделки и реставрации стен зданий, содержащий известь-пушонку, микрокальцит, белый цемент, добавку полисиликатного раствора и пластификатор. Покрытие на основе разработанного известкового состава характеризуется следующими показателями: прочность сцепления $R_{адг}=1,2$ МПа, прочность при сжатии 3,5 МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,061$ мг/(м·ч·Па), морозостойкость F35, водопоглощение по массе $W_T= 53\%$, усадочные деформации $\varepsilon = 0,0342 \%$.

Разработан проект стандарта организации ООО НПК «Коломенские краски» «Известковые строительные смеси с применением добавки полисиликатного раствора. Технические условия» и технологическая схема производства известкового состава.

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационной работы является системный подход, предполагающий комплексное рассмотрение предмета исследования. Для получения аналитических данных использовали физико-химические и физико-механические методы испытаний, методы статистической обработки результатов экспериментов, метод сравнительного анализа. Изучение свойств и основных характеристик известкового отделочного состава проводилось с применением действующих нормативных документов. Для оценки структурных изменений при модификации связующего компонента применяли современные методы физико-химических исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности формирования структуры и свойств покрытий на основе известкового состава с добавкой полисиликатного раствора;
- состав и технология получения известкового состава для отделки и реставрации стен зданий;
- результаты оценки эксплуатационной стойкости покрытий на основе известкового состава с добавкой полисиликатного раствора;
- методика контроля качества известковых составов и покрытий на их основе, учитывающая показатели достоверности, репрезентативности выборки в зависимости от риска производителя и потребителя.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований обеспечена комплексным подходом к решению обозначенных проблем, сопоставлением результатов экспериментальных исследований с производственным апробированием, статистической обработкой результатов экспериментальных исследований, необходимым количеством проведенных опытов, обеспечивающих адекватность и воспроизводимость результатов, проведением исследований на оборудовании, прошедшем метрологическую поверку.

Полученные результаты имеют высокую воспроизводимость и сходимость и не противоречат общепризнанным данным и работам других авторов. Проведённый комплекс экспериментальных исследований апробирован в промышленных условиях.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы представлены на: XVI международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.И. Калашникова (г. Пенза, 2021); международной научно-технической конференции «Advanced Trends in Civil Engineering» (ATCE 2021) (г. Белгород, 2021); международной научно-технической конференции «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment» (г. Севастополь, 2022); XXIV международном строительном форуме «Цемент. Бетон. Сухие смеси» (г. Москва, 2022); XVII международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» (г. Пенза, 2022).

В промышленных условиях апробацию результатов работы осуществляли на предприятии ООО НПК «Коломенские краски».

Публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 23 научных публикациях, в том числе, в 14 научных статьях журналов, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 4 статьях в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus. Новизна технических решений подтверждена патентом РФ № 2775248 на изобретение.

Структура и объём работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Диссертация изложена на 174 страницах машинописного текста, включающего 34 таблицы, 22 рисунка, список литературы из 183 источников, 2 приложения (изложены на 23 страницах).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены сведения об известковых составах, применяемых для реставрации и отделки стен зданий. Отмечается, что современные материалы, используемые в проектах реставрации и непосредственно контактирующие с историческими материалами, должны быть близкими к исходному материалу по фактуре, микро- и макроструктуре, должны характеризоваться стойкостью к воздействиям атмосферы.

Для регулирования структуры и свойств известковых композиций в их рецептуру вводят различные модифицирующие кремнеземсодержащие добавки. Представляет научный и практический интерес исследование возможности применения в известковых составах добавки полисиликатного раствора. Присутствие олигомерных и мономерных форм кремнекислородных анионов в составе полисиликатного раствора обеспечивает его реакционную

способность при взаимодействии с известью, что будет способствовать повышению эксплуатационной стойкости известковых покрытий. Однако, зависимость вяжущих свойств от полимерного состояния полисиликатных растворов изучена недостаточно, что может привести к невоспроизводимости технологических параметров производства.

Отделочные слои на основе известковых составов обладают незначительной прочностью, низкой долговечностью. Срок службы покрытий прогнозируется на 5-6 лет, однако анализ состояния поверхности фасадов зданий показывает, что разрушение штукатурных покрытий наступает значительно раньше – через 1-3 года. Среди множества причин такого несоответствия является несовершенство методики контроля качества покрытий. Существующая в настоящее время научно-техническая и нормативная документация не содержит сведений, касающихся требований показателей достоверности контроля, что делает невозможным оценить уровень качества продукции с определённой гарантией. Решение о качестве продукции принимается на основе сравнения показателя с допусками, установленными в нормативной документации. Однако в силу погрешности измерения нередко наблюдается ошибочная забраковка некоторой части годных изделий, действительные значения контролируемого параметра которых лежат в поле допуска (с вероятностью α - риск производителя) и приемка бракованных изделий с отклонениями, выходящими за границы поля допуска (с вероятностью β - риск потребителя).

Исходя из этого, высокую актуальность приобретает задача разработки методологического подхода при составлении рецептуры отделочных составов, учитывающего достоверность и вариативность оценки показателей качества сырья и продукции, решение которой позволит гарантировать потребителю получение ожидаемого уровня качества известковых составов и покрытий.

На основании вышеизложенного сформулирована научная гипотеза: повышение эксплуатационных свойств известковых составов и покрытий на их основе с гарантированным уровнем качества возможно за счет введения в рецептуру полисиликатного раствора, кремнийкислородные анионы которого в мономерной форме обеспечивают взаимодействие с известью с образованием дополнительно химических соединений, а также применением при разработке рецептуры методологии, учитывающей оценку достоверности и вариативности показателей качества покрытий.

Вторая глава включает описание свойств основных сырьевых компонентов, перечень примененных методик проведения исследований. В работе использовались современные методы физико-химических исследований: дифференциально-термический анализ («Термоскан-2»), рентгенофазовый анализ (Rigaku MiniFlex 600), растровая электронная микроскопия (TESCAN MIRA 3), смачивающую способность полисиликатного раствора измеряли по углу смачивания с использованием специализированного оборудования KRUSSDSA-30.

В третьей главе представлена информация о предлагаемом методологическом подходе при разработке рецептуры известкового отделочного состава, учитывающего оценку достоверности показателей качества декоративных составов и покрытий на их основе, а также вариативность компонентов рецептуры.

Выявлено, что на достоверность контроля качества оказывает влияние число контролируемых показателей. Для отделочных составов при количестве контролируемых параметров на уровне десяти и выше достоверность контроля ниже нормативного значения, равного $P_n=95\%$. Из этого следует о важности снижения вариативности показателей качества покрытий, достигаемого применением компонентов рецептуры, характеризующихся низкой вариабельностью показателей качества.

Установлено несоответствие между количеством образцов, указанных в ГОСТ 31356–2013, ГОСТ 33083–2014 и расчетными данными объема выборки с учетом достоверности контроля, риска производителя и потребителя. Предложено объем выборки определять на основе статистического анализа с учетом требований к надежности и достоверности получаемых результатов, что позволит более объективно судить о получаемых результатах оценки качества.

Установлена корреляционная связь между вариативностью показателей качества отделочного состава и вариативностью показателей качества входных переменных (сырья). Предложена математическая модель среднеквадратического отклонения (СКО) показателя качества покрытий (прочность при сжатии) в зависимости от среднеквадратического отклонения показателя качества сырья (цемента), что позволяет, зная необходимые значения дисперсии показателя качества продукта, определить оптимальные дисперсии входных переменных. Пользуясь предлагаемой моделью, можно уточнить требования к СКО показателям качества сырья.

Четвертая глава посвящена разработке рецептуры известкового состава с применением предлагаемого методологического подхода. При разработке рецептуры отделочного состава учитывались рекомендации национальных и международных нормативных документов. В целях повышения эксплуатационной стойкости известковых растворов предложено в качестве модифицирующей добавки вводить в рецептуру добавку полисиликатного раствора, полученного смешением жидкого стекла и золя кремниевой кислоты.

Для оценки физико-химического взаимодействия извести с полисиликатным раствором была оценена работа адгезии к извести и теплота смачивания. Результаты исследований показывают, что количество удельной теплоты, выделившейся при смачивании извести полисиликатным раствором, составило 17,3 кДж/кг, а при смачивании извести водой – 10,6 кДж/кг. Максимальная температура структурообразования составляет 65 С и достигается спустя 60 мин.

Была определена оптимальная концентрация полисиликатного раствора (рисунок 1). Анализ данных свидетельствует о наличии экстремума при концентрации полисиликатного раствора 1% от массы извести (концентрация SiO_2 0,003%). Прочность при растяжении составляет $R_p=0,24$ МПа. При дальнейшем увеличении содержания SiO_2 наблюдается снижение прочности при растяжении.

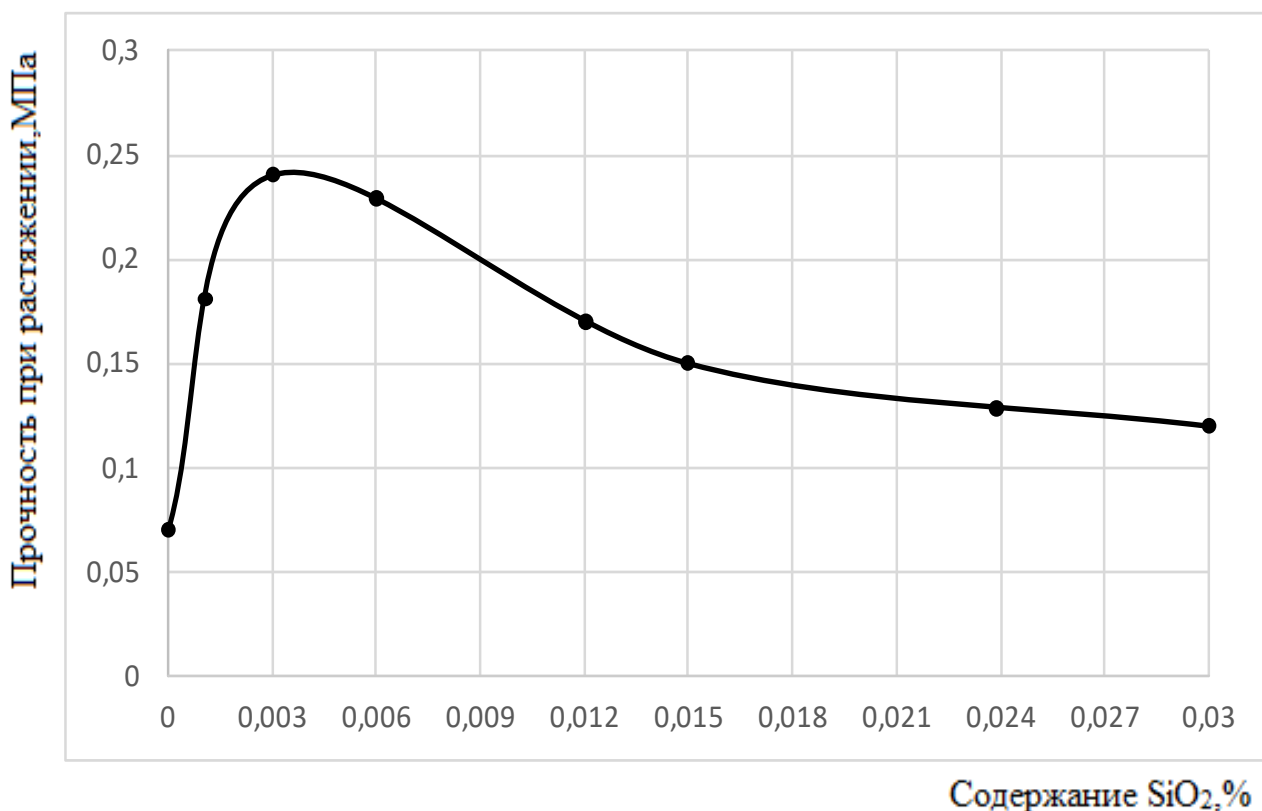


Рисунок 1 – Зависимости прочности при растяжении известкового камня от концентрации SiO_2

Исследовалось влияние состава полисиликатного раствора на прочность при растяжении известкового камня. Применялся полисиликатный раствор с различной степенью созревания и различным силикатным модулем. Установлено, что прочность известкового камня возрастает с увеличением содержания в полисиликатном растворе кремнийкислородных анионов (ККА) в мономерной форме. Так, прочность при растяжении известкового камня с добавкой полисиликатного раствора с содержанием ККА в количестве 18,54% составляет 0,28 МПа, а при содержании ККА в мономерной форме в количестве 13,96% – 0,19 МПа. Полисиликатный раствор с меньшей степенью полимеризации проявляет большую активность при взаимодействии с известью. Установлено время созревания полисиликатного раствора, содержащего максимальное количество кремнийкислородных анионов в мономерной форме, составляющее 1–4 часа с момента приготовления.

Для определения вероятного механизма формирования прочности системы «известь-полисиликатный раствор» был проведен топологический

анализ формирования структуры покрытий. Установлено, что наиболее вероятным механизмом формирования прочности является диффузионный перенос ионов извести и последующая реакция взаимодействия их с полисиликатным раствором.

Повышение прочности известковых композитов при введении добавки полисиликатного раствора обусловлено наличием дополнительных химических образований. Для подтверждения полученных результатов был проведен дифференциально-термический анализ (ДТА) с помощью установки «Термоскан-2». При проведении ДТА известкового композита установлено, что тепловой эффект при температуре 90–200 С связан с удалением адсорбированной воды. Интенсивный эндоэффект на обеих термограммах в интервале 520–650°С связан с дегидратацией портландита. При сравнении термограмм выявлено, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита, у контрольных образцов больше и составляет $Q = 73,6,41$ Дж (рисунок 2, кривая 1), что обусловлено большим содержанием в данных образцах портландита. Тепловой эффект в образцах на основе состава с добавкой полисиликатного раствора составляет $Q = 21,41$ Дж (рисунок 2, кривая 2). Интенсивный эндоэффект при температуре 860 – 1000 С является наложением экзотермического эффекта, связанного с разложением гидросиликатов кальция-натрия, и эндотермических эффектов, характеризующих диссоциацию кальцита, а также переход С–S–Н (I) в волластонит.

Анализ снимков, полученных с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 (рисунок 3) показывает, что структура известкового камня с добавкой полисиликатного раствора характеризуется наличием более мелких частиц размером от 1 до 2 нм, характерной для гидратных фаз, близких по химическому составу к гидросиликату кальция типа С–S–Н (I), в то время как у известкового камня на основе контрольного состава – 2–5 нм. На поверхности скола видны хорошо сформировавшиеся кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Внешняя форма частиц натрий-кальциевого гидросиликата представляет собой скрученные волокна.

Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют, что минералогический состав известковых композитов (контрольный состав) представлен портландитом, кальцитом. Минералогический состав известковых композитов с добавкой полисиликатного раствора представлен портландитом, кальцитом, а также идентифицируются линии, соответствующие гидратным фазам, близким по химическому составу к гидросиликатам кальция типа С–S–Н (I), гидросиликатом кальция-натрия CaNaHSiO_4 (рисунок 4).

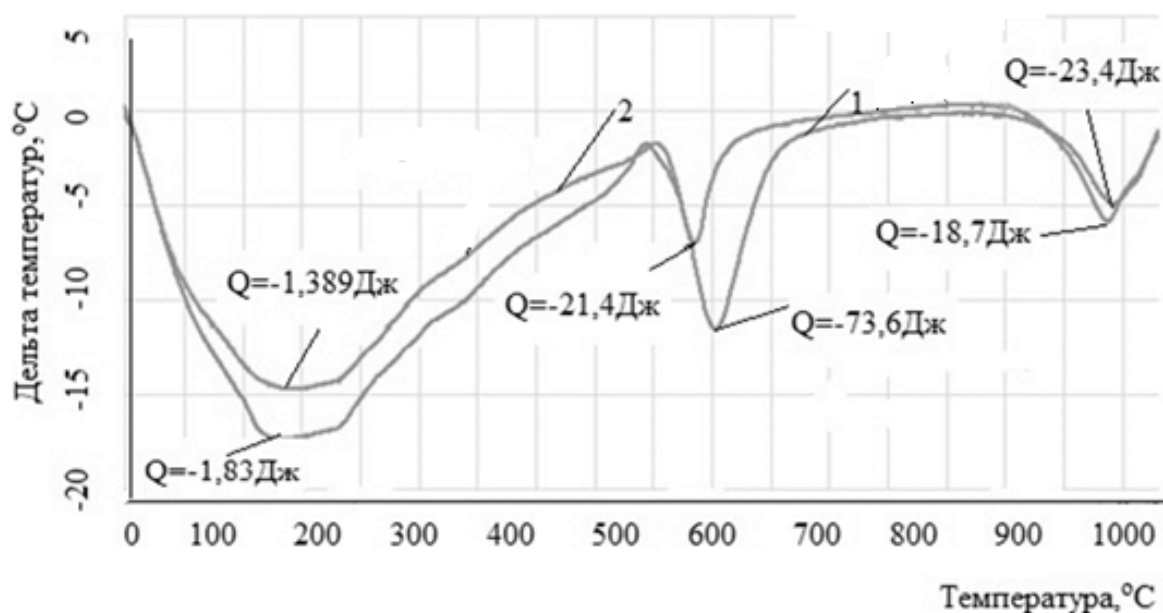
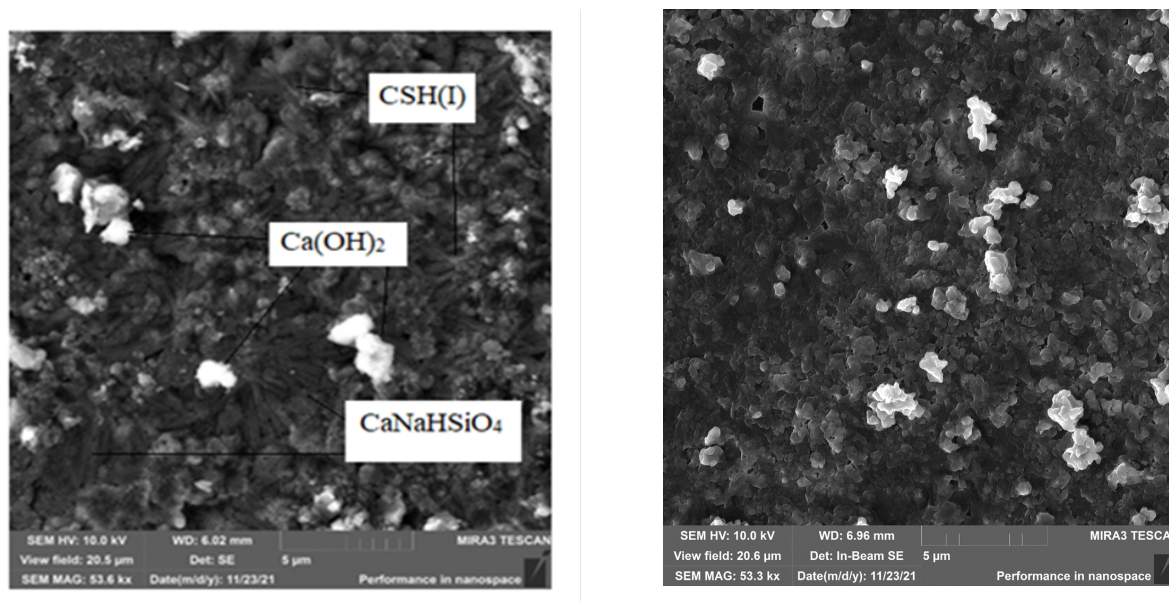


Рисунок 2 – Кривые дифференциально-термического анализа образцов:
1 – контрольный образец; 2 – образец с применением добавки полисиликатного раствора

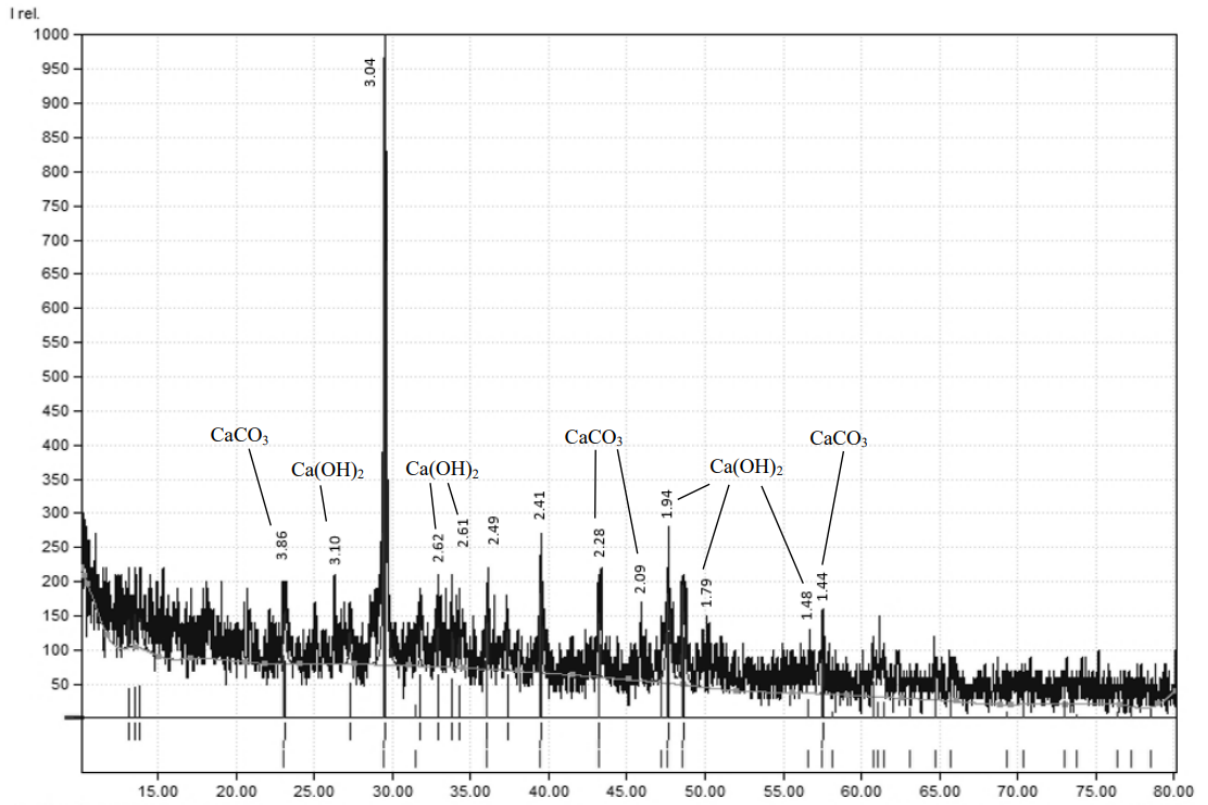


а

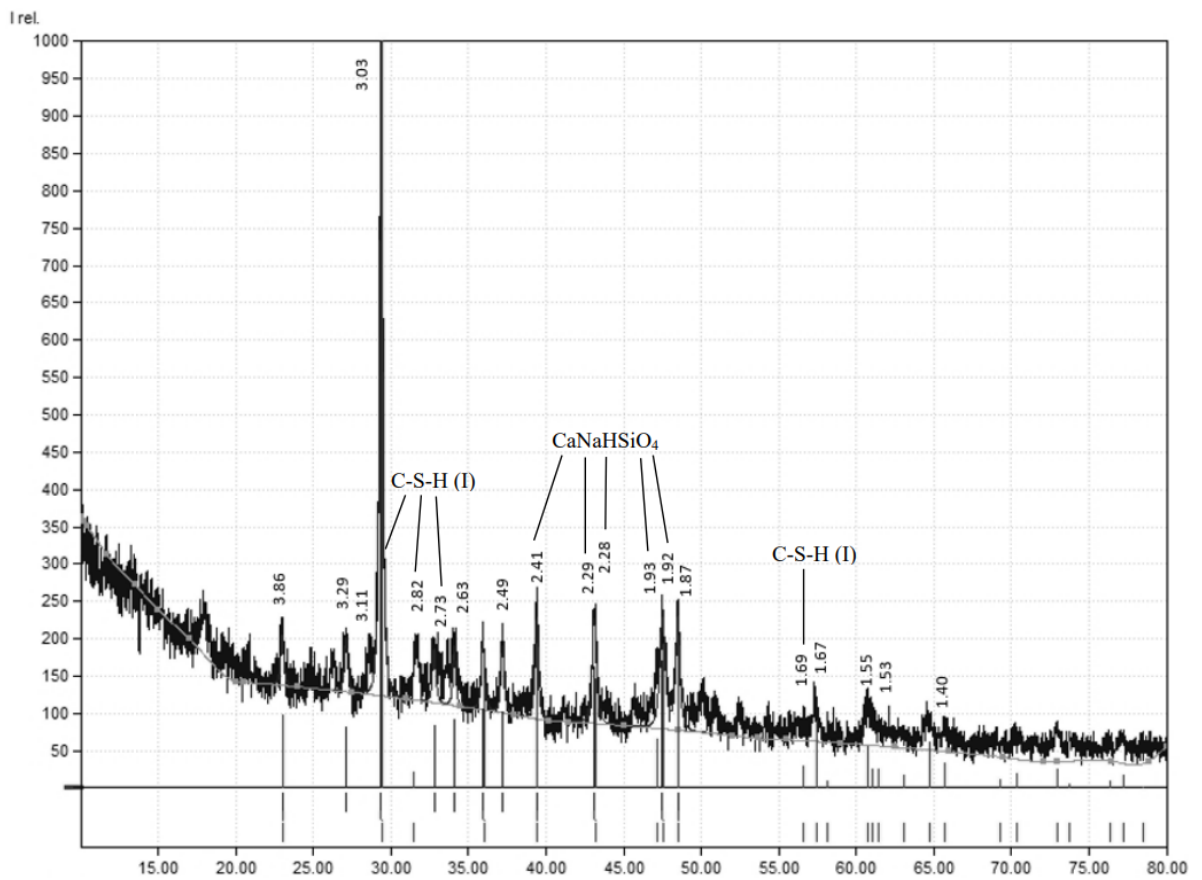
б

Рисунок 3 – Микрофотографии затвердевшего вяжущего, x 10000: а – состав с добавкой полисиликатного раствора; б – контрольный состав

Методом титрования определялось количество извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в процессе твердения. Установлено уменьшение количества извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в образцах с добавкой полисиликатного раствора. В возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения количество извести в контрольных образцах составляло 60%, а в образцах с добавкой полисиликатного раствора – 49%.



а



б

Рисунок 4 – Дифрактограмма известкового композита: а – контрольный состав; б – с добавкой полисиликатного раствора

Данные результатов рентгеноструктурного и дифференциально-термического анализа позволяют утверждать, что наиболее вероятным механизмом, обуславливающим процесс твердения, является образование кальцита, гидросиликата кальция-натрия, портландита, гидратных фаз, близких по химическому составу к C-S-H (I).

Выбор наполнителя при разработке рецептуры известковых составов был обусловлен его влиянием на физико-механические свойства и вариативностью показателей качества композиции. Установлено, что прочность при сжатии известковых композитов с применением в качестве наполнителя микрокальцита выше и составляет в зависимости от соотношения «известь : наполнитель» 1,69 – 1,83 МПа, в то время как с применением маршалита – 1,39 – 1,53 МПа, кварцевого песка – 1,09 МПа. Введение полисиликатного раствора в известковую смесь с применением в качестве наполнителя микрокальцита приводит к повышению прочности при сжатии, составляющей при содержании добавки 1,0% от массы извести 2,6 МПа.

Установлено, что вариативность показателя прочности при сжатии известкового композита с применением в качестве наполнителя маршалита, песка выше по сравнению с вариативностью прочности при сжатии композита на микрокальцитовом наполнителе. Коэффициент вариации прочности композита на песке составляет 10,3%, а на микрокальците 5,0 – 6,3%. Учитывая, что требованиям DIN EN 998-1-2010 соответствуют только составы на микрокальците с добавкой полисиликатного раствора, была проанализирована достоверность определения прочности при сжатии известковых композитов. Результаты расчетов свидетельствуют, что достоверность контроля прочности композитов составляет 0,9596 – 0,9999.

Введение полисиликатного раствора способствует ускорению набора пластической прочности. Сравнительный анализ данных набора пластической прочности известковых составов с добавками жидкого стекла, золя кремниевой кислоты, полисиликатного раствора позволяет утверждать, что наблюдается синергетический эффект влияния полисиликатного раствора на структурообразование известковых отделочных составов, проявляющийся в ускорении набора пластической прочности. Спустя 9 часов с момента затворения пластическая прочность известкового состава с добавкой жидкого стекла составляла 8,59 кПа, с добавкой золя кремниевой кислоты – 3,81 кПа, а с добавкой полисиликатного раствора – 13,42 кПа.

Составы с добавкой полисиликатного раствора характеризуются несколько большей водоудерживающей способностью, составляющей 98%, замедленными сроками высыхания. Время высыхания до степени 3 на бетонной подложке составляет 15 – 20 мин, у контрольного состава (без добавки) – 7 мин.

Для повышения прочности и водостойкости образцов предложено вводить в их состав белый цемент. Оптимальное содержание белого цемента определялось по показателям прочности при сжатии и паропроницаемости покрытий и составляло 10% от массы извести. Использование белого цемента

способствует росту прочности известкового композита. Прочность при сжатии образцов после 28 суток воздушного твердения с применением белого цемента равна $R_{сж}=2,8 - 3,5$ МПа.

Пятая глава содержит результаты оценки эксплуатационной стойкости покрытий на основе разработанного известкового состава. Введение в рецептуру известковых составов добавки полисиликатного раствора позволяет получить покрытия с достаточно высокими адгезионными характеристиками. При проведении исследований количество образцов для испытаний рассчитывалось с учетом достоверности контроля не менее 95%. Прочность сцепления состава известь : наполнитель (И:Н)=1:3, В/И=1,26 составляет 0,32 МПа, а при введении в состав полисиликатного раствора в количестве 1% – 0,85 МПа, добавки золя кремниевой кислоты – 0,62 МПа, добавки жидкого стекла – 0,5 МПа. Введение в рецептуру известковой смеси цемента позволяет получить прочность сцепления, равную 1,2 МПа.

В работе оценена стойкость к отслаиванию отделочного слоя. Результаты экспериментальных исследований и расчетов свидетельствует, что прочность сцепления при данных значениях варибельности прочности сцепления и касательных напряжений обеспечивают стойкость к отслаиванию отделочного слоя. (таблица 1). Коэффициент запаса прочности сцепления составляет 4,49 – 6,25 в зависимости от вида применяемой подложки.

Таблица 1 – Коэффициент запаса прочности сцепления отделочного слоя

Наименование показателей	Значения показателей
Подложка из цементно-песчаного раствора	
Прочность сцепления, $R_{сд}$, МПа	0,6
Среднеквадратическое отклонение, σ_R , МПа	0,072
Коэффициент вариации, %	12
Касательные напряжения, τ , МПа	0,096
Среднеквадратическое отклонение, σ_τ , МПа	0,0144
Коэффициент вариации, %	15
Коэффициент запаса	6,25
Подложка из известняка	
Прочность сцепления, $R_{сд}$, МПа	0,4
Среднеквадратическое отклонение, σ_R , МПа	0,035
Коэффициент вариации, %	8,75
Касательные напряжения, τ , МПа	0,089
Среднеквадратическое отклонение, σ_τ , МПа	0,00979
Коэффициент вариации, %	11
Коэффициент запаса	4,49

Определена морозостойкость штукатурных покрытий на основе известковой смеси, которая соответствует марке F 35. Прочность сцепления контактной зоны образца, определенная после 40 циклов замораживания–

оттаивания, составляет $R_{сц}=0,8$ МПа. Оценены гидрофизические свойства покрытий – водопоглощение и паропроницаемость.

Разработан проект стандарта организации ООО НПК «Коломенские краски» «Известковые строительные смеси с применением добавки полисиликатного раствора. Технические условия». Проект стандарта содержит информацию об объеме выборки в зависимости от уровня дефектности продукции, риска поставщика и потребителя. Определены технико-экономические показатели производства строительной смеси с применением добавки полисиликатного раствора. Апробирование разработанного состава осуществлялось в ООО НПК «Коломенские краски».

В таблице 2 приведены основные эксплуатационные и технологические свойства разработанного состава и покрытий на его основе в сравнении с аналогами.

Таблица 2 – Технологические и эксплуатационные свойства разработанного состава и покрытий на его основе в сравнении с аналогами

	Разработанная рецептура	Ренсарт	Бирсс	Holvi	Rockidro
Прочность при сжатии, МПа	3,5	2,0	2,5	-	4
Прочность сцепления, МПа	1,2	0,6	0,6	0,8-1,0	0,3
Когезионная прочность, МПа	2,385	-	-	1,50-1,70	-
Морозостойкость, марка	F35	F25	F25	F25	F35
Удобнонаносимость	хор	хор	хор	хор	хор
Наличие трещин вследствие усадки	нет	нет	нет	нет	нет
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м-ч-Па)	0,061	0,100	0,047	0,051	0,063
Водоудерживающая способность, %	98	96	96	98	97
Жизнеспособность, час	5-7	1	5	6-8	4
Стойкость к статическому воздействию воды при (20 ± 2) °С, час	Более 72	24	24	24	24
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	3-5	5...20	до 20	1–5	10–40
Расход отделочного состава при толщине слоя-10 мм, кг/м ²	0,5	1,6	1,2– 1,7	0,5–1	1,6
Температура применения, °С	от +5 до +30	от +5 до +30	от +5 до +35	от +5 до +30	+5 до +25

Установлено, что по показателям прочности сцепления, когезионной прочности разработанные составы превосходят прототипы.

Области применения данного состава могут включать финишную отделку штукатурных поверхностей, а также реставрацию стен зданий, выполненных из известняка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Установлены закономерности формирования структуры и свойств известковых составов и покрытий на их основе при введении в рецептуру полисиликатного раствора, заключающиеся в том, что содержащиеся в полисиликатном растворе кремнийкислородные анионы (ККА) в мономерной форме обеспечивают взаимодействие с известью с образованием дополнительно гидросиликатов кальция-натрия, гидратных фаз, близких по химическому составу к С-S-H (I). Установлено повышение прочности известкового композита с увеличением содержания в полисиликатном растворе кремнийкислородных анионов в мономерной форме.

2. Выявлен синергетический эффект влияния полисиликатного раствора, полученного смешением жидкого стекла и золя кремниевой кислоты, на структурообразование известковых составов, проявляющийся в ускорение набора пластической прочности, повышении прочности при сжатии.

3. Обоснована необходимость применения методологического подхода при разработке известкового состава и покрытий на их основе с гарантированным уровнем качества, заключающегося в проведении контроля, учитывающего показатели достоверности и репрезентативности выборки, а также вариативность показателей качества компонентов рецептуры.

4. Разработан известковый состав с применением добавки полисиликатного раствора, предназначенный для реставрации и отделки стен зданий, содержащий известь-пушонку, микрокальцит, белый цемент, добавку полисиликатного раствора, пластификатор. Отделочное покрытие на основе разработанного состава характеризуется следующими показателями: прочность сцепления $R_{адг}=1,2$ МПа, прочность при сжатии 3,5 МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu =0,061$ мг/(м·ч·Па), морозостойкость F35, водопоглощение по массе $W_T=53\%$, усадочные деформации $\varepsilon = 0,0342\%$.

5. Установлены закономерности твердения известковых составов с добавкой полисиликатного раствора. Выявлено, что введение добавки полисиликатного раствора в известковую систему способствует повышению теплоты структурообразования. Подобрана оптимальная концентрация добавки, составляющая 1% от массы извести. Показано, что введение в известковый состав добавки полисиликатного раствора совместно с микрокальцитом способствует повышению прочности при сжатии образцов возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения до 2,3 МПа.

6. Введение в известковый состав добавки полисиликатного раствора способствует повышению прочности сцепления отделочного слоя. Оценена стойкость к отслаиванию отделочного слоя на основе известкового состава с добавкой полисиликатного раствора. Определено, что значения прочности сцепления при данных значениях вариабельности прочности сцепления и касательных напряжений обеспечивают стойкость к отслаиванию отделочного слоя. Коэффициент запаса прочности сцепления составляет 4,49 – 6,25 в зависимости от вида применяемой подложки.

7. Разработан проект стандарта организации ООО НПК «Коломенские краски» «Известковые строительные смеси с применением добавки полисиликатного раствора. Технические условия». Определены технико-экономические показатели производства известкового состава с применением добавки полисиликатного раствора.

Рекомендации. Проект стандарта организации СТО «Известковые строительные смеси с применением добавки полисиликатного раствора. Технические условия», а также технологию изготовления известкового состава с добавкой полисиликатного раствора рекомендуется внедрить на предприятиях по производству известковой отделочной смеси.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований могут быть рекомендованы для внедрения в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейшей разработки темы целесообразно рассматривать в направлении расширения спектра применения известковых составов с добавкой полисиликатного раствора, а также изучения возможности использования полисиликатного раствора с другими минеральными вяжущими.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Логанина, В.И. Обеспеченность качества сухих строительных смесей / В.И. Логанина, **М.В. Зайцева** // Международное аналитическое обозрение АЛИТинформ: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2020. – № 4. – С. 63-67.

2. Логанина, В.И. Оценка достоверности контроля производства сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Е.И. Куимова, **М.В. Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 1 (46). – С. 54-63.

3. Логанина, В.И. К вопросу о контроле качества бетона / В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2021. – № 4. – С. 8-12.– DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-8-12.

4. Оценка качества сухих строительных смесей с учетом вариабельности сырья / В.И. Логанина, Е.И. Куимова, М.В. **Зайцева**, Д.К. Галкина // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 74-77.

5. Логанина, В.И. Оценка затрат на повышение качества при производстве сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Т.В. Учаева, М.В. **Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 69-73.

6. **Зайцева, М.В.** Управление качеством процессов создания отделочных покрытий цементных бетонов / М.В. Зайцева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 78-81.

7. Логанина, В.И. Структурообразование известковых композиций с добавкой полисиликатного раствора / В.И. Логанина., М.В. **Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 4 (49). – С. 42-47.

8. Логанина, В.И. Известковые составы для реставрации и отделки стен зданий / В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 4 (49). – С. 36-41.

9. Логанина, В.И. Репрезентативность выборки при оценке качества строительных материалов / В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 1.– С. 67-70.

10. Логанина, В.И. Обоснование выбора наполнителя при разработке рецептуры известкового состава для реставрации зданий / В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 2 (51). – С. 33-38.

11. Логанина, В.И. Структурообразование известкового камня в присутствии полисиликатного раствора/ В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1 (50). – С. 4-8.

12. Логанина, В.И. Известковые составы с добавкой полисиликатного раствора для реставрации стен зданий / В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 5. – С. 45-48.

13. Логанина, В.И. Известковые составы для реставрации штукатурки/ В.И. Логанина, М.В. **Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 3 (52). – С. 80-95.

14. Логанина, В.И. Обеспечение качества составов для отделки стен зданий/ В.И. Логанина, **М.В. Зайцева** // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 3 (52). – С. 63-68.

в рецензируемых научных изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus:

15. Loganina, V.I. Lime compounds for restoration and decoration of building walls/ V.I. Loganina, **M.V. Zaytseva** and T.V. Uhaeva // Journal of Physics: Conference Series (Advanced Trends in Civil Engineering 2021, ATCE 2021) 2124 (2021) 0– 2022. IOP Publishing. (Scopus).

16. Loganina, Valentina. Estimating the Cost of Improving Quality in Production Dry Building Mixtures/ Valentina Loganina, Tatiana Uchaeva and **Maria Zaytseva** // Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. Materials Research Forum. –2022. – P.13-17. (Scopus).

17. Loganina, V.I. Quality Assurance for the Appearance of Paint Coatings/ V.I. Loganina, **M. V. Zaytseva** and G.A. Fokin // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 910. – P. 598-603. (Scopus).

18. Loganina, V.I. Compositions for Limestone Restoration/ V.I. Loganina, **M.V. Zaytseva** // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol. 909. – P.177-183. (Scopus).

в других изданиях:

19. Логанина, В.И. Применение статистических методов к оценке качества сухих строительных смесей / В.И. Логанина, **М.В. Зайцева** // Сухие строительные смеси. – 2021. – № 3. – С. 24-27.

20. Логанина, В.И. Оценка риска при производстве сухих строительных смесей/ В.И. Логанина, Т.В. Учаева, **М.В. Зайцева** // Сухие строительные смеси. – 2022. – № 1. – С. 69-72.

21. **Зайцева, М.В.** Влияние наполнителя на прочность известковых композитов // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Сборник материалов XVI Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.И. Калашникова, Пенза, 20–22 октября 2021 года / Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, – 2021. – С. 76-81.

22. **Зайцева, М.В.** Влияние вариабельности сырья на вероятность появления брака сухих строительных смесей // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы XVII Международной

научно-технической конференции молодых учёных, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова, Пенза, 20–22 октября 2021 года / Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, – 2021. – С. 29-32.

23. Логанина, В.И. Обеспечение стойкости к отслаиванию отделочного слоя с учетом variability показателей качества/ В.И. Логанина, **М.В. Зайцева** // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2021. – №2. – С.64-68.

в патентах на изобретение:

24. Патент № 2775248 Российская Федерация, МПК С04 28/26(2006/01). Шпатлевка: №202113130/03: заявлено 25.10.2021: опубликовано 28.06.2022, Бюл. №19 / В.И. Логанина, **М.В. Зайцева**; заявитель и патентообладатель Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – 7с.