

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

На правах рукописи



Рыжов Антон Дмитриевич

**Теплоизоляционные композиционные известково-цементные сухие
строительные смеси с применением добавки на основе аморфных
алюмосиликатов**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор
Логанина Валентина Ивановна



Пенза – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
1.1 Роль сухих строительных смесей в современном строительстве	9
1.2 Причины разрушения отделочного слоя стен зданий	21
1.3 Цели и задачи исследования	28
Глава 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	30
2.1 Характеристика материалов.....	30
2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов.....	38
2.3 Методика оценки гидрофизических и физико-механических свойств компонентов, отделочных составов и покрытий на их основе.....	40
2.4. Прочие методы исследований.....	46
2.5 Статистическая обработка результатов испытаний.....	51
Глава 3 СВОЙСТВА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АМОΡФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ	53
3.1 Закономерности синтеза добавки на основе аморфного алюминия	53
3.2. Свойства добавки на основе аморфных алюмосиликатов	62
3.3 Оценка энергетических свойств поверхности добавки	66
Выводы по главе 3	68
Глава 4 СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ АМОΡФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ	70
4.1 Закономерности структурообразования известковых составов с применением добавки на основе алюмосиликатов	70
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 на реологические и технологические свойства известковых смесей	79
Выводы по главе 4	90

Глава 5 ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ОТДЕЛОЧНОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ	91
5.1 Трещиностойкость покрытий на основе разрабатываемого состава	91
5.2 Прочность сцепления с подложкой покрытий на основе разрабатываемого состава	95
5.3 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов..	100
5.4 Оценка тепловлажностного состояния ограждающих конструкций при наличии отделочного слоя на основе разрабатываемого состава	102
5.5 Оценка морозостойкости отделочного состава.....	110
5.6 Техничко-экономические показатели и технологическая схема производства известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	115
Выводы по главе 5	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	129
Приложение А. Акт опытно-производственного апробирования теплоизоляционной композиционной известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	144
Приложение Б. Проект СТО. Теплоизоляционные композиционные известково-цементные сухие строительные смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия.....	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Повышение требований энергетической эффективности зданий приводит к необходимости повышения их теплозащиты. Один из способов решения данной задачи – использование новых эффективных теплоизоляционных строительных материалов. Создание и применение таких материалов позволяет снизить материалоемкость ограждающих конструкций зданий и сооружений, а также уменьшить тепловые потери в окружающую среду.

Повышение теплозащиты эксплуатируемых зданий достигается путем наружного утепления их ограждающих конструкций за счет применения теплоизоляционного отделочного слоя. Одним из решений данной задачи является применение теплоизоляционных сухих строительных смесей (ССС). В практике отделочных работ часто применяют известковые ССС, обеспечивающие вследствие высокой паропроницаемости покрытий оптимальный микроклимат зданий и сооружений. Однако недостаточная водостойкость и прочность известковых покрытий сдерживают более широкое применение известковых ССС при наружной отделке. Одним из перспективных решений данной задачи является использование в составе известковых ССС добавок на основе аморфных алюмосиликатов. 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. Применение добавок, содержащих аморфные алюмосиликаты, в рецептуре ССС позволяет улучшить эксплуатационные свойства получаемого покрытия вследствие химического взаимодействия алюмосиликатов с известью с образованием дополнительных продуктов, способствующих увеличению прочности, водостойкости, стойкости к внешним воздействиям.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки теплоизоляционных ССС посвящены многочисленные работы отечественных и

зарубежных ученых. В связи с этим проводился анализ справочной и нормативной документации, отечественной и зарубежной патентной, а также научно-технической литературы.

Среди исследователей, внесших значительный вклад в развитие производства и разработку составов сухих строительных смесей, следует выделить таких российских ученых, как Калашников В.И., Пустовгар А.П., Батраков В.Г., Зозуля П.В., Демьянова В.С., Лесовик В.С., Безбородов В.А., Загороднюк Л.Х., Низина Т.А. и др. Работы этих ученых содержат фундаментальные основы разработки рецептуры ССС, топологии структуры, выбора компонентов для смеси.

В работах, выполненных ранее, была доказана эффективность применения добавок, содержащих аморфные алюмосиликаты, в рецептуре ССС с целью улучшения эксплуатационных свойств получаемого покрытия. Однако вопросы структурообразования известковых систем в присутствии добавок, содержащих аморфные алюмосиликаты, рассмотрены недостаточно. В связи с этим разработка составов, а также технологии получения и оптимизации, модифицированных алюмосиликатными добавками известковых ССС, покрытия на основе которых обладают повышенными эксплуатационными и теплоизоляционными характеристиками, является актуальной задачей.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка рецептуры известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси, покрытие на основе которой обладает ускоренными сроками твердения, низкой теплопроводностью, высокой паропроницаемостью и прочностью. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре теплоизоляционных известковых ССС;
- выявить закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов;

- разработать рецептуру теплоизоляционной ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов и установить технологические и эксплуатационные свойства покрытия на ее основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов в промышленное производство.

Научная новизна работы. Предложено применять в теплоизоляционных композиционных известково-цементных сухих строительных смесях добавку на основе аморфных алюмосиликатов. Методом рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что минералогический состав добавки представлен кристобалитом и алюминатом натрия. Содержание аморфной фазы составляет 83 %.

Установлены закономерности твердения известковых растворов с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов, заключающиеся в образовании дополнительно гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, увеличении количества химически связанной извести на 68,59 %.

Установлено, что введение в известковую смесь добавки на основе аморфных алюмосиликатов способствует ускорению отверждения покрытий. Подобрана оптимальная концентрация добавки, составляющая 10 % от массы извести. Разработана модель твердения известковых растворов, содержащих добавку на основе аморфных алюмосиликатов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Доказана возможность направленного воздействия на процессы структурообразования теплоизоляционных известковых отделочных растворов за счет введения добавок на основе аморфных алюмосиликатов, способствующих повышению прочности, снижению количества свободной извести, что позволяет проектировать строительные растворы с заданными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками на основе сухих смесей.

Разработан состав сухой строительной смеси, предназначенный для отделочных работ и содержащий известь-пушонку, перлитовый песок марки

M150, белый цемент, добавку на основе аморфных алюмосиликатов, пластификатор Melflux 1641 F, редуцируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор Zincum – 5. Отделочный слой на основе разработанной смеси 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 размягчения $K_p = 0,78$, прочность при сжатии $R_{сж} = (4,75 \pm 0,04)$ МПа.

Разработаны технологическая схема производства известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси и проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные сухие строительные смеси на основе извести».

Методология и методы диссертационного исследования.

Методологической основой исследования служат общенаучные методы, которые основаны на обобщении, применении принципа рассмотрения во взаимосвязи, методе системного подхода, эксперименте.

Методическую основу диссертационной работы составляют методы качественного и количественного анализа, методы оптической микроскопии, методы рентгенофазового и дифференциального термического анализа, методы статистической обработки получаемых данных, а также физико-химические и физико-механические методы.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований процессов структурообразования известковых композитов с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов;
- закономерности изменения реологических, технологических свойств известковых составов и физико-механических свойств покрытий на их основе;
- состав и технология производства известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов,

Степень достоверности результатов работы. Достоверность научных выводов, положений, результатов работы обусловлена сходимостью большого числа результатов экспериментальных исследований с производственным апробированием, проведением исследований на оборудовании, которое прошло метрологическую поверку, статистической обработкой результатов экспериментальных исследований.

Внедрение результатов исследований. Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ПТО ООО РСУ «Спецработ» (Приложение А).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 12 научных работ, в том числе восемь работ в российских рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК МОиН РФ, три статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 144 наименований, двух приложений. Диссертация изложена на 169 страницах машинописного текста и содержит 23 рисунка, 55 таблиц.

Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Роль сухих строительных смесей в современном строительстве

Утверждение государством программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» в 2013-2020 гг. предусматривается строительство жилья и объектов инфраструктуры [33, 74, 75]. Для реализации этой строительной программы по жилищному строительству потребуется значительное количество разнообразных эффективных строительных материалов, с обеспечением современных требований по качеству, номенклатуре, энергоэффективности, экологическим и прочим требованиям, приближенным к стандартам Европейского Союза [68, 114, 115].

Особое место среди современных материалов занимают сухие строительные смеси (ССС) [12, 86, 108, 110]. СССР имеют неоспоримые преимущества и высокую эффективность, как в техническом, так и в экономическом отношении. От их эффективности зависят архитектурная выразительность и эстетика градостроительства, создание комфортных условий проживания, рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и многое другое [52, 55, 57].

В настоящее время в мире выпускается широкая номенклатура сухих смесей для различных видов строительных работ [98].

В целом в России существует 250-300 компаний по выпуску СССР, на долю двадцати из них приходится 80 % рынка. Лидерами по производству и реализации СССР на российском рынке являются как появившиеся в начале 1990-х зарубежные производители, так и российские, достигшие за последние 10 лет высокого уровня по качеству и продвижению своей продукции: компании «КНАУФ гипс», Vetonit, «Церизит», «Основит», «КРЕПС», «Плитонит», «Ремикс». ГК «Кнауф» занимает 15 % рынка, «Юнис» – около 8 %, «Волма» – около 5,5-6 %, «Старатели» – около 5 %, «Хенкель» – 5 % [88, 95, 105].

По данным компании «Строительная информация», выпуск СССР рос сравнительно медленно, увеличившись за 2015 год лишь на 7 %. Потребление

ССС в России (без учета Крыма) увеличилось лишь на 5 %, что меньше, чем в 2013 году, и может быть оценено примерно в 9,7 млн тонн модифицированных смесей. Разными (но у всех крупных компаний - положительными) были темпы прироста выпуска ССС, различную динамику продемонстрировали и разные товарные группы ССС. Так, впервые за несколько лет выпуск гипсовых смесей вырос заметно больше, чем цементных. Из крупных товарных групп наиболее медленно росли клеи для керамической плитки, наиболее быстро – гипсовые штукатурки [88, 95, 105].

Неодинаково менялась и емкость рынков различных регионов. Москва и Санкт-Петербург показали результат, близкий к среднероссийскому темпу. Стоит отметить быстрый рост рынков Урала, областей ЦФО (кроме Москвы), Приволжского ФО. Напротив, традиционно сильный в смысле темпов роста Южный регион (ЮФО+СКФО) продемонстрировал за 2015 год отрицательную динамику [88, 95, 105].

В 2014 – начале 2015 года в строй введены несколько крупных заводов, выпускающих сухие строительные смеси (ССС): заводы «Бергауф» и «Хенкель Баутехник» в Новосибирске, новый завод компании «Сен-Гобен» под Москвой, второй завод ССС компании «Гипсополимер» в Перми. Была увеличена мощность ряда существующих предприятий [88, 95, 105].

Рынок ССС сегодня испытывает все проблемы кризисного состояния строительной отрасли. По итогам 2014 года эксперты констатировали нулевой прирост в этом сегменте строительной отрасли по отношению к 2013 году, в начале 2015 году наблюдался умеренный спад потребления и производства ССС не менее чем на 5-10 % [95, 44].

Умеренная степень взаимосвязи объема сдаваемого жилья и нежилых зданий и потребления смесей связана с тем, что часть ССС используется при ремонтных работах. Результаты исследования сегментов рынка ССС показывают, что доля ССС, уходящих на отделку вновь построенных зданий, в различных регионах составляла от 40 до 60 % [88]. В целом по России ремонтный сегмент может быть оценен в 52–55 % потребления. Этим же объясняется и тесная

корреляция между темпом прироста ВВП и приростом потребления смесей. Общеэкономическая ситуация, индикатором которой является ВВП, влияет как на состояние дел со строительством новых зданий, так и на объем ремонтных работ. Таким образом, замедление роста рынка ССС, вызвано, вероятнее всего, снижением темпов экономического роста и общим охлаждением экономики.

Среди тенденций на рынке ССС эксперты отмечают рост спроса на «зимние» смеси, на недорогие универсальные самовыравнивающиеся ровнители, гипсовые штукатурки, быстросохнущие составы [88, 95, 105]. Имеется тенденция к переходу производителей на выпуск более дешевых, упрощенных смесей. Замедлились темпы роста объемов продаж тонкослойных финишных ровнителей, грубых ровнителей ценовых сегментов «средний» и «премиум», финишных шпаклевок. Рынок ССС отреагировал на кризис спадом потребления модифицированных смесей.

Среднесрочные прогнозы для рынка смесей более благоприятны. С одной стороны, потребление ССС на душу населения в России существенно отстает от уровня западноевропейских и даже ряда восточноевропейских стран (около 67 кг/чел. в год против 90–95 кг/чел.) [105].

Основными квалификационными признаками сухих строительных смесей в соответствии с нормативными требованиями являются: основное назначение, способ укладки или нанесения, применяемое вяжущее, максимальная крупность заполнителей [11, 31, 37, 70, 106]. Классификация сухих строительных смесей представлена на рисунке 1.1.

Прогресс в строительном материаловедении, развитие индустриальных методов строительства, а также достижения в области строительной физики коренным образом изменили отношение к штукатурным материалам. В качестве примера можно сослаться на стандарт Германии DIN 18550, основные положения которого вошли во введенный в действие в 2003 г. стандарт EN 998 на штукатурные и кладочные строительные растворы [87, 137].

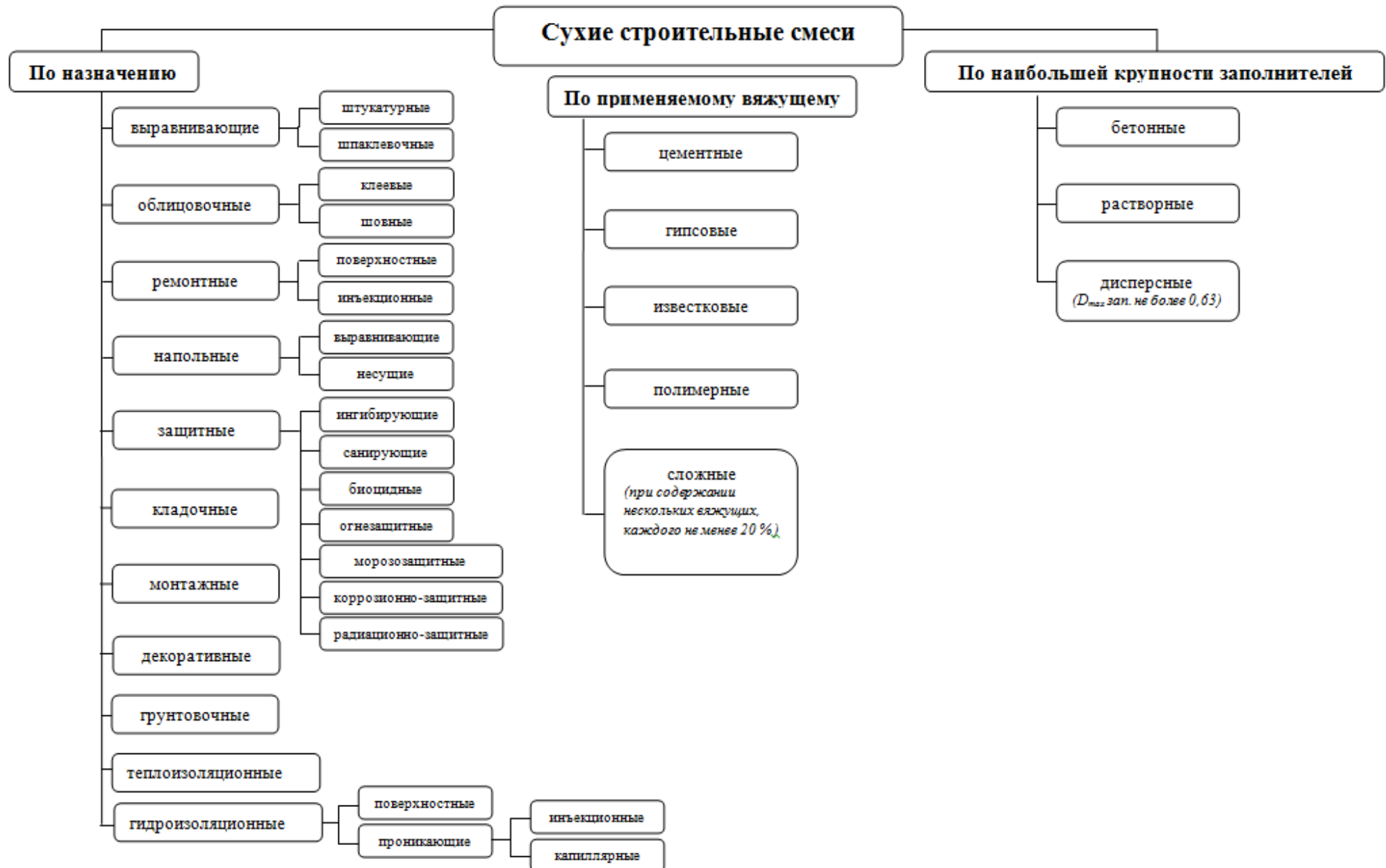


Рисунок 1.1– Классификация сухих строительных смесей

Так, например, согласно DIN 998-1, «штукатурки в зависимости от свойств применяемого строительного раствора и вида вяжущего вещества, а также толщины штукатурных слоев выполняют определенные строительно-технические функции и вместе с тем служат для отделки строительных сооружений».

В современном строительном материаловедении декоративные функции штукатурных покрытий в настоящее время рассматриваются как дополнительные, а основными являются показатели, обеспечивающие защиту сооружений от различных внешних воздействий (осадков, мороза, температурных колебаний); от переувлажнения (коэффициент водопоглощения и паропроницаемость); от потерь тепла (теплоизоляционные свойства) и, кроме того, такие свойства, которые ответственны за долговечность конструкций – прочность сцепления штукатурного покрытия с основанием, деформации усадки и трещиностойкость, водозащитные характеристики: водонепроницаемость, гидрофобность, устойчивость к воздействию газовой агрессии (преимущественно серного ангидрида) и солевой коррозии, отсутствие высолов и выцветов на поверхности покрытий, стойкость по отношению к грибковым поражениям и др. [6, 36, 50, 51, 96].

К примеру, европейский стандарт EN 998-1 «Технические условия на строительные растворы. Часть 1. Штукатурный раствор» включает в группу штукатурных шесть видов растворов: обычный штукатурный раствор (GP), легкий (LW), декоративный (CR), однослойный штукатурный раствор для наружных работ (OC), saniрующий (ремонтный) штукатурный раствор (R) и теплоизоляционная штукатурка (T). Классификация растворов и предъявляемые к ним требования приведены в таблице 1.1 [137, 139-143].

Аббревиатура в скобках является сокращением английских названий соответствующих штукатурных материалов. Представляется целесообразным в свете рассмотренных выше проблем привести также сведения о регламентации основных требований к перечисленным штукатурным растворам. Эти сведения приведены в таблице 1.2 и относятся ко всем растворам.

Таблица 1.1–Требования к затвердевшим растворам

№	Испытываемый параметр	Методы испытания	Нормальный штукатурный раствор	Легкий штукатурный раствор	Декоративный штукатурный раствор	Однослойный штукатурный раствор для наружных работ	Санирующий штукатурный раствор	Теплоизоляционный штукатурный раствор
1	2	3	4	5	6	7	8	9
L1	Плотность в сухом состоянии (кг/м ³)	EN 1015-10	Декларированный диапазон значений	Декларированный диапазон значений ≤ 1300 кг/м ³	Декларированный диапазон значений	Декларированный диапазон значений	Декларированный диапазон значений	Декларированный диапазон значений
L2	Прочность на сжатие (категории)	EN 1015-11 а	CS I до CS IV	CS I до CS III	CS I до CS IV	CS I до CS IV	CS II	CS I до CS II
L3	Прочность сцепления с основанием (Н/мм) и вид излома А, В или С)	EN 1015-12	≥ Декларированного значения и вида излома	≥ Декларированного значения и вида излома	≥ Декларированного значения и вида излома	—	≥ Декларированного значения и вида	≥ Декларированного значения и вида излома

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
L4	Прочность сцепления с основанием после атмосферного воздействия (Н/мм ² и вид излома А, В или С)	EN 1015-21	—	—	—	Декларированное значение и вид излома	—	—
L5	Капиллярное водопоглощение (категории) (для строительных растворов, используемых для наружных конструкций)	EN 1015-18	W 0 до W 2	W 0 до W 2	W 0 до W 2	W 1 до W 2	≥ 0,3 кг/м ² через 24 ч	W 1
L6	Глубина проникновения воды после испытания на водопоглощение (в мм)	EN 1015-18	—	—	—	—	≤ 5 мм	—
L7	Водопроницаемость на определенных основаниях после атмосферного воздействия (мл/см ² за 48 часов)	EN 1015-21	—	—	—	≤ 1 мл/см ² за 48 часов	—	—

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
L8	Коэффициент паропроницаемости (μ) (для строительных растворов, используемых для наружных конструкций)	EN 1015-19 a, b	\leq Декларированного значения	\leq Декларированного значения	\leq Декларированного значения	\leq Декларированного значения	≤ 15	≤ 15
L9 L10	Теплопроводность (среднее значение для $\lambda_{10,dry,mat}$) (Вт/(м · К)) (Для строительных растворов, применяемых на строительных конструкциях, к которым предъявляются требования по теплозащите)	EN 1745:2002, Таблица A.12	Табличное значение (P = 50 %)	Табличное среднее значение (P = 50 %)	Табличное среднее значение (P = 50 %)	Табличное среднее значение (P = 50 %)	Табличное среднее значение (P = 50 %)	T 1: $\leq 0,10$ T 2: $\leq 0,20$
L11	Огнестойкость (класс)	EN 1305-1	Указать согласно 5.2.2	—	—	—	—	—
L12	Долговечность	—	Согласно 5.2.3	—	—	—	—	—

Требования к прочностным характеристикам штукатурных растворов приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Свойства штукатурных растворов по EN 998-1 [143]

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)

Штукатурка теплоизоляционная (Т) – разновидность строительных растворов, характеризующаяся способностью формировать на поверхностях ограждающих конструкций (наружных и внутренних стен, перегородок, перекрытий) слои покрытий, препятствующие теплопередаче. К теплоизоляционным слоям ограждающих конструкций относят материалы с коэффициентом теплопроводности не более 0,3 Вт/(м·°С) (СНиП 23-02-2003). В европейском стандарте на штукатурные растворы EN 998-1 к теплоизоляционным относят штукатурные растворы, коэффициент теплопроводности которых (λ) не превышает для марки Т1 – 0,1 Вт/(м·К), для марки Т2 – 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 [93, 94, 107, 111, 138]. 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 [8, 13, 77, 79].

Традиционные цементно-песчаные и известково-песчаные растворы обладают низкими теплоизоляционными свойствами. Для повышения теплоизоляционных свойств в составе ССС наиболее часто используют наполнители: вспученный перлит или вермикулит, вспученное стекло, пенополистирольный наполнитель [1, 2, 4, 14, 20, 122, 127]. Благодаря им достигаются более высокие теплоизоляционные свойства, уменьшается плотность штукатурки, повышаются звукоизоляционные свойства поверхностей [5, 15, 48, 64, 123]. Так, гранулы пенополистирола позволяют теплоизоляционным штукатурным составам достигнуть теплопроводности 0,057 Вт/(м·К) [75]. Это немногим более, чем аналогичные значения минеральной ваты из базальтового или стекловолокна. Превосходство над данными материалами по теплоизоляционным показателям дает возможность использовать теплоизоляционные штукатурки (ТИШ) вместо систем утепления наружных стен «мокрым» способом, где в роли утеплителя применяются пенополистирол или минеральная вата. Пенополистирол используется в качестве наполнителя при производстве штукатурок «Изолтэко», Isoputz Extra немецкой компании Knauf [104], а также австрийской штукатурки Tirotherm [102]. В сухом виде ТИШ имеют плотность от 240-250 кг/м³ до 350-400 кг/м³. Перлитовый песок – наиболее часто используемый теплоизоляционный наполнитель [67, 71, 89]. Его применяют при производстве штукатурок ThermoPutz (компания Baumit), гипсо-перлитовой штукатурной смеси «Перлитка ШТ2» и цементно-перлитовой смеси «Перлитка ШТ4» [112]. Материалы с перлитовым наполнителем отличают хорошие показатели теплопроводности и паропроницаемости. Например, коэффициент теплопроводности гипсовой штукатурки «Перлитка ШТ2» составляет 0,06 Вт/(м·К), а на цементной основе (белый цемент и портландцемент) – 0,07 Вт/(м·К), коэффициент паропроницаемости гипсовой штукатурки – 0,52 мг/(м·ч·Па), цементной – 0,4 мг/(м·ч·Па). Прочностные свойства («Перлитка ШТ2» и «Перлитка ШТ4»): адгезия – 0,3 МПа, прочность на сжатие – 1,2 МПа. Примером использования вспученного вермикулита в качестве теплоизоляционного наполнителя является штукатурная смесь «Тепловер»,

которая разработана и изготавливается компанией «Укрвермикулит» [100]. Одним из вариантов достижения более высоких теплоизоляционных свойств является сочетание теплоизоляционного наполнителя (перлита) и воздухововлекающей добавки. По этому пути пошли изготовители Ceresit СТ 24 и «Термо-Лайт» [121]. Еще одним вариантом наполнителя может быть вспученное стекло. Его в качестве теплоизоляционного материала предлагает немецкая компания Dennert [133]. Фирма производит материал Poraver, состоящий из гранул вспененного стекла диаметром от 0,5 до 1,6 мм. Материал обладает высокой прочностью, отличными теплоизолирующими свойствами, применяется при отделке фасадов зданий, в кровельных работах, в конструкциях, соприкасающихся с водой. Добавляя в ССС 20 % материала Poraver, можно получить штукатурку плотностью 800 кг/м³ и теплопроводностью 0,2 Вт/(м·К), а добавляя в ССС 75 % материала Poraver – 250-280 кг/м³ с теплопроводностью 0,07 Вт/(м·К).

Материалы, выпускаемые турецкой фирмой Say yeni nesil uari ürünleri Ltd под торговой маркой SayThermoPlast, представляют собой сухие смеси, изготовленные на основе природных вяжущих (98 %), экологически чистых синтетических клеев (2 %) и пеностекла в качестве наполнителя [129]. Эти материалы обладают высокой адгезией (легко наносятся на металл, пластик и стекло без предварительной подготовки поверхности), поэтому их используют для выполнения теплоизоляции как снаружи, так и внутри помещения путем создания легких, прочных и теплоизолирующих штукатурок. Данные штукатурки имеют хорошие теплоизоляционные свойства и высокую паропроницаемость, что обеспечивает экологичность помещений. В теплоизоляционной штукатурке УМКА применен гранулированный наполнитель из вспученного стекла, который имеет высокий показатель конструктивной прочности, низкий уровень водопоглощения, он пожаробезопасен, эффективен как теплоизолятор.

От типа заполнителя и его количества в смеси зависят теплоизоляционные свойства штукатурок. Так, содержание гранулированного полистирола в штукатурке «Изолтэко» составляет 75 %, соответственно ее теплопроводность – 0,051 Вт/(м·К) [101]. Коэффициент теплопроводности штукатурки IsoputzExtra, по

данным компании «Кнауф Маркетинг», $0,09 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Другие наполнители, типа вспученного перлита либо вермикулита, также могут быть эффективно использованы в качестве утеплителя. У штукатурок с перлитовым наполнителем теплоизоляционные качества несколько отличаются. К примеру, теплопроводность штукатурки Tirotherm равна $0,063 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, «CeresitСТ 24» – $0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а ThermoPutz – $0,13 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ [103]. Помимо теплоизоляционных свойств, наполнители определяют и степень горючести самих штукатурок. Так, штукатурки с пенополистирольным наполнителем по горючести относятся к группе Г1, по воспламеняемости – к группе В1, а штукатурки с минеральным наполнителем (перлитом, вермикулитом, вспененным стеклом) – негорючие (группа НГ). Все штукатурки ремонтпригодны, причем, ремонт локальных дефектов производится довольно быстро. Как правило, ТИШ наносится несколькими слоями, каждый из которых имеет толщину 2-3 см.

Завод «Победит» выпускает теплую штукатурку «Победит перлит ТМ-30» [76]. Теплая штукатурка «Победит перлит ТМ-30» представляет собой многокомпонентную сухую смесь на основе цементного вяжущего, фракционированного кварцевого песка, перлитового песка, извести и комплекса модифицирующих добавок. Состав используют для оштукатуривания поверхностей из бетона, кирпича, блоков из пено-, керамзито- и полистиролбетонов снаружи и внутри помещений. Кроме того, предприятие выпускает облегченную теплоизоляционную штукатурку «Победит пеностекло ТМ-30», которая представляет собой многокомпонентную сухую смесь на основе цементного вяжущего, фракционированного кварцевого песка, гранулированного пеностекла, извести и комплекса модифицирующих добавок [99]. Состав используют для оштукатуривания поверхностей из бетона, кирпича, блоков из пено-, керамзито- и полистиролбетонов снаружи и внутри помещений.

В ряде случаев ТИШ может быть лишь доутепляющим материалом. Это обуславливается тем, что некоторые несущие поверхности изначально обладают слишком маленьким сопротивлением теплопередаче, вследствие чего только очень толстый слой теплоизоляционной штукатурки может содействовать

приведению данного показателя к установленным нормативам. Толщина же наносимой теплоизоляционной штукатурки не может превышать 15 см [40, 53, 56].

Большинство известковых сухих теплоизоляционных строительных смесей отличаются невысокими показателями прочности ввиду использования большого количества наполнителей для улучшения теплоизоляционных свойств покрытия. Низкие прочностные характеристики, в свою очередь, сказываются на недолговечности покрытия, невысокой стойкости к атмосферным воздействиям. В связи с этим, возникает всё большая потребность в новых эффективных известковых теплоизоляционных штукатурных составах, отличающихся высокой прочностью и низкой теплопроводностью в соответствии с требованиями стандартами DIN EN 998-1.

1.2 Причины разрушения отделочного слоя стен зданий

В процессе эксплуатации защитно-декоративные покрытия наружных ограждающих конструкций зданий подвергаются увлажнению за счет действия дождей, высокой относительной влажности воздуха, а также за счет диффузии водяного пара через ограждающую конструкцию от внутренней поверхности к наружной в холодный период года [10, 49, 69]. В условиях внешних воздействий на покрытие в ряде случаев наблюдается частичное разрушение штукатурного покрытия, проявляющееся в виде отслоений или сетки из мелких волосяных трещин. Одной из возможных причин возникновения данных дефектов может быть конденсация влаги на границе раздела ограждающая конструкция–штукатурное покрытие, и последующее разрушение покрытия при замерзании влаги вследствие увеличения объема воды в порах материала. Но на практике подобные случаи чаще возникают при использовании штукатурных покрытий с низкими значениями паропрооницания. В соответствии с законами строительной физики, рекомендуют создавать стены таким образом, чтобы сопротивление паропрооницанию слоев стены увеличивалось от наружного слоя к внутреннему.

Сопротивление же теплопередаче должно уменьшаться снаружи внутрь. Именно паропроницаемость материала способствует удалению избытка влаги из помещения [34, 113].

Были проведены обследования состояния оштукатуренной поверхности фасадов зданий в г. Пензе по ул. Циолковского (рисунок 1.2), ул. Калинина (рисунок 1.3), ул. Можайского (рисунок 1.4). Штукатурные работы по данным улицам были проведены с использованием штукатурок на цементной основе. Установлено, что основные дефекты эксплуатации, это трещины в покрытии по торцу здания, а также отслаивание покрытия.

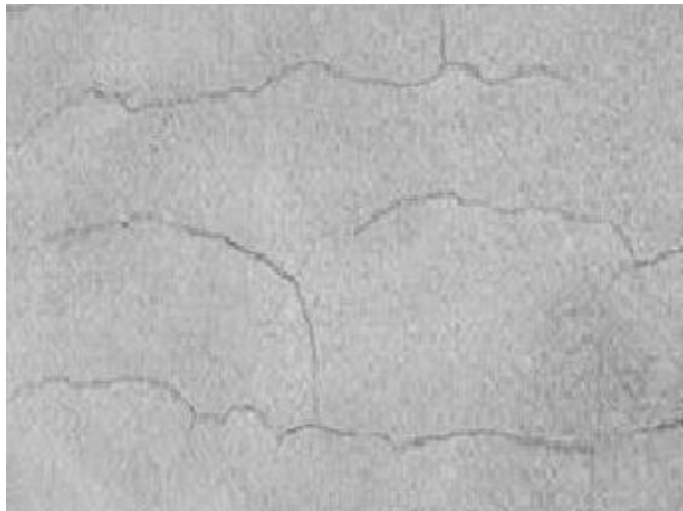


Рисунок 1.2 – Фотография фасада здания по улице Циолковского после трёх лет эксплуатации, г. Пенза

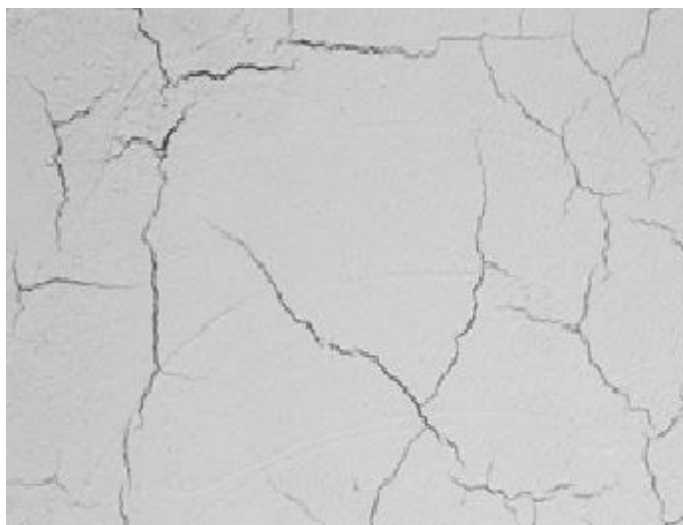


Рисунок 1.3 – Фотография фасада здания по улице Калинина после трёх лет эксплуатации, г. Пенза

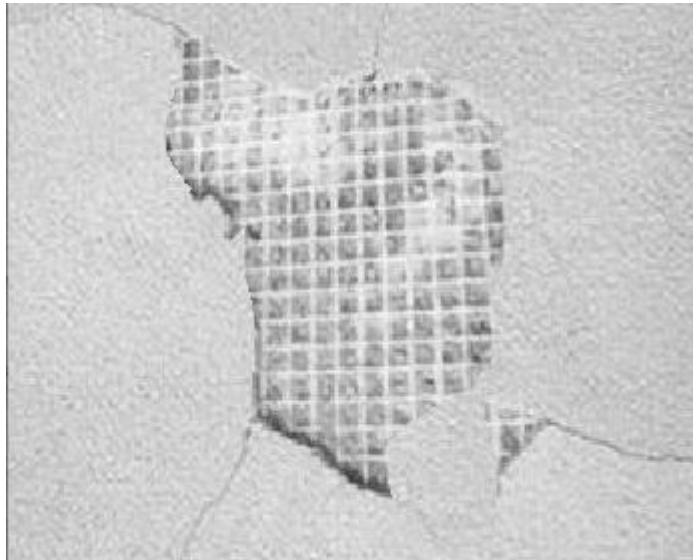


Рисунок 1.4 – Фотография фасада здания по улице Можайского после шести лет эксплуатации, г. Пенза

Как правило, сухие смеси для наружных работ изготавливают на цементном вяжущем. Известковые строительные смеси применяются реже из-за низкой стойкости покрытий на их основе.

Однако, покрытия на основе известковых составов характеризуются большей трещиностойкостью, лучше воспринимают растягивающие усилия, обладают хорошими показателями паропроницаемости и стойкостью к биоповреждениям [16, 117, 118]. К тому же, известковые сухие смеси до сих пор остаются единственными отделочными составами, обеспечивающими хорошую связанность с материалами архитектурно-исторических застроек [90]. Это обуславливает необходимость выбора воздушной извести в качестве основного вяжущего для реставрационных сухих смесей.

Недостатками же таких составов являются низкие показатели прочности и водостойкости. Как известно, известковое вяжущее очень медленно твердеет, что затрудняет производство отделочных работ. Для ускорения отверждения извести и повышения стойкости известковых покрытий в рецептуру вводят различные добавки, способствующие повышению водостойкости, прочности, снижению усадочных деформаций. В целях повышения эксплуатационных характеристик покрытий на основе известковых составов предложено вводить в рецептуру активные минеральные добавки [7, 21, 47, 60, 134]. Одним из методов получения

активных минеральных добавок является измельчение специально обожженной при температуре 600-800 °С глины с повышенным содержанием в ней каолинита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Обжиг ведется до тех пор, пока малоактивный каолинит полностью не превратится в метакаолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Образующийся метакаолинит при взаимодействии с известью и водой связывает гидрат окиси кальция в гидроалюминат кальция, что, в свою очередь, способствует повышению прочностных и гидравлических свойств известкового состава [45, 120]. В известковых декоративных штукатурных смесях метакаолинит, являясь глинистым материалом, обеспечивает пластичность составам и отсутствие липкости, что позволяет производить качественные сухие смеси.

Также в качестве активных минеральных добавок используют природные материалы: диатомит, гранулированные шлаки, топливные золы и шлаки, искусственно обожженные глинистые материалы и кремнеземные отходы [18, 42, 43, 46, 91, 124-126, 128]. Взаимодействие извести с активными минеральными добавками основано на том, что активный (аморфный, мелкодисперсный) кремнезем связывает известь в присутствии воды в гидросиликат кальция, который и обуславливает ее гидравлическое твердение, то есть нарастание прочности под водой после предварительного затвердевания на воздухе, а также способность сопротивляться выщелачивающему действию воды [17, 19, 48, 92, 144].

Существуют как отечественные, так и импортные добавки на основе аморфных оксидов алюминия ($\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$) и гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, такие как Axilat SA 502 (фирма Rhodia, Франция) и АмГА (ОАО «РУСАЛ Бокситогорский глинозем»), Alumina CTC-20 (Германия). Эти добавки, по литературным данным и технической информации производителей, характеризуются высокой дисперсностью и активностью по отношению к щелочам [54, 59, 119].

В работах [61-63] предлагается вводить в рецептуру известковых отделочных составов добавки на основе синтезированных гидросиликатов кальция (ГСК). Введение в известь добавок на основе ГСК приводит к ускорению процесса твердения и повышению прочности известковых образцов. Добавки на

основе ГСК обладают высокой активностью и, взаимодействуя с известью, образуют смесь низкоосновных и высокоосновных гидросиликатов, улучшающих сцепление извести с заполнителем [97]. Также на отечественном рынке СССР известна немецкая фирма «BASF», производящая модифицирующую добавку «X-SEED 100». Добавка «X-SEED 100» представляет собой суспензию активных частиц наноуровня и предназначена для ускорения процесса гидратации цемента в первые часы после затворения. Действие добавки основано на технологии внедрения кристаллов, сильно ускоряющей рост важных кристаллов гидрат силиката кальция [134].

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 [58].

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

В патенте № RU 2044689 описан способ получения алюмосиликата натрия, заключающийся во взаимодействии раствора гидроксида натрия с кремнегелем, являющимся отходом производства фторида алюминия, при повышенной температуре. Готовится суспензия кремнегеля, отхода производства фторида алюминия, с раствором гидрата окиси натрия. Смесь нагревают до температуры кипения и выдерживают при этой температуре и перемешивании в течение 1,0-2,5 ч. [80].

Известен способ получения аморфного и микро/мезопористого алюмосиликатного геля, имеющего большую площадь поверхности и контролируемый размер пор. Аморфный микро/мезопористый алюмосиликатный

гель с контролируемым размером пор, имеющий площадь поверхности $500 \text{ м}^2/\text{г}$ и с молярным отношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 30:1, получают из тетра-(C₂-C₅)-алкиламмонийгидроксида, три-(C₂-C₄)-алкоксида алюминия и тетра-(C₁-C₅)-алкилортосиликата, которые подвергают гидролизу и гелеобразованию путем обработки при атмосферном давлении при температуре, равной или выше, чем температура кипения, любыми спиртами, которые образуются в виде побочного продукта в реакции гидролиза, не удаляя указанные спирты из реакционной среды, полученный гель сушат и прокаливают [82].

Существует также технология получения композиции алюмосиликата, содержащей от 40 до 75 мас. % оксида кремния [85]. Способ включает девять стадий приготовления композиции алюмосиликата с последующим отделением осадка.

В патенте США № 4499197 описан другой способ изготовления композиции алюмосиликата [131]. В этом патенте описывается производство алюмосиликатного ко-геля путем осуществления реакции раствора алюмината щелочного металла (алюминат натрия) с раствором силиката щелочного металла (силикат натрия) с получением реакционной смеси алюмосиликатного пре-геля с рН от 12 до 12,5. Этот пре-гель затем смешивают с солью алюминия (сульфат алюминия) и кислым раствором редкоземельного элемента и после выдерживания извлекают образовавшийся ко-гель. Аморфные алюмосиликатные ко-гели могут содержать от 10 до 90 % вес. оксида кремния и от 10 до 90 % вес. оксида алюминия. Эти ко-гели характеризуются удельной поверхностью от 100 до $400 \text{ м}^2/\text{г}$, при этом примерно от 30 до 60 % этой поверхности приходится на поры с диаметром от примерно 40 до 100 \AA .

В патенте США № 4289653 указано, что свойства алюмосиликатов в значительной степени зависят от способа, которым он получен, и описан один способ приготовления композиций алюмосиликатов [130], который включает приготовление алюмосиликата путем смешивания силиката щелочного металла (например, силиката натрия) с солью алюминия (например, сульфата алюминия) и неорганической кислотой с образованием подкисленного золя. Затем к

подкисленному золю добавляют основной осаждающий реактив, такой как гидроксид аммония, с целью увеличения его рН и, тем самым, побуждения совместного гелеобразования частиц оксида кремния и оксида алюминия. Полученную совместно загустевшую массу алюмосиликатного гидрогеля извлекают из раствора и используют для приготовления катализаторов денитрификации и других типов гидроочистки, содержащих металлы VI группы и VIII группы.

В патенте США № 4988659 описан алюмосиликатный ко-гель и способ получения такого ко-геля [132]. Ко-гель получают путем добавления раствора силиката к водному раствору кислоты и кислой соли алюминия, такой, как хлорид алюминия или сульфат алюминия, с образованием подкисленного золя оксида кремния с рН в диапазоне от 1 до 4, последующего увеличения рН этого золя путем добавления основания, выдерживания золя и извлечения полученного ко-геля. Извлеченный ко-гель может быть подвергнут дальнейшей обработке с использованием кислоты с целью возбуждения синерезиса, промывке и затем сушке распылением.

В патенте № RU 2438974 предложен способ получения аморфного алюмосиликатного адсорбента в одну стадию при температуре ниже 100 °С. Способ заключается в приготовлении гетерогенной композиции, содержащей порошок алюминия, жидкое натриевое кремниевое стекло и воду, и взаимодействие исходных реагентов. Композицию подвергают взаимодействию при перемешивании при температуре 60 °С в течение 90-120 минут, после чего продукт взаимодействия выдерживают в воде в течение 120 минут при комнатной температуре. В результате непрерывной диффузии молекулярного водорода в образующемся в ходе реакции алюмосиликатном продукте создаются микро- и наноразмерные капилляры и поры. В конечном итоге происходит формирование микро- и наноструктурированного материала с высокоразвитой поверхностью. Таким образом, для получения алюмосиликатного адсорбента необходимо подобрать такой состав гетерогенной системы, чтобы в ней при выбранных

условиях одновременно происходило образование водорода и алюмосиликатного субстрата [84].

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

Способ получения заключается в приготовлении гидрореакционной гетерогенной композиции, содержащей порошок алюминия, метасиликат натрия и воду, и их последующем взаимодействии. В качестве метасиликата натрия используют кристаллогидрат метасиликата натрия в твердом виде, при этом вначале смешиванию подвергают порошок алюминия и кристаллогидрат метасиликата натрия, после чего к полученной смеси небольшими порциями добавляют воду при соотношении компонентов, мас. %: порошок алюминия 10-30, кристаллогидрат метасиликата натрия 25-40, вода 20-60 [83].

Наличие в структуре адсорбентов аморфных алюмосиликатов делает перспективным их использование при разработке известковых сухих строительных смесей. Применение таких добавок в известковых сухих строительных смесях вследствие химического взаимодействия извести и аморфного алюмосиликата позволит ускорить структурообразование известковой композиции, повысить ее прочность, водостойкость. Между тем, анализ патентной и научно-технической литературы свидетельствует, что вопросы их применения в рецептурах известковых строительных смесей требуют тщательной проработки. Не выявлен механизм взаимодействия синтетических адсорбентов с вяжущим, не установлены закономерности структурообразования композита. Это свидетельствует о целесообразности исследования возможности применения добавок на основе аморфных алюмосиликатов в известковых теплоизоляционных смесях.

1.3 Цели и задачи исследования

Проведённый анализ показывает, что использование добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре известковых сухих смесей с улучшенными теплоизоляционными свойствами является актуальным на сегодняшний день и перспективным направлением в области производства строительных материалов и строительства в целом.

В связи с этим целью настоящей работы является разработка состава и технологии производства теплоизоляционной известковой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре теплоизоляционных известковых ССС;
- выявить закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов;
- разработать рецептуру теплоизоляционной ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов и установить технологические и эксплуатационные свойства покрытия на ее основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов в промышленное производство.

Глава 2 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика материалов

Для приготовления добавки использовались следующие материалы:

- жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия). Характеристики представлены в таблице 2.1 [26];
- пудра алюминиевая ПАП-1 (ГОСТ 5494-95 Пудра алюминиевая. Технические условия). Характеристики представлены в таблице 2.2;
- дистиллированная вода.

Таблица 2.1 – Физико-химические показатели жидкого натриевого стекла

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя в соответствии с ГОСТ 13078-81
1	Силикатный модуль	2,7-3,3
2	Плотность при 20 °С, г/см ³	1,36-1,50
3	Массовая доля оксида кремния, %	24,8-36,7
4	Массовая доля оксида натрия, %	8,1-13,3
5	Массовая доля нерастворимого в воде остатка не более, %	1,8

Для приготовления сухой смеси использовали следующие материалы:

- гашеная известь (пушонка) активностью 84 %, полученная на Каменском предприятии «Атмис-сахар» для технологических целей, истинной плотностью 2200 кг/м³, насыпной плотностью 280 кг/м³, с удельной поверхностью 13478 см²/г;
- вспученный перлитовый песок М150, соответствующий требованиям ГОСТ 10832-2009 Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия;
- диатомит Инзенского месторождения Пензенской области. Истинная плотность диатомита составляла 2200 кг/м³, насыпная плотность – 300 кг/м³;

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	-

- белый цемент без минеральных добавок, соответствующий требованиям ГОСТ 965-89 Портландцементы белые. Технические условия.

В качестве добавок применяли:

- Суперпластификатор Sika ViscoCrete-3180 (ТУ 2493-009-136113997-2011);
- Суперпластификатор С-3 (ТУ 6-36-020429-625);
- Кратасол-ПФМ (ТУ 5745-365-05800142-2011м);
- Melflux марки 1641F;
- Редиспергируемый порошок Neolith P4400;
- Редиспергируемый сополимерный порошок VINNAPAS 5044N;
- Редиспергируемый сополимерный порошок VINNAPAS 8031H;
- Редиспергируемый сополимерный порошок Mowilith PulverDM 1142P;
- Гидрофобизирующий порошок Zincum-5;
- Эфир целлюлозы Mecellose FMC 2094.

При выборе месторождения диатомита учитывали его химический состав.

В таблице 2.3 представлен химический анализ диатомитов Инзенского, Ахматовского и Коржевского месторождений.

Таблица 2.3 – Химический состав диатомита (%)

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

Выявлено, что в составе диатомита Инзенского месторождения содержится большее количество аморфного кремнезема, в связи с этим в работе применяли диатомит именно этого месторождения.

Суперпластификатор Sika ViscoCrete-3180 – это суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров для бетонных смесей с длительной сохраняемостью подвижности для изготовления бетонов с низкой экзотермией (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Основные показатели суперпластификатора Sika ViscoCrete-3180

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Высокое водоредуцирование, %	40
2	Сохраняемость подвижности смеси, мин	180
3	Пластифицирующий эффект без снижения прочности во все сроки твердения, мм, не менее	125

Суперпластификатор С-3 – это смесь нейтрализованных едким натром полимерных соединений разной относительной молекулярной массы, получаемых при конденсации сульфокислот нафталина с формальдегидом и технических лингосульфонов. Порошок светло-коричневого цвета. Основные показатели добавки С-3 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Основные показатели суперпластификатора С-3

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Массовая доля активного вещества в пересчете на сухой продукт, %, не менее	90
2	Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5 %	7,0-9,0
3	Пластифицирующий эффект без снижения прочности во все сроки твердения, мм, не менее	125
4	Плотность, кг/м ³ , не менее	500

Добавка Кратасол-ПФМ представляет собой модифицированные лигносульфонаты натрия. Основные показатели добавки Кратасол-ПФМ приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные показатели добавки Кратасол-ПФМ

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Цвет порошка	темно-коричневый
2	Массовая доля сухих веществ, %, не менее	95
3	Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5 %	4,5-6
4	Содержание хлоридов, %, не более	0,1

Добавка Melflux 1641F – это легко сыпучий порошок аэрозольной сушки, основанный на модифицированном полиэфир-карбоксилате (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Основные показатели Melflux 1641F

№ п/п	Наименование показателя	Фактические показатели
1	Внешний вид	порошок белого цвета
2	Химическая основа	полиэфиркарбоксилат
3	Насыпная плотность, кг/м ³	750
4	Потери массы при нагревании, %	4,0
5	рН 20 % раствора при 20 °С	7-10
6	Рекомендуемая дозировка (мас. % на массу вяжущего)	0,2-2,0

Добавка Neolith P4400 является сополимерным порошком, основанным на винилацетате и версатате винила. Основные показатели добавки приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Основные показатели добавки Neolith P4400

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Цвет порошка	Белый
2	Содержание твердых частиц, %	98
3	Содержание золы, %	9
4	Система стабилизации	Поливиниловый спирт
5	Минимальная температура пленки, °С	+6

Добавка VINNAPAS 8031H – это ретиспергируемый в воде дисперсионный порошок тройного сополимера этилена, виниллаурата и винилхлорида.

Основные показатели добавки приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Основные показатели добавки VINNAPAS 8031H

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	2	3
1	Тип смолы	Тройной сополимер этилена, виниллаурата и винилхлорида
2	Антикоагулянт	Поливиниловый спирт
3	Содержание твердого (по ДИН 53 189)	(99 ± 1) %
4	Зольность (1000 °С/ 30 мин)	(13 ± 2) %
5	Внешний вид	Белый порошок

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3
6	Насыпной вес	450 ± 50 г/л
7	Размер частиц	Макс. 2 % более 400 мкм
8	Минимальная температура стеклования (ДИН 53 787)	Около 0 °С
9	Свойства пленки	Мутная, гибкая

VINNAPAS 5044N – редиспергируемый в воде дисперсионный порошок сополимера этиленвинилацетата с хорошей устойчивостью к омылению.

Основные показатели добавки приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Основные показатели добавки VINNAPAS 5044N

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	2	3
1	Содержание твердого вещества ДИН 53 189	99 ±1%
2	Зольность 1000 °С/30 мин.	10 ±2%
3	Насыпной вес ДИН 53 466	450 ±50 г/л
4	Внешний вид	Белый порошок
5	Антикоагулянт-эмульгаторная система	Поливиниловый спирт
6	Размер частиц ДИН 53 734	Не более 4 % свыше 400 мкм
7	Размер частиц	Макс. 2 % более 400 мкм

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3
8	Минимальная температура пленкообразования ДИН 53 787	0 °С
9	Свойства пленки	Мутная, эластичная

Добавка Mowilith Pulver DM 1142 P – это редисперсионный порошок в виде мономеров винилацетата, этилена и поливинилового спирта. Редиспергируемые порошки Mowilith производятся методом распылительной сушки водных синтетических дисперсий на базе сополимеров винилацетата, этилена, акрилатов и версататов.

Добавка Zincum-5 – это гидрофобизирующий порошок на основе стеарата цинка. Основные показатели добавки Zincum-5 приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Основные показатели добавки Zincum-5

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Цвет порошка	Белый, желтовато-белый
2	Содержание оксида цинка, %, не менее	13,8
3	Массовая доля остатка при просеве через сито с сеткой 200, %, не более	0,2
4	Массовая доля воды, %, не более	0,5
5	Плотность, г/см ³	266
6	Температура плавления, °С	121
7	Содержание свободных жирных кислот, %, не более	0,41
8	Коэффициент омыления, мг КОН/г	200

Добавка Mecellose FMC 2094 обладает свойством удерживать воду в растворе и противодействовать испарению, адсорбированию впитывающим основанием. Обеспечивает загущение раствора и улучшает его адгезионные свойства. Свойства и эффективность добавки Mecellose FMC 2094 при любом её применении определяется характеристиками приведенными в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Основные показатели добавки Mecellose FMC 2094

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Содержание активного вещества, % (по сух.)	Min. 90
2	Содержание влаги, %	Max. 8
3	Содержание сульфатной золы, %	Max. 2
4	Удельный вес, г/л	250-550
5	Температура разложения, °С	220

2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов

Пластическую прочность или предельное напряжение сдвига отделочной смеси определяли коническим пластометром КП-3. Данный метод основан на погружении индентора (конуса) в исследуемый состав и заключается в измерении глубины погружения конуса под действием постоянной нагрузки Р [24]. В момент достижения конусом равновесия напряжение сдвига τ в составе становится равным пределу текучести τ_0 и определяется 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.

Время высыхания покрытия на основе разрабатываемого состава определяли в соответствии с ГОСТ 19007-73*. Оценку степени высыхания производили по семибалльной шкале. Метод основан на способности покрытий, в зависимости от степени отверждения, удерживать на своей поверхности стеклянные шарики или бумагу при заданной нагрузке, и заключается в определении времени, в течение которого отделочный слой превращается в слой с требуемой степенью высыхания (таблица 2.13) [29].

Водоудерживающую способность отделочных составов определяли в соответствии с ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний [24].

Перед испытанием 10 листов промокательной бумаги размером 150×150 мм взвешивали с погрешностью до 0,1 г, укладывали на стеклянную пластинку размером 150×150 мм и толщиной 5 мм. На промокательную бумагу укладывали один слой марлевой ткани, сверху устанавливали металлическое кольцо с внутренним диаметром 100 мм и высотой 12 мм, и ещё раз взвешивали всю установку. Затем тщательно перемешанную растворную смесь укладывали вровень с краями металлического кольца, взвешивали и оставляли на 10 минут.

Таблица 2.13 – Определение степени высыхания отделочных покрытий

Степень высыхания	Характеристика поверхности покрытия после испытания
1	Стеклянные шарики, свободно насыпанные на поверхность покрытия, полностью удаляются с нее мягкой волосяной кистью; при этом поверхность покрытия не повреждается
2	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет следа после снятия нагрузки 0,2 Н (20 г)
3	То же, после снятия нагрузки 2 Н (200 г)
4	Бумага не прилипает к покрытию после снятия нагрузки 20 Н (2 кг); при этом на покрытии виден след от нагрузки
5	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет следа после снятия нагрузки 20 Н (2 кг)
6	Бумага не прилипает к покрытию, но оставляет след от нагрузки 200 Н (20 кг) после ее снятия
7	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет след после снятия нагрузки 200 Н (20 кг)

После чего металлическое кольцо с раствором осторожно снимали вместе с марлей, а промокательную бумагу взвешивали с погрешностью до 0,1 г.

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

Истинную плотность добавки на основе алюмосиликатов определяли с помощью прибора Ле-Шателье. Прибор наполняли обезвоженным керосином до нижней нулевой метки (по нижнему мениску), после чего верхнюю свободную от керосина часть прибора протирали тампоном из фильтровальной бумаги. Исследуемый материал перед испытанием высушивали в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С до постоянной массы. На технических весах в стаканчике

взвешивали навеску порошка массой около 70 г с погрешностью не более 0,01 г. Порошок высыпали в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка со стаканчиком взвешивали. Определяли уровень жидкости в приборе. Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему высыпанного порошка (см³). Истинную плотность исследуемого материала ρ вычисляли 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.

Определение средней плотности. Образцы материала, предварительно подготовленные и высушенные при температуре 105-110 °С, взвешивали с погрешностью 0,1 г. Объем образца определяли, пользуясь штангенциркулем. Каждую грань образца измеряли в трех местах. Окончательный размер каждой грани (а, b, с) вычисляли как среднее арифметическое трех измерений и считали объем образца по формуле:

$$V = a \cdot b \cdot c, \quad (2.4)$$

Среднюю плотность исследуемого материала ρ вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2.5)$$

где m – масса образца, г.

Насыпную плотность материалов, используемых при разработке ССС, определяли с использованием сосуда вместимостью 1000 см³ (1 л). Пробу материала массой около 1,5 кг насыпали в стандартную воронку. Предварительно взвешенный мерный сосуд помещали под воронку и заполняли порошком с небольшим избытком. После заполнения сосуда деревянной линейкой осторожно срезали излишек материала на уровне с краями сосуда. Затем сосуд с цементом

взвешивали и, вычитая из полученного результата массу сосуда, находили массу порошка. Насыпную плотность материала $\rho_{\text{нас}}$ (г/см³) вычисляли по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}, \quad (2.6)$$

где m – масса материала, г;

V – объем сосуда, см³.

Кинетику водопоглощения отделочных составов на основе сухой смеси определяли по ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний [24].

Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы, помещали в ёмкость, наполненную водой. При этом температура воды в ёмкости составляла (20 ± 2) °С. Образцы взвешивали с интервалом в один час на обычных весах с погрешностью не более 0,1 %. При взвешивании образцы, вынутые из воды, предварительно вытирали отжатой влажной тканью. Массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включали в массу насыщенного образца. Испытание проводили до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний отличались не более, чем на 0,1 %.

Влагопоглощение по массе (%) рассчитывали по формуле:

$$W_m = \frac{m_B - m_C}{m_C}, \quad (2.7)$$

где m_C – масса образца в сухом состоянии, г;

m_B – масса образца после выдержки в эксикаторе с определённой влажностью воздуха, г.

Метод определения коэффициента паропроницаемости основан на определении количества водяных паров, прошедших через 1 см² поверхности отделочного слоя толщиной δ за время τ при температуре (20 ± 2) °С. На слой марли наносили исследуемый состав, после отверждения которого марлю закрепляли на стакане, в котором создавали 100 %-я относительная влажность воздуха за счёт налитой воды. Марля закреплялась на стакане, со смазыванием его края по окружности парафином. В эксикатор, в котором создавалась 60 %-я

относительная влажность воздуха, помещался стакан, предварительно взвешенный на аналитических весах. Периодические взвешивания продолжались до того момента, пока масса стакана с затвердевшим слоем отделочного состава становилась постоянной величиной.

Коэффициент паропроницаемости (мг/(м·ч·Па)) отделочного слоя на основе разрабатываемого состава определяли по формуле:

$$\mu = \frac{P \cdot \delta}{F \cdot (E \cdot e_{60} \cdot \tau)}, \quad (2.8)$$

где P – общее количество паров воды, перемещающейся путём диффузии через слой отделочного состава, соответствующее увеличению массы плёнки за время испытаний, мг;

δ – толщина отделочного слоя, м;

F – площадь отделочного слоя, м²;

E – парциальное давление водяного пара при влажности 100 %, Па, (упругость водяного пара);

e_{60} – парциальное давление водяного пара при влажности 60 %, Па, (упругость водяного пара);

τ – продолжительность испытания, ч.

Прочность при сжатии образцов на основе разрабатываемого состава определяли по ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний [24]. В качестве испытательного оборудования для исследования прочности при сжатии образцов использовалась испытательная машина типа ИР 5057-50. В зависимости от вида использованного силового датчика испытательной машины ИР 5057-50 диапазон измерения усилий составляет от 50 до 50 000 Н с точностью до 1 Н (0,1 кгс). Встроенные регуляторы скорости перемещения траверсы позволяют задавать скорость приложения нагрузки от 1 до 100 мм/мин (по величине перемещения). Прочность при сжатии (МПа) образцов определяли по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.9)$$

где P – разрушающая сила, Н;

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

Для оценки адгезионной прочности покрытия на основе разрабатываемого состава применяли метод отрыва штампа (нормальный отрыв). Метод основан на определении силы отслаивания штампа от поверхности отрывом. Использовали штампы цилиндрической формы диаметром 18 мм, наклеенные эпоксидным клеем (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00) на отделанную поверхность. Устанавливали образец горизонтально, прикрепляя к штампу динамометр, и фиксировали силу, необходимую для отрыва штампа от испытуемого образца. Прочность сцепления отделочного состава с подложкой определяли по формуле, Н/м^2 :

$$R_{\text{адг}} = \frac{P}{F}, \quad (2.10)$$

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:

$$\mu = \frac{l_0 \cdot l_i}{l_0} \cdot 100, \quad (2.11)$$

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

l_i – длина образца в промежуточные периоды твердения, мм .

Определение предела прочности при растяжении (когезионной прочности) образ основе разрабатываемого состава проводили по ГОСТ 18299-72* на разрывной машине ИР 5057-50. Метод основан на растяжении испытуемого образца до разрыва при скорости деформирования 1 мм/мин . Образцы составов размерами 1×1×5 см закрепляли в зажимах разрывной машины так, чтобы ось образца была расположена в направлении растяжения, а приложенные силы действовали равномерно по всему сечению образца. Испытания проводили при температуре воздуха (20 ± 2) °С и относительной влажности воздуха 60 %.

Образцы, которые в процессе испытания разрушались за пределами рабочей части (20 мм) или перед зажимами, в расчёт не принимали [28].

Расчёт предела прочности при растяжении проводили по результатам испытания не менее четырех образцов каждого состава. Предел прочности при растяжении R_p , МПа (Н/мм^2), для каждого образца вычисляли по формуле:

$$R_p = \frac{F_{pi}}{S_{oi}}, \quad (2.12)$$

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 ($E_{\text{упр}}$), МПа, вычисляли по формуле:

$$E_{\text{упр}} = \frac{R'_{\text{kogi}}}{\varepsilon'_i} \cdot 100, \quad (2.13)$$

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

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

Оценка прочности сцепления на срез растворного слоя на основе разрабатываемого состава. Определение сопротивления при сдвиге растворного слоя относительно подложки проводили с помощью прибора «Механизм срезной ГТ 2.2.3» производства ООО «НПП «Геотек» [81].

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.

Испытываемый образец помещается в каретку прибора 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, с помощью датчиков прибора фиксировали значения деформаций сдвига исследуемого состава относительно подложки.

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.

Минералогический состав алюмосиликатной добавки и образцов на основе разрабатываемого состава оценивали методом дифференциально-термического анализа с помощью установки «Термоскан-2». Дифференциально –термический анализ образцов проводили в интервале температур 20-1000 °С в атмосфере воздуха при скорости нагрева 10 °С/мин [109].

Оценку фазового состава исследуемых известковых образцов с применением алюмосиликатной добавки и самой добавки на основе алюмосиликатов проводили с применением рентгеновской рабочей станции ARL 9900 WorkStation. Рентгенограммы получены на излучении кобальтового анода. Рентгенометрическую диагностику минеральных фаз проводили на основании дифракционной базы банных PDF-2 с применением программы Crystallographica Search Matchv 2,0,2,0 (Oxford Cryosystems). Количественное определение концентраций кристаллических минеральных образований выполняли полнопрофильным рентгенофазовым анализом (РФА) с применением программы DDMv.1.95d [23].

2.4. Прочие методы исследований

Оценку морозостойкости отделочного покрытия на основе сухой смеси производили путем попеременного оттаивания и замораживания отделочного слоя, нанесенного на цементно-песчаное основание, после 28 суток воздушно-сухого твердения. После каждого цикла производили визуальный осмотр поверхности с целью обнаружения трещин, крошения, отслаивания материала по ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости [25]. Критерий отказа принимался согласно ГОСТ 6992-68.

Морозостойкость 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:

$$\Delta = \frac{R_{\text{контр}} - R_{\text{осн}}}{R_{\text{контр}}} \cdot 100, \quad (2.14)$$

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 исследуемого состава определялась по прочности сцепления с основанием после циклов замораживания-оттаивания образца по методу отрыва штампа по ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости [25], а также методом сдвига [81]. Цикл замораживания и размораживания проводили согласно методике, указанной в стандарте.

Определение кислотно-основных характеристик добавки на основе аморфных алюмосиликатов. В основе методики лежит адсорбция одноосновных индикаторов на поверхности твердых веществ из водной среды. Адсорбция индикатора в условиях анализа происходит как на центрах Бренстеда, так и на

центрах Льюиса, на которых по координационному механизму адсорбированы молекулы воды в соответствии с его значением константы диссоциации pK_a^x .

Количественное определение центров адсорбции ($q_{pK_a^x}$, мг-экв/г или мг-экв/м²) данной кислотной силы проводили фотометрическим методом.

Растворы фотометрировали в кюветах относительно растворителя на фотоэлектроколориметре КФК-3КМ при длине волны, соответствующей максимальному поглощению каждого индикатора (λ_{max}).

Изменение оптической плотности в результате процесса адсорбции индикатора (ΔD) на поверхности образца вычислялось по формуле:

$$\Delta D = \left\| D_0 - D_1 \right\| + \left\| D_0 - D_2 \right\|, \quad (2.15)$$

Содержание активных центров данной кислотной силы, эквивалентное количеству адсорбированного индикатора, рассчитывали по формуле:

$$q_{pK_a^x} = \frac{C_{ind} \cdot V_{ind}}{D_0} \cdot \left(\left\| \frac{D_0 - D_1}{a_1} \right\| \pm \left\| \frac{D_0 - D_2}{a_2} \right\| \right), \quad (2.16)$$

где C_{ind} – концентрация раствора индикатора, мг-моль/мл;

V_{ind} – объем раствора индикатора, взятого для анализа, мл;

D_0 – оптическая плотность индикатора до сорбции;

D_1 – оптическая плотность индикатора после сорбции;

D_2 – оптическая плотность “холостого” раствора.

Знак «минус» соответствует однонаправленному изменению D_1 и D_2 относительно D_0 , т.е. D_1 и $D_2 < D_0$ или D_1 и $D_2 > D_0$.

Знак «плюс» соответствует разнонаправленному изменению D_1 и D_2 относительно D_0 , т.е. $D_1 > D_0$, $D_2 < D_0$ или $D_1 < D_0$, $D_2 > D_0$.

Данная методика позволяет проводить количественное определение суммарной кислотности по Льюису и Бренстеду с дифференциацией реакционных центров по типу и силе в зависимости от pK_a^x применяемого индикатора.

Для фотометрирования готовили три серии растворов.

Серия 1 (рабочий раствор). В центрифужные пробирки емкостью 10 мл заливали нужные объемы индикаторов с определенным значением pK_a^x , разбавляли до метки водой, перемешивали и через 30 минут высыпали навески ($a \approx 0,04$ г) глины. После установления адсорбционного равновесия измеряли при длине волны (λ_{max}), соответствующей каждому индикатору, значение оптической плотности – D_1 . Перед измерением пробирки с материалом центрифугировали в течение 3-5 минут. В этом опыте учитывали взаимодействие материала с растворителем и процесс адсорбции.

Серия 2 («холостой опыт»). Навески образца ($a_2 \approx a_1$) помещали в сухие центрифужные пробирки 10 мл и заливали 6 мл воды. Через один час раствор декантировали в другую пробирку с предварительным центрифугированием, как описано выше. К раствору добавляли нужные объемы индикаторов, доводили до метки водой, суспензию перемешивали, выдерживали 30 минут и измеряли значение оптической плотности (D_2). В этом опыте исключался процесс сорбции индикатора.

Серия 3 (раствор индикатора). В пробирки емкостью 10 мл заливали нужные объемы индикаторов, разбавляли до метки водой, перемешивали и через 30 минут измеряли значение оптической плотности (D_0).

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

При проведении испытаний применяли следующие индикаторы: бриллиантовый зеленый ($pK_a = +1,5$), фуксин ($pK_a = +2,1$), метиловый оранжевый ($pK_a = +3,46$), брамфеноловый синий ($pK_a = +4,1$), бромкрезоловый пурпурный

($pK_a = +6,4$), бромтимоловый синий ($pK_a = +7,3$), тимоловый синий ($pK_a = +8,8$), нильский голубой ($pK_a = +10,5$) и этиленгликоль ($pK_a = +14,2$).

Кинетику тепловыделения при твердении известкового теста с применением добавки на основе алюмосиликатов определяли с помощью сосуда Дьюара. В сосуд погружали испытуемый раствор, закрывали герметично пробкой прибора, имеющей отверстие для термометра, и фиксировали изменение температуры с течением времени. За окончание испытания принимали время, когда температура раствора в течение 30 мин не изменялась.

Определяли количество свободной извести в известковых образцах с применением алюмосиликатной добавки для оценки процесса структурообразования. Содержание в образце свободного СаО определяли титрованием навески измельченного известкового образца соляной кислотой до тех пор, пока все свободные частицы СаО не были нейтрализованы кислотой. Для этого предварительно измельченную и просеянную через сито № 008 навеску массой 1 г помещали в коническую колбу объемом 250 мл, добавляли 150 мл дистиллированной воды, закрывали часовым стеклом и нагревали в течение пяти-семи минут, не доводя до кипения. После остывания добавляли 15 капель однопроцентного спиртового раствора фенолфталеина и титровали 1 Н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого. Титрование проводили медленно, с добавлением кислоты по каплям. Эксперимент заканчивался, когда при периодическом перемешивании в течение 10 мин раствор оставался бесцветным. Количество свободной извести определяли по формуле:

$$A_{\text{изв}} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot 2,804 \cdot K}{m} \cdot 100, \quad (2.17)$$

где $A_{\text{изв}}$ – содержание активного СаО, %;

V_{HCl} – количество 1 Н раствора соляной кислоты, израсходованного на титрование, мл;

2,804 – количество СаО, соответствующее 1 мл 1 Н раствора соляной кислоты, умноженное на 100;

K – поправка к титру 1 Н раствора соляной кислоты;

m – навеска измельченного образца покрытия, г.

2.5 Статистическая обработка результатов испытаний

Для оценки достоверности полученных экспериментальных данных проводили их статистическую обработку [32].

Для оценки точности измерений определяли абсолютную и относительную погрешности Δx_i и ε по формулам:

$$\Delta x_i = x - x_i, \quad (2.18)$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%. \quad (2.19)$$

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:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.20)$$

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

n – общее число наблюдений.

Среднеквадратическое отклонение измерений прочности при сжатии образцов определяли по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (2.21)$$

где X_i - среднее арифметическое значение прочности при сжатии i -го испытания.

Коэффициент вариации рассчитывали по формуле

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.22)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

При нормальном законе распределения с учетом заданного коэффициента надежности α и вероятности P значения доверительных интервалов покрывающих параметр α могут быть рассчитаны по формуле:

$$P\left(\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi = \alpha, \quad (2.23)$$

где n – объем выборки;

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

При этом точность оценки составляет:

$$\delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.24)$$

Для доказательства того, что распределение является нормальным, применяли критерий Пирсона, определяемый по формуле:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \right], \quad (2.25)$$

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, заключающаяся в добавлении микродисперсных порошков алюминия в натриевое жидкое стекло при температуре 60-90 °С в течение 30-120 минут [83].

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.

В качестве критерия оптимального режима синтеза добавки принимался показатель прочности при сжатии и пористости известкового композита, так как добавка в последующем предназначалась для использования в известковых составах, предназначенных для создания теплоизоляционных покрытий.

Зависимость прочности известкового композита с добавкой, синтезируемой по различным режимам, представлена в таблице 3.1. Использовалась известь первого сорта с активностью 84,4 %, водоизвестковое отношение равно В/И=1.

Установлено, что максимальная прочность при сжатии известковых образцов с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов, составляющая $R_{сж} = 2,5$ МПа и $R_{сж} = 2,71$ МПа, наблюдается при использовании 1 и 2 составов, соответственно. Оптимальный процент содержания добавки составляет 5-10 %.

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.

Изучали влияние модуля жидкого натриевого стекла, используемого при синтезе добавки, на предел прочности при сжатии известковых образцов (таблица 3.2)

Увеличение модуля жидкого стекла приводит к повышению прочности при сжатии известковых образцов (таблица 3.2). Так, при применении при синтезе добавки жидкого натриевого стекла с модулем $M=2,9$ прочность при сжатии известковых образцов составляет $R_{сж}=2,17$ МПа, а при применении жидкого натриевого стекла с модулем $M=2,8$ и $M=2,7$, соответственно, $R_{сж}=2,08$ МПа и $R_{сж}=1,98$ МПа. Количество добавки составляло 5 %.

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 1ч	2,13±0,096	750	71,87	52,7	18,1
Состав 1. Температура 60 °С, время термообработки 2ч	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 1ч	2,16±0,112	794	68,6	54,9	13,5
Состав 2. Температура 60 °С, время термообработки 2ч	2,36±0,091	822	67,65	56,01	11,8
Состав 2. Температура 80 °С, время термообработки 1ч	2,01±0,06	840	67,72	54,2	13,5
Состав 2. Температура 80 °С, время термообработки 2ч	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. Дальнейшее увеличение температуры и времени термообработки добавки приводит к некоторому повышению плотности известковых образцов.

Так, повышение температуры синтеза до 80 °С приводит к незначительному увеличению 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, видимо, обусловлено химическим взаимодействием извести с алюмосиликатами.

Для оптимизации режима синтеза добавки на основе аморфных алюмосиликатов в работе был спланирован полный двухфакторный эксперимент с квадратичной моделью [32]. Параметром оптимизации был выбран предел прочности при сжатии 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 представлены условия изменения переменных.

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. Выбранная модель адекватно описывает исследуемую систему, так как табличное значение критерия Фишера, равное 3,5, оказалось больше расчетного значения 3,47. Однородность дисперсий оценивалась по критерию Кохрена. Расчетное значение критерия, равное 0,25, меньше табличного значения 0,63.

Графическая интерпретация полученной модели представлена на рисунке 3.1. С помощью полученной квадратичной модели (3.1) была рассчитана прочность при сжатии известковых образцов с добавкой, приготовленной с разным временем синтеза и соотношением твердая:жидкая фаза Т:Ж (таблица 3.7).

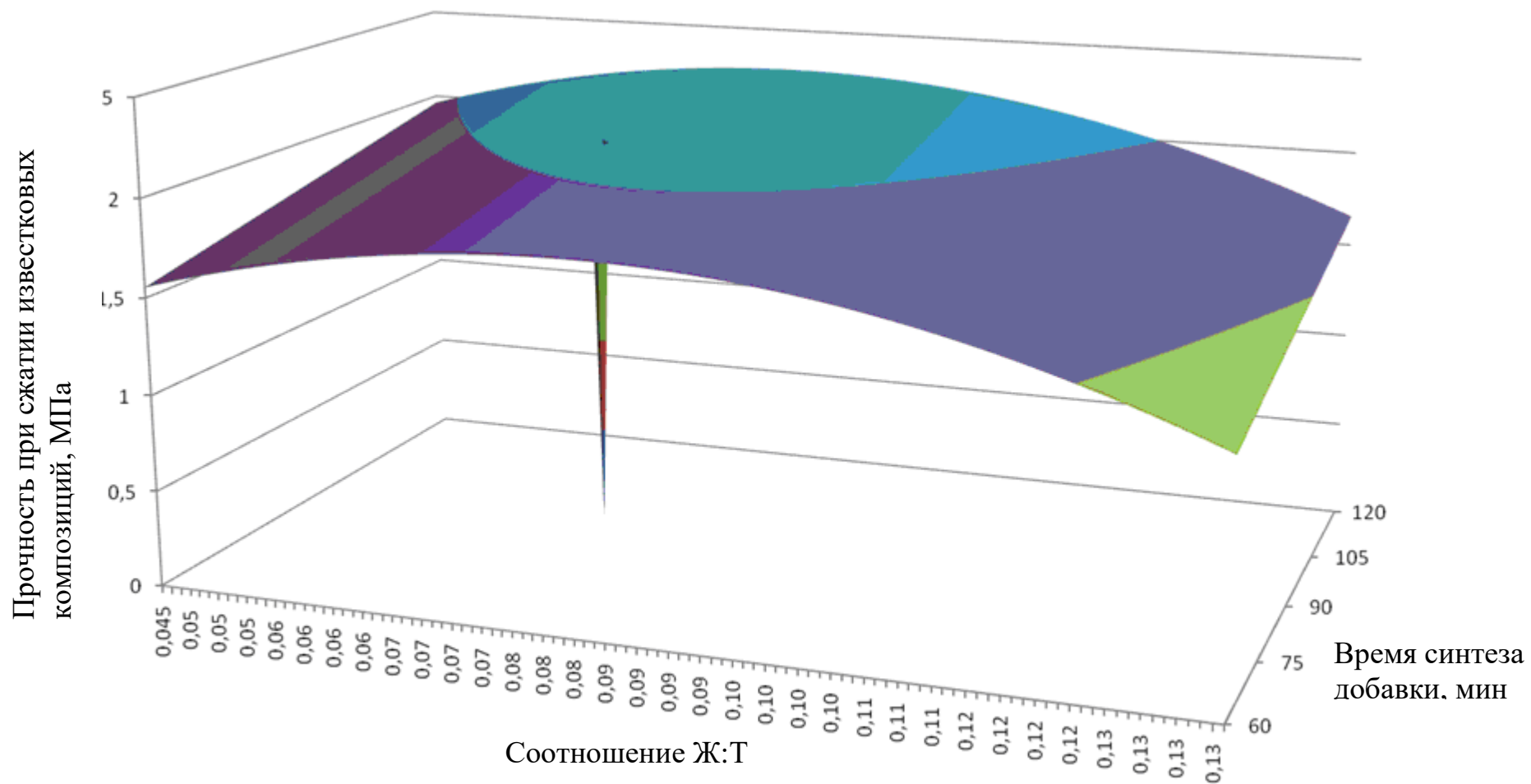


Рисунок 3.1 – Зависимость прочности при сжатии известкового композита от технологических факторов синтеза добавки

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

В немецком стандарте DIN EN 998-1-2010 отмечено, что долговечность и сопротивление внешним воздействиям обеспечиваются, когда штукатурный раствор имеет прочность при сжатии в диапазоне значений от 2 до 5 МПа. Растворы с такими прочностными характеристиками способны приспосабливаться к малым деформациям и противостоять трещинообразованию.

При анализе полученной квадратичной модели были найдены точки экстремума. Исходя из данных математической модели и ранее полученных данных о пористости образцов на основе алюмосиликатной добавки и учитывая требования DIN EN 998-1, был выбран оптимальный режим синтеза, заключающийся в добавлении микродисперсных порошков алюминия в натриевое жидкое стекло при температуре 60 °С в течение 90 мин. Оптимальное 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 %.

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.

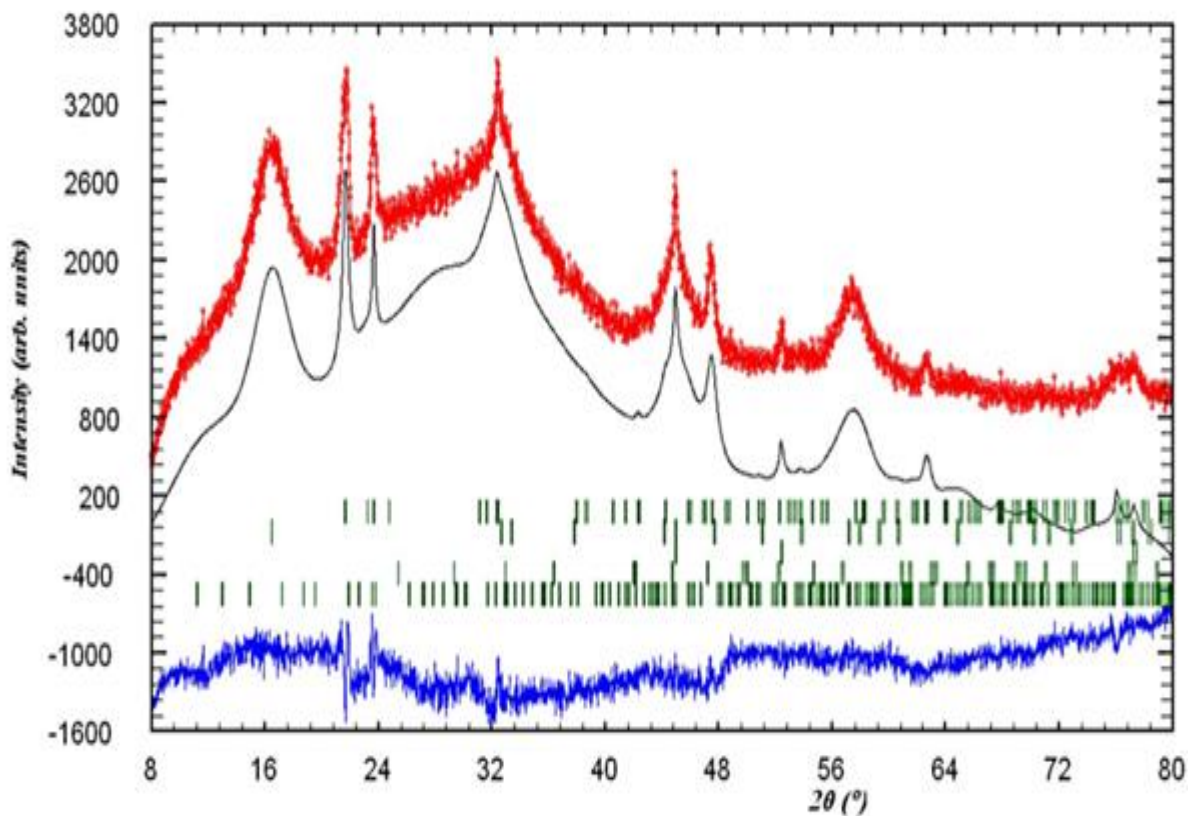


Рисунок 3.2 – Полнопрофильный расчет рентгенограммы образца алюмосиликатов

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) ($d=5,51$; $d=3,77$; $d=2,76$; $d=1,74$).

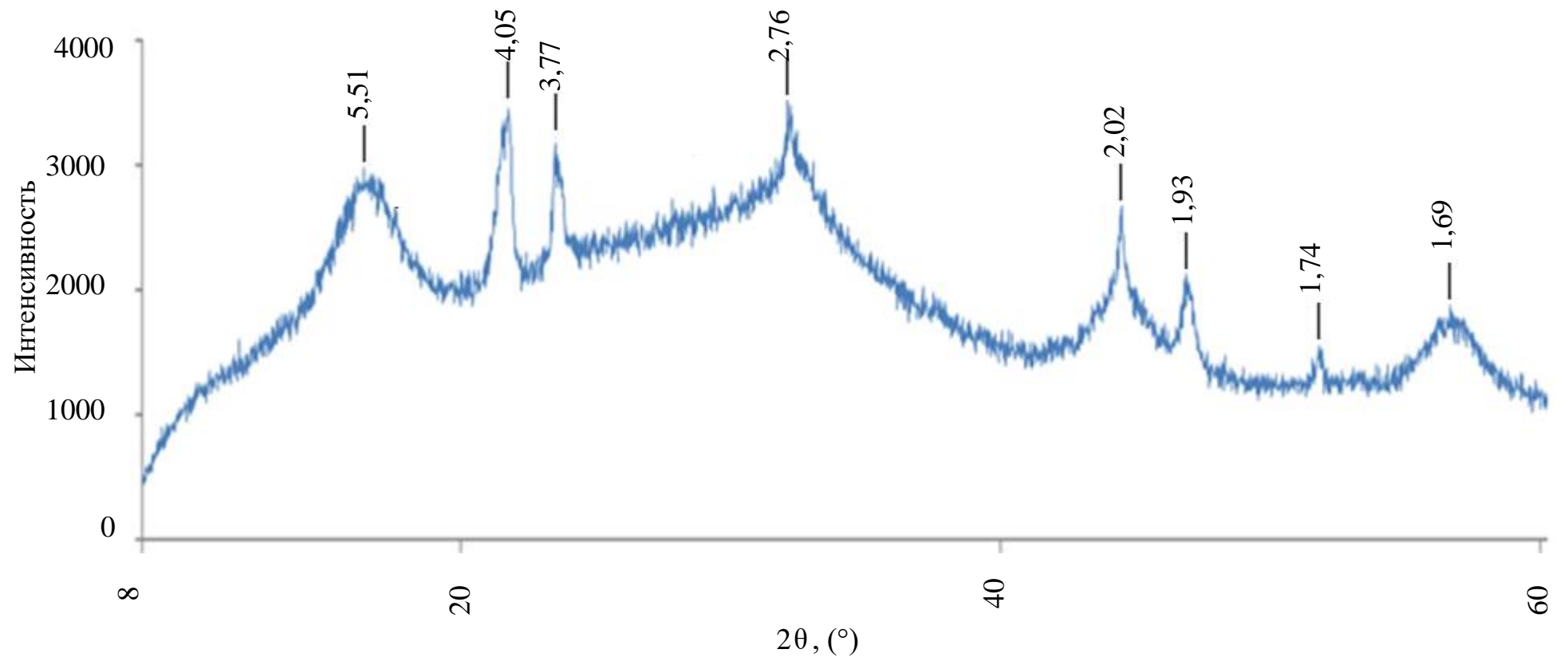


Рисунок 3.3 – Рентгенограмма образца алюмосиликатов $2\theta^\circ$ (8-60)

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

С помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3 было установлено, что структура синтезируемой добавки представлена образованиями разной формы пластинчатой и игольчатой размером от 0,11 до 10,49 мкм (рисунок 3.4)

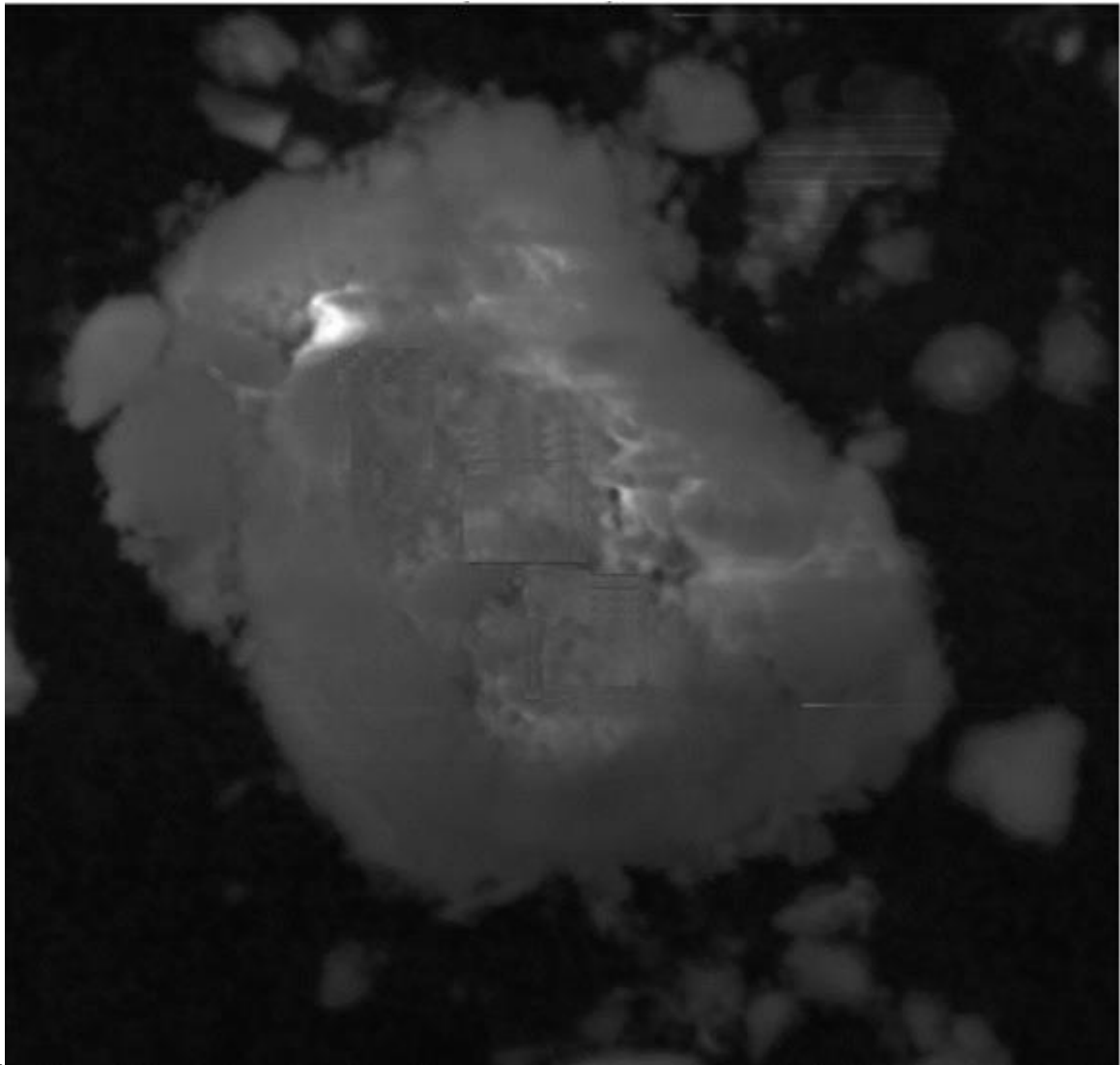


Рисунок 3.4 – Электронно-микроскопический снимок добавки

При оценке свойств добавки был проведен анализ гранулометрического состава с помощью Fritsch particlesizer Analysette 22. 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 % (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

3.3 Оценка энергетических свойств поверхности добавки

Большинство процессов, протекающих при взаимодействии синтезируемой добавки с вяжущим, носят локальный характер и во многом определяются энергетическими параметрами конкретных активных центров [72, 73].

В связи с этим особую важность приобретает исследование спектра распределения центров адсорбции по кислотно-основному типу. В основу современных теорий кислот и оснований положены представления Бренстеда и Льюиса.

Для выявления распределения и концентрации кислотно-основных центров (активных центров) на поверхности частиц добавки использовался индикаторный метод адсорбции индикаторов с различными значениями константы диссоциации pK_a^x .

Количественное определение центров адсорбции ($Q_{pK_a^x}$, мг-экв/г или мг-экв/м²) данной кислотной силы проводили фотометрическим методом. Данная методика позволяет проводить количественное определение

суммарной кислотности по Льюису и Бренстеду с дифференциацией реакционных центров по типу и силе в зависимости от pK_a^x применяемого индикатора.

Адсорбция индикатора в условиях анализа происходит как на центрах Бренстеда, так и на центрах Льюиса в соответствии с его значением pK_a^x .

Исследования производились в области бренстедовских кислотных (pK_a от 0 до 7) и основных (pK_a от 7 до 13) центров, и льюисовских кислотных ($pK_a > 13$) центров. Значению $pK_a = +7$ соответствуют центры нейтрального характера. Увеличение значений pK_a характеризует повышение донорных свойств атомов металлов, уменьшение – акцепторных.

На основании полученных данных строили кривую распределения кислотно-основных центров на поверхности добавки на основе аморфных алюмосиликатов в координатах $q_{pK_a^x} = f(pK_a^x)$ (рисунок 3.5).

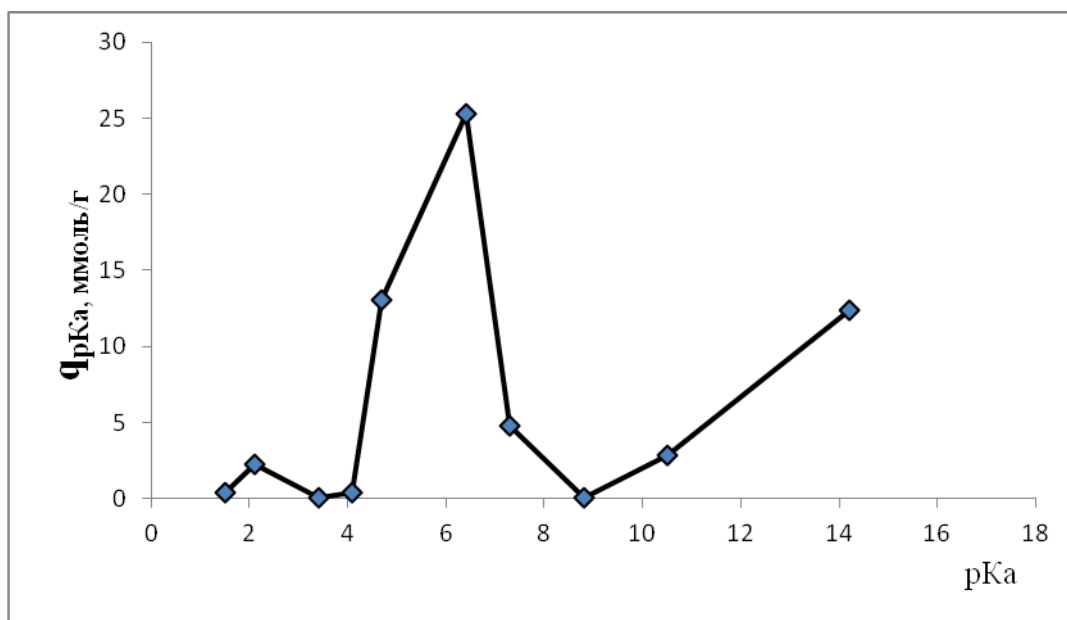


Рисунок 3.5 – Кривая распределения кислотно-основных центров на поверхности частиц добавки

Установлено, что кислотно-основный центр поверхности образца добавки характеризуется преобладанием центров $pK_a = +4.7$, $pK_a = +6.4$.

Суммарное количество кислотных центров $\sum q_{pK_a} = 53,72$ ммоль/г и основных центров $\sum q_{pK_a} = 7,70$ 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 SiO₂ на атомы трехвалентного Al. При этом алюминий стремится взаимодействовать 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 в соотношении 1:8:14.

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 образца добавки 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.

Глава 4 СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ АМОΡФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

4.1 Закономерности структурообразования известковых составов с применением добавки на основе алюмосиликатов

Для изучения структурообразования известковых композитов изготавливали образцы на основе извести-пушонки 1 сорта с активностью 84,4 %. Содержание алюмосиликатной добавки составляло 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
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

Примечание.* Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

Анализ данных свидетельствует, что максимальная прочность известковых образцов, достигается при введении алюмосиликатной добавки 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.

Однако, спустя 28 суток твердения, у композитов, приготовленных на основе составов с большим содержанием алюмосиликатной добавки (20-30 % от массы извести) наблюдается снижение прочности

Повышение прочности известковых композитов при введении добавки на основе аморфных алюмосиликатов обусловлено наличием дополнительных химических образований. Для подтверждения этого был проведен количественный полнопрофильный РФА (рисунок 4.1) [23].

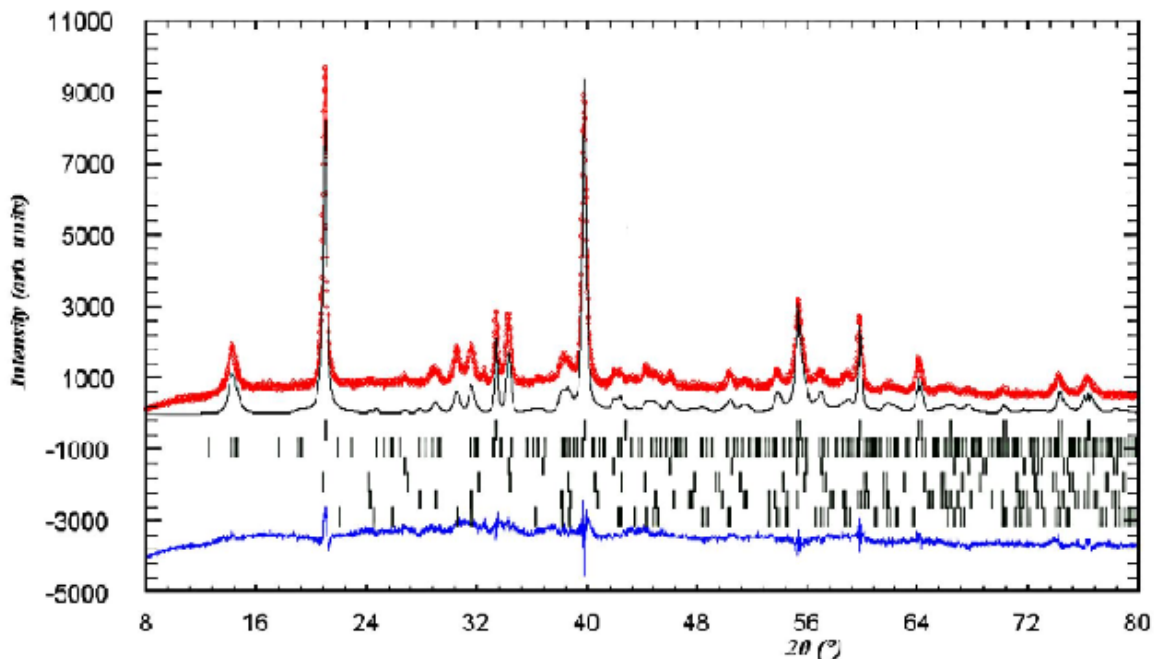


Рисунок 4.1 – Полнопрофильный расчет рентгенограммы известкового образца на основе разрабатываемого состава с применением алюмосиликатной добавки

Результаты полнопрофильного расчета рентгенограммы известкового образца приведены на рисунке 4.2.

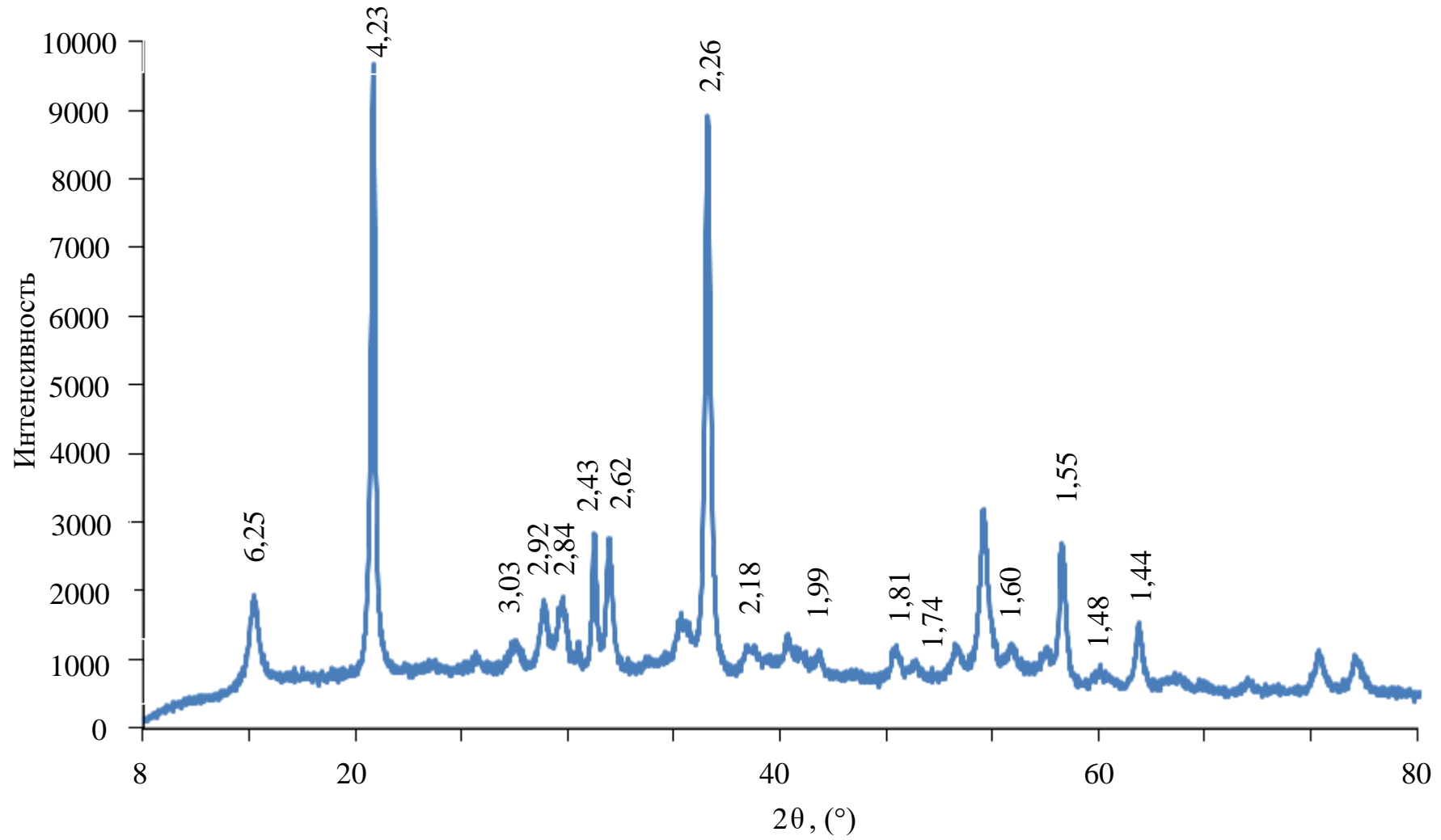


Рисунок 4.2 – Рентгенограмма известкового образца на основе разрабатываемого состава с применением алюмосиликатной добавки

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

Для подтверждения полученных результатов был дополнительно проведен дифференциально-термический анализ (ДТА) с помощью установки «Термоскан-2».

При ДТА известкового композита с алюмосиликатной добавкой установлено, что тепловой эффект при температуре 80-130 °С, составляющий 1,227 Дж, связан с удалением свободной воды (рисунок 4.3, кривая 2). Эндотермический эффект при температуре 150-210 °С обусловлен ступенчатой дегидратацией гидроалюмината кальция. Тепловой эффект составляет 2,17 Дж. Интенсивный эндоэффект в интервале 479-550 °С, составляющий 13,77 Дж, связан с дегидратацией портландита. Тепловой эффект при температуре 800-1000 °С, составляющий 16,82 Дж, характеризует диссоциацию кальцита, потеря массы образца составляет 9,93 % [23, 109].

Анализ термограмм известкового композита с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов и контрольных образцов (без добавки) свидетельствует, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита, в контрольных образцах больше и составляет 25,63 Дж, что, видимо, обусловлено большим содержанием портландита (рисунок 4.3, кривая 1). Это подтверждают данные о количестве химически несвязанной извести. Установлено, что в контрольных образцах в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения количество свободной извести составляет 47,67 %, а в образцах с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов – 31,41 %.

Установлено, что введение алюмосиликатной добавки в известковую систему приводит к незначительному снижению рН жидкой фазы. Так, спустя полтора часа с момента затворения рН контрольных составов (без добавки) составляет 13,43, а с содержанием добавки 10 % – рН=13,31.

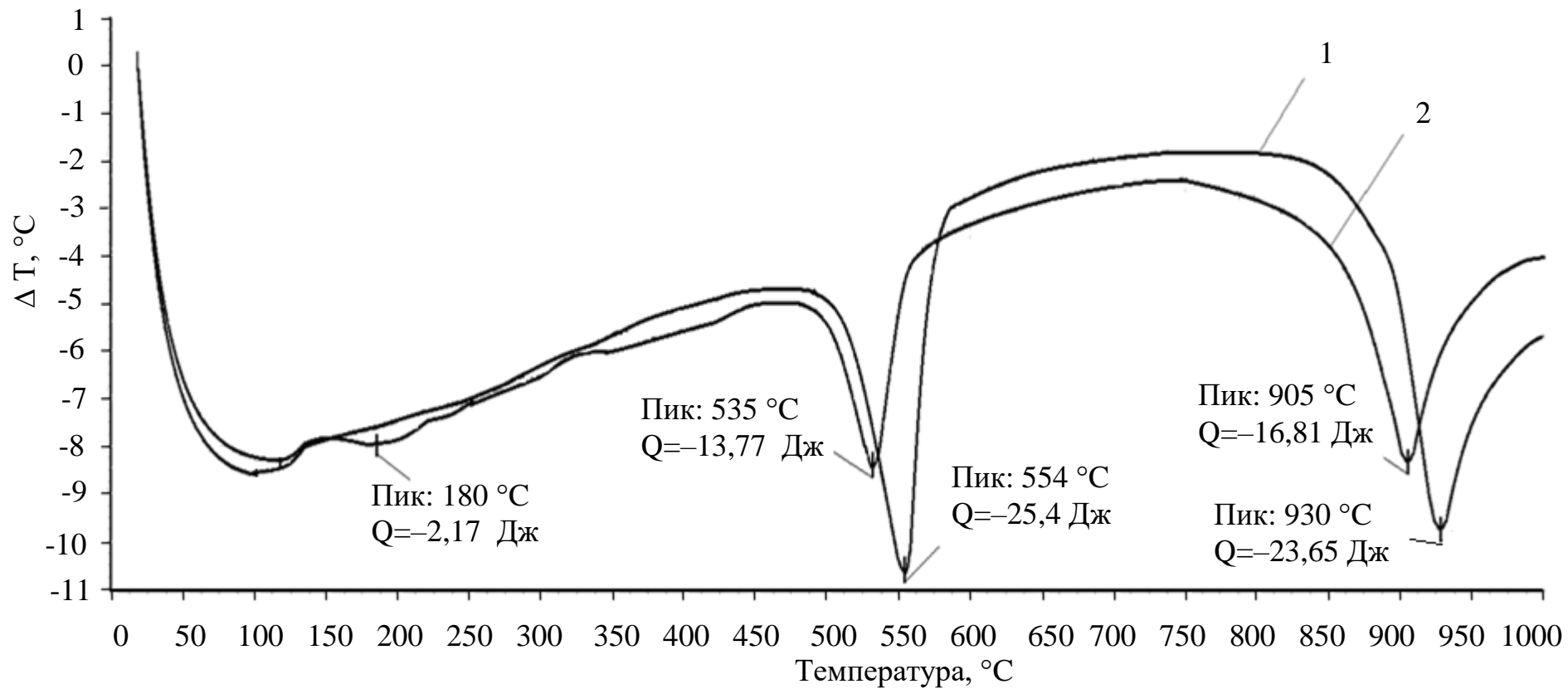


Рисунок 4.3 – Термограмма образцов:

1 – контрольный образец; 2 – образец с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

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

Введение с известковую систему одновременно добавки на основе аморфных алюмосиликатов и 5 % микрокремнезема от массы извести не изменяет значения рН жидкой фазы, составляющего спустя полтора часа рН=13,31

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.

Кроме того, использование введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов способствует повышению теплоты структурообразования известкового композита (рисунок 4.4).

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

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 в количестве 10 % от массы извести максимальная температура структурообразования составляет 24 °С и достигается спустя 60 мин.

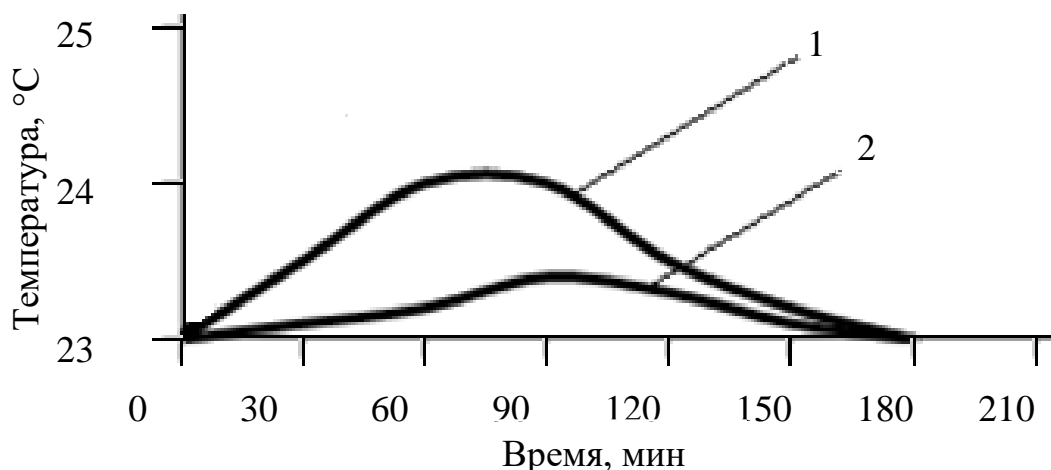


Рисунок 4.4 – Изменения температуры в процессе структурообразования известковой системы: 1 – известковый состав с содержанием добавки в количестве 10 %; 2 – контрольный состав

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

Добавку на основе аморфных алюмосиликатов 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.

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.

При использовании в рецептуре известкового композита одновременно добавки на основе аморфных алюмосиликатов и диатомита наблюдается повышение прочности при сжатии, составляющее в зависимости от содержания добавки 90-170% (таблица 4.4).

Кинетика набора прочности известковых образцов с использованием перлитового песка марки М150 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
Контрольный состав (без перлитового песка)	2,71±0,096*
5	2,72±0,072
15	2,81±0,102
30	2,88±0,119

Примечание.* Значения прочности указаны с учетом доверительного интервала

Анализ данных, представленных в таблице 4.5, свидетельствует, что максимальная прочность известково-перлитовых образцов, составляющая 2,88 МПа, достигается при содержании перлитового песка в смеси, равном 30 %.

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.

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

В возрасте трех суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии известкового композита на основе состава с содержанием 10 % алюмосиликатной добавки составляет $R_{сж}=(1,1±0,049)$ МПа, а на основе контрольного состава –

$R_{сж}=(0,33\pm 0,012)$ МПа. С увеличением возраста твердения прочность увеличивается до $R_{сж}=(2,81\pm 0,114)$ МПа.

Таблица 4.6 – Прочность при сжатии известкового композита с применением перлитового песка в количестве 15 % от массы извести

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
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.* Значение прочности указаны с учетом доверительного интервала

4.3 Влияние добавки на основе аморфных алюмосиликатов 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.

Анализ данных свидетельствует, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов оказывает структурирующее действие 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.

Таблица 4.7 – Зависимость напряжения сдвига известкового теста от содержания добавки на основе аморфных алюмосиликатов

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

Установлено, что введение алюмосиликатной добавки в известковую смесь приводит к более быстрому набору пластической прочности (рисунок 4.5).

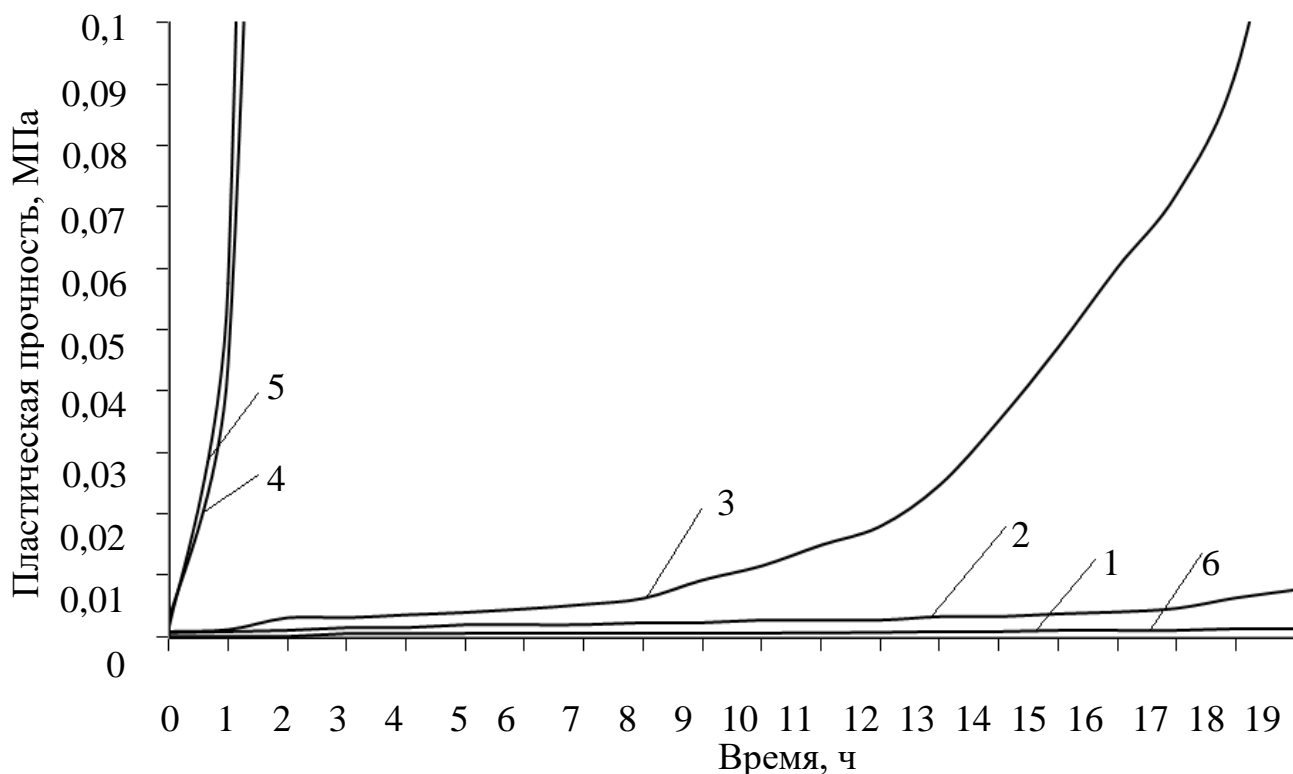


Рисунок 4.5 – Изменение пластической прочности известкового теста с применением алюмосиликатной добавки: 1 – содержание добавки 1 % от массы извести; 2 – содержание добавки 5 % от массы извести; 3 – содержание добавки 10 % от массы извести; 4 – содержание добавки 20 % от массы извести; 5 – содержание 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 % добавки 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 3180, Melflux 1641F в количестве 0,6-1 % от массы извести.

В качестве наполнителей использовали перлитовый песок и диатомит. Результаты исследований приведены на рисунке 4.6 и рисунке 4.7.

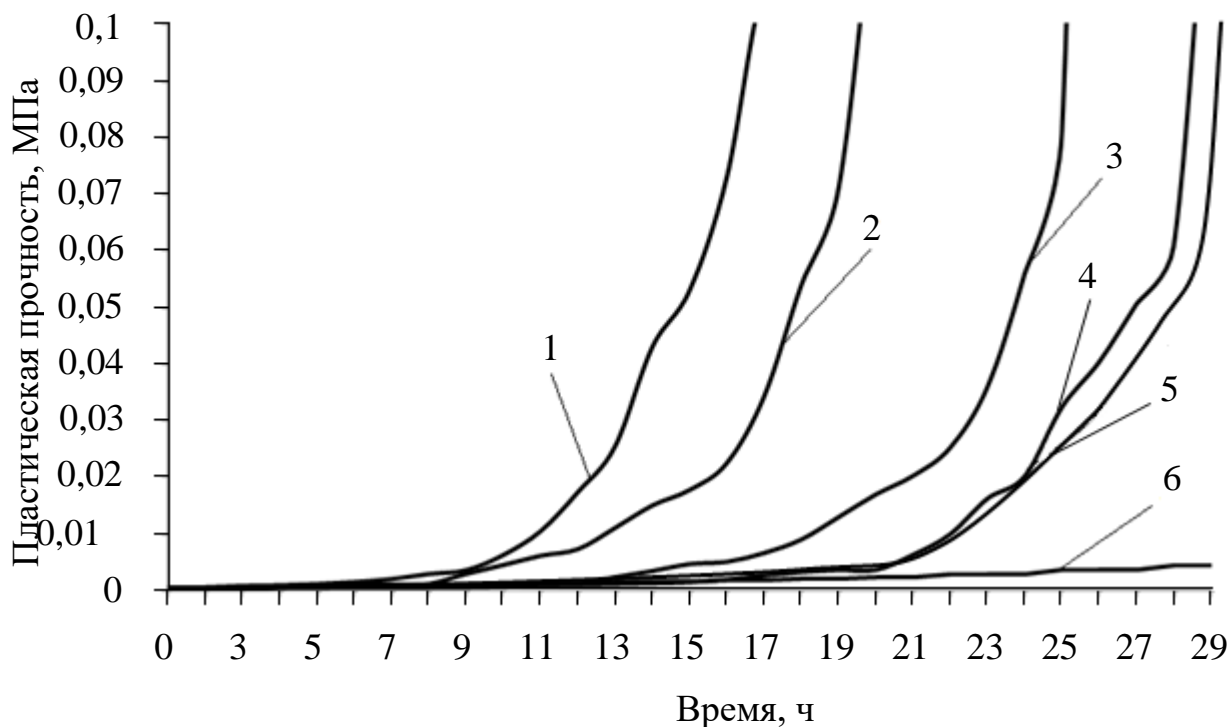


Рисунок 4.6 – Кинетика пластической прочности смеси с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов: 1 – смесь на основе известково-диатомитового состава с применением добавки; 2 – смесь на основе известково-диатомитового состава с применением добавки и пластификатора Sika ViscoCrete-3180 3180; 3 – смесь на основе известково-диатомитового состава с применением добавки и пластификатора С-3; 4 – смесь на основе известково-диатомитового состава с применением добавки и пластификатора Кратасол-ПФМ; 5 – смесь на основе известково-диатомитового состава с применением добавки и пластификатора Melflux 1641F; 6 – смесь на основе известки с добавлением диатомита в соотношении 1:3 (без добавки)

Установлено, что применение добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к увеличению набора пластической прочности (рисунок 4.6, кривая 1, рисунок 4.7, кривая 1). Так, пластическая прочность

контрольного состава в возрасте пяти часов твердения составляет $\tau = 0,00089$ МПа (рисунок 4.6 кривая 6), а с применением добавки – $\tau = 0,0020$ МПа (рисунок 4.6 кривая 1).

Анализ пластограмм (рисунок 4.6) свидетельствует, что применение пластифицирующих добавок приводит к замедленному структурообразованию. Так, в возрасте пять часов с момента затворения пластическая прочность состава с добавкой Кратасол-ПФМ в количестве 1 % от массы извести составляет $\tau = 0,000504$ МПа (рисунок 4.6, кривая 4), а при добавлении Sika ViscoCrete-3180 3180 в количестве 1 % от массы извести – $\tau = 0,001$ МПа (рисунок 4.6, кривая 2). Пластическая прочность состава с добавкой С-3 в количестве 1 % от массы извести составляет $\tau = 0,000504$ МПа (рисунок 4.6, кривая 3). Пластическая прочность состава с добавкой Melflux 1641F в количестве 0,6 % от массы извести составляет $\tau = 0,000325$ МПа (рисунок 4.7, кривая 5). Анализ данных свидетельствует, что введение в смесь добавки на основе поликарбоксилатов (Sika ViscoCrete-3180 3180, Melflux 1641F) вызывает больший пластифицирующий эффект по сравнению с добавками на основе лигносульфонатанафталина (С-3) и полиметиленафталинсульфонатов натрия (Кратасол-ПФМ). Так, начальная пластическая прочность смеси с добавкой Sika ViscoCrete-3180 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 3180 характеризуются более быстрым набором пластической прочности.

Аналогичные закономерности наблюдали и у известково-перлитовых составов. Анализ их пластограмм свидетельствует, что составы с использованием перлитового песка характеризуются более быстрым набором пластической прочности по сравнению с известково-диатомитовыми. Так, пластическая прочность контрольного состава в возрасте 5 ч твердения составляет $\tau = 0,0011$ МПа (рисунок 4.7. кривая 6), а с применением алюмосиликатной добавки – $\tau = 0,0118$ МПа (рисунок 4.7, кривая 1).

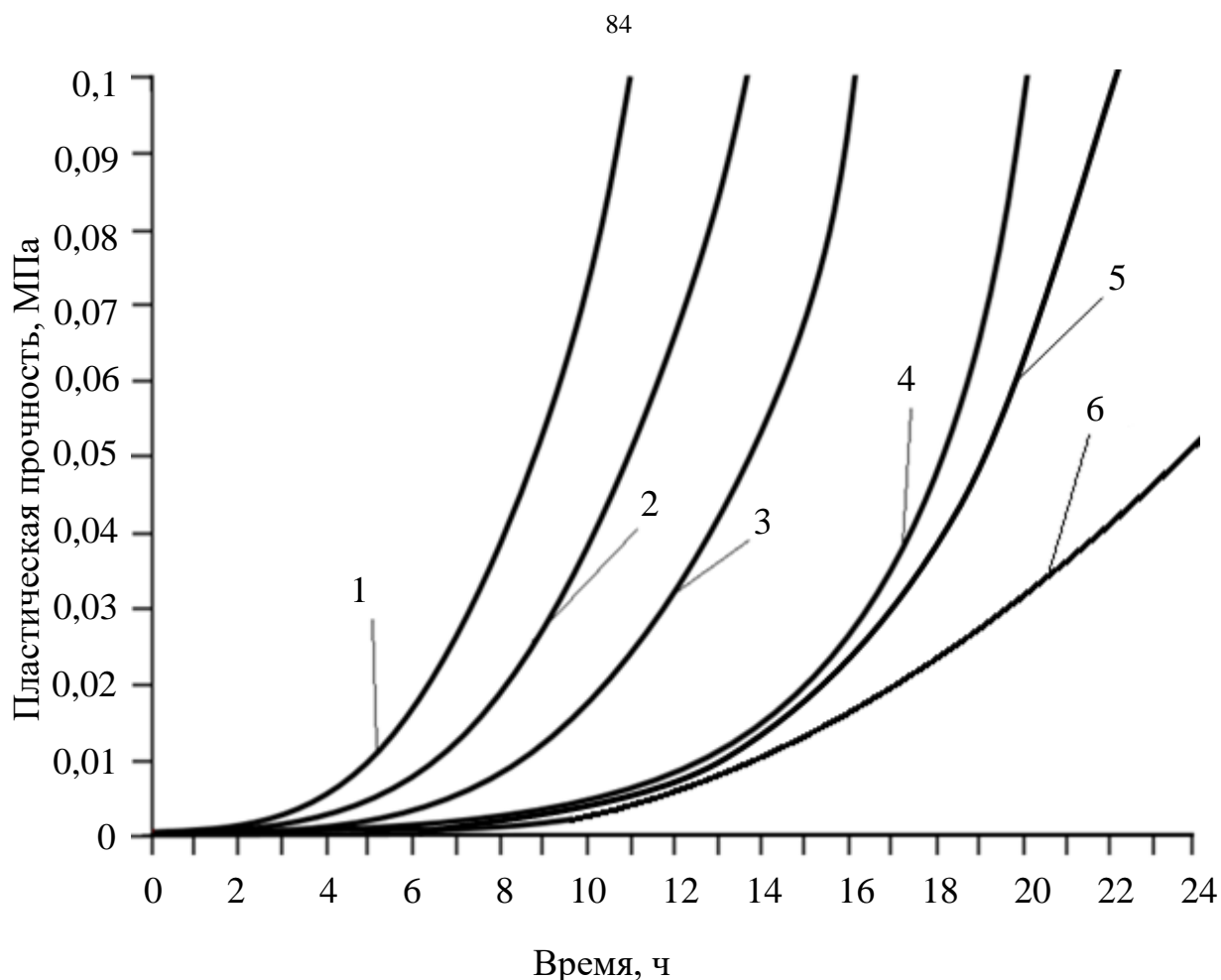


Рисунок 4.7 – Кинетика пластической прочности смеси с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов: 1 – смесь на основе известково-перлитового состава с применением добавки; 2 – смесь на основе известково-перлитового состава с применением добавки и пластификатора Sika 3180; 3 – смесь на основе известково-перлитового состава с применением добавки и пластификатора С-3; 4 – смесь на основе известково-перлитового состава с применением добавки и пластификатора Кратасол-ПФМ; 5 – смесь на основе известково-перлитового состава с применением добавки и пластификатора Melflux 1641F; 6 – смесь на основе извести с добавлением перлита (без добавки)

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 4.7, кривая 4), а при добавлении Sika ViscoCrete-3180 3180 в количестве 1 % от массы извести – $\tau = 0,005$ МПа (рисунок 4.7, кривая 2). Пластическая прочность состава с добавкой С-3 в количестве 1 % от массы

известни составляет $\tau=0,00214$ МПа (рисунок 4.7, кривая 3). Пластическая прочность состава с добавкой Melflux 1641F в количестве 0,6 % от массы известни составляет $\tau=0,00306$ МПа (рисунок 4.7, кривая 5). Таким образом, на основе результатов анализа влияния пластификатора на пластическую прочность составов, выявлено, что добавка Melflux 1641F оказывает наилучший пластифицирующий эффект, в сравнении с остальными пластификаторами.

Одним из критериев выбора пластифицирующих добавок является их водоредуцирующий эффект. При оценке водоредуцирующего эффекта концентрация пластификаторов составляла 0,6-1 % от массы известни. Результаты проведенных экспериментов показали, что добавка Melflux 1641F обладает наиболее высоким значением водоредуцирующего коэффициента, составляющим 1,57, в то время как у добавок Кратасол-ПФМ и С-3 он составил лишь 1,42 и 1,38, соответственно. Значения водоредуцирующего эффекта, равного 1,5, с добавками Кратасол-ПФМ и С-3 при концентрации пластификаторов менее 1 % от массы известни, достигнуть не удалось. С добавкой Sika 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 приведено в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Значения водоредуцирующего эффекта добавок

Наименование пластификатора	Содержание добавки, % от массы вяжущего	Состав вяжущего	
		Известь-пушонка	Известь-пушонка+доб
Кратасол-ПФМ	1	1,33	1,42
С-3	1	1,31	1,38
Sika 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 редиспергируемые порошки (таблица 4.9).

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, 0,6 % пластификатора Melflux 1641F и 5 % Mowilith PulverDM 1142P	3,75±0,121

Примечание. * Значение прочности указаны с учетом доверительного интервала

Для оценки эффективности применения различных редиспергируемых порошков измерялась прочность при сжатии известковых композитов после 28

суток твердения в воздушно-сухих условиях при температуре 18-20 °С. Анализ данных, приведенных в таблице 4.9, свидетельствует, что введение ретиспергируемых порошков позволило повысить прочность известковых композитов. Наибольшую прочность после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях, составляющую $R_{сж}=(4,75\pm 0,149)$ МПа, показал композит с добавкой VINNAPAS 8031H при содержании добавки в количестве 5 % от массы извести.

Введение в рецептуру смеси ретиспергируемого порошка вызывает ускорение структурообразования (рисунок 4.8). Уже в возрасте пять часов момента затворения пластическая прочность состава с добавлением VINNAPAS 5044N составляет $\tau = 0,0022$ МПа (рисунок 4.8, кривая 1), а при добавлении Neolith P4400 – $\tau = 0,0012$ МПа (рисунок 4.8, кривая 2).

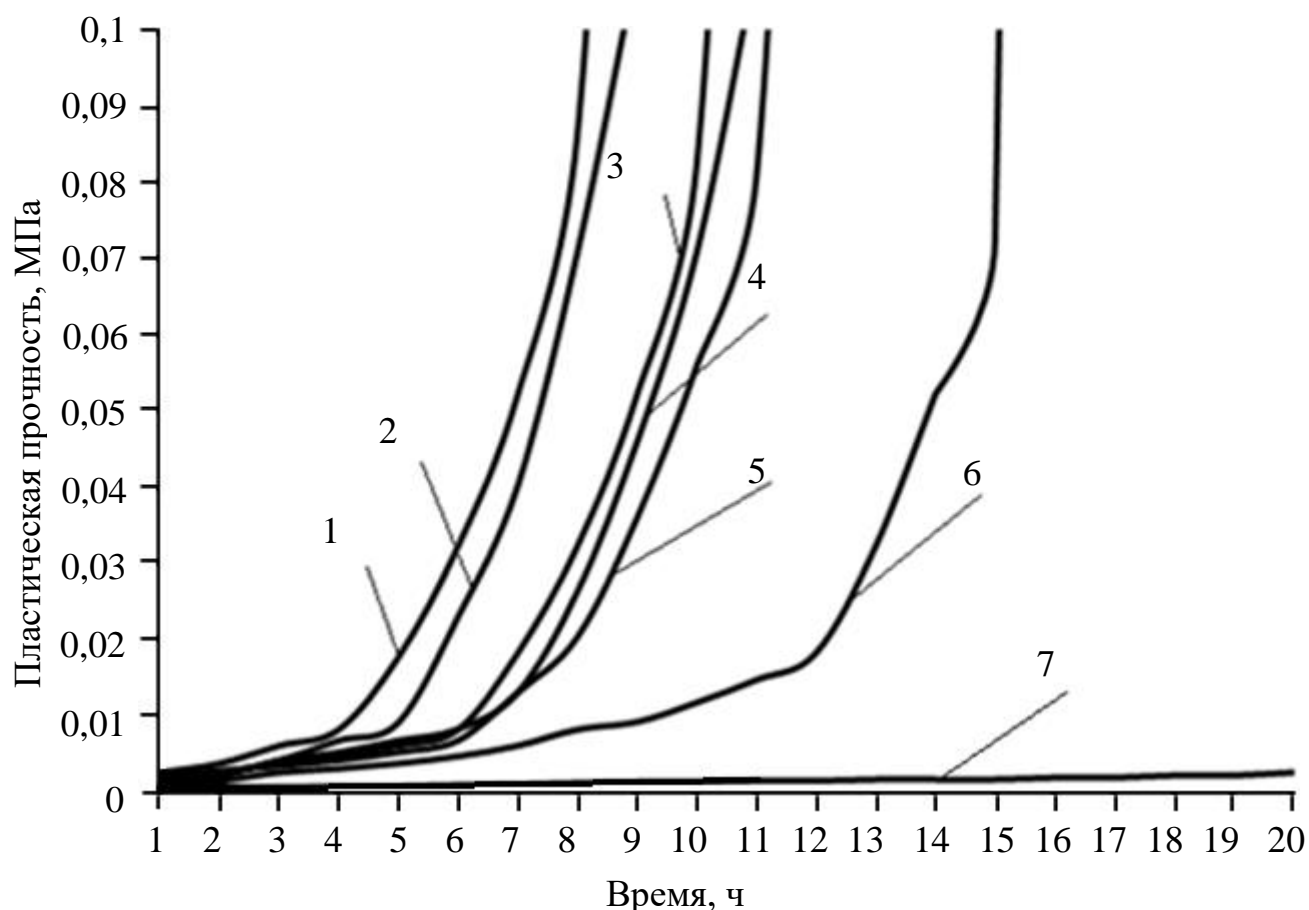


Рисунок 4.8 – Кинетика пластической прочности смеси: 1 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами с добавлением VINNAPAS 5044N; 2 – смесь на основе извести с аморфными алюмосиликатами (первый состав) с

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)

Важной характеристикой отделочных составов является водоудерживающая способность, позволяющая сохранить подвижность смеси. Оценка водоудерживающей способности известковых смесей с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов приведена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Влияние модифицирующих добавок на водоудерживающую способность известковых смесей с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов

Состав	В/И	Водоудерживающая способность, %
1	2	3
Известь + алюмосиликатная добавка (10 %)	1	94,5
Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031H (5 %) + Белый цемент (5 %)	1	94,8
Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031H (5 %) + Белый цемент (5 %) + Melflux 1641F (0,6 %)	1	98,3

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3
Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %)+ Белый цемент (5 %) + Кратасол- ПФМ (1 %)	1	95,3
Известь + алюмосиликатная добавка (10 %) + перлитовый песок (30 %) + VINNAPAS 8031N (5 %)+ Белый цемент (5 %) + Кратасол- ПФМ (1 %) + Mecellose FMC 2094 (0,3 %)	1	96,2
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 введении добавки VINNAPAS 8031N наблюдается некоторое повышение водоудерживающей способности до 94,8 %. Совместное введение добавок VINNAPAS 8031N и Melflux 1641F приводит к повышению водоудерживающей способности, составляющей 98,3 %. Совместное введение добавок Mecellose FMC 2094 и Melflux 1641F приводит к повышению водоудерживающей способности, составляющей 99,2 %.

Установлено что жизнеспособность состава с добавкой на основе синтетического цеолита составляет 80 минут. Время высыхания определяли в соответствии с методикой. Установлено, что время высыхания до степени 3 составляет 15 минут, а до степени 7 – 35 минут.

Выводы по главе 4

1. Установлены закономерности твердения известковых растворов с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов. 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 добавки на основе аморфных алюмосиликатов 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 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 редиспергируемого 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 Трещиностойкость покрытий на основе разрабатываемого состава

Одним из важных показателей долговечности отделочных составов является трещиностойкость покрытий. 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:

$$\varepsilon_{\text{деф}} < \varepsilon_{\text{пред}}. \quad (5.1)$$

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

$$\sigma = R_{\text{ког}}. \quad (5.2)$$

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 5.1 представлен график изменения усадочных деформаций покрытия на основе состава: известь-пушонка, перлитовый песок 15 %, добавка на основе алюмосиликатов 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 1:3 к извести.

Анализ данных (рисунок 5.1) 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. Так, значение усадочных деформаций образцов с применением алюмосиликатной добавки после 14 суток воздушного твердения составило $\varepsilon = 2,1$ мм/м, а спустя 98 суток значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 2,4$ мм/м.

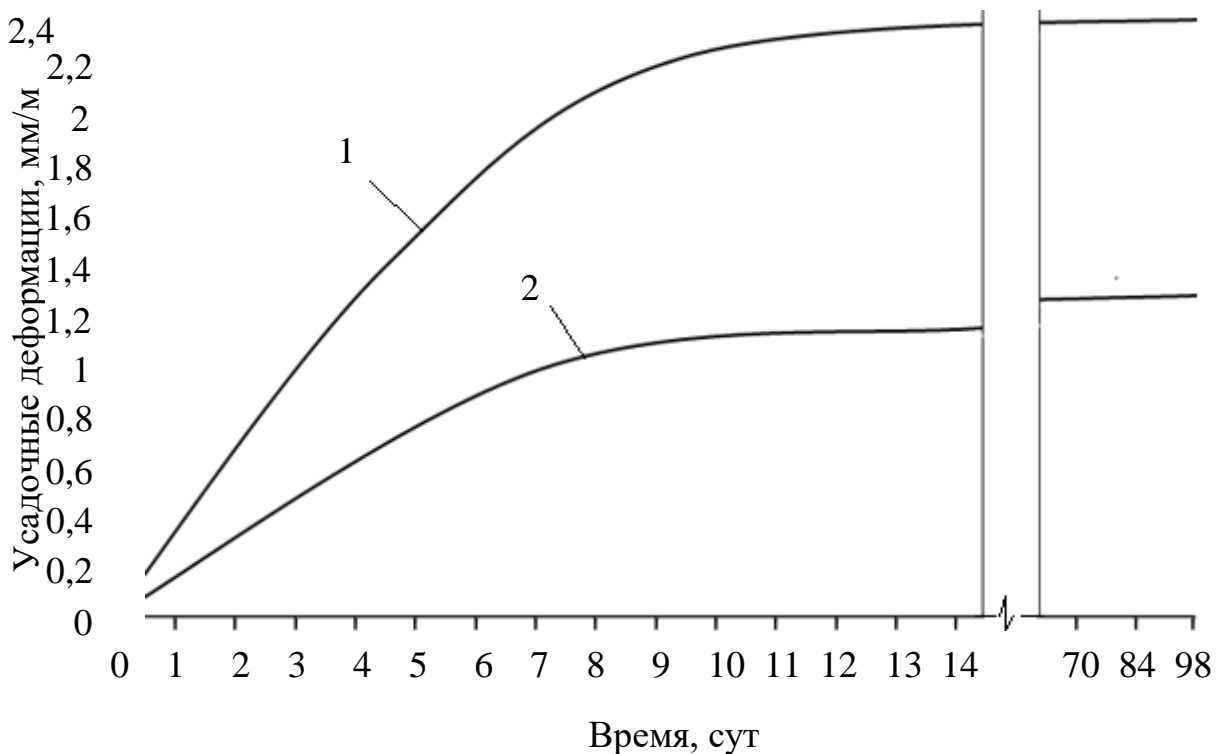


Рисунок 5.1 – Изменения усадочных деформаций покрытия на основе разрабатываемого состава с применением: 1 – диатомита; 2 – перлитового песка

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

1×1×5 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 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 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 ($E_{\text{упр}}$), МПа, вычислялся по формуле:

$$E_{\text{упр}} = \frac{R'_{\text{ког}}}{\varepsilon'_{\text{уп}}}, \quad (5.3)$$

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

$\varepsilon'_{\text{уп}}$ – 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 5.2.

Полученные результаты (рисунок 5.2) свидетельствуют о том, что добавление в рецептуру разрабатываемого отделочного теплоизоляционного состава добавки на основе алюмосиликатов позволяет получить материал с прочностью при растяжении до $R_{\text{ког}} = 0,39$ 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.

В таблице 5.1 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.

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

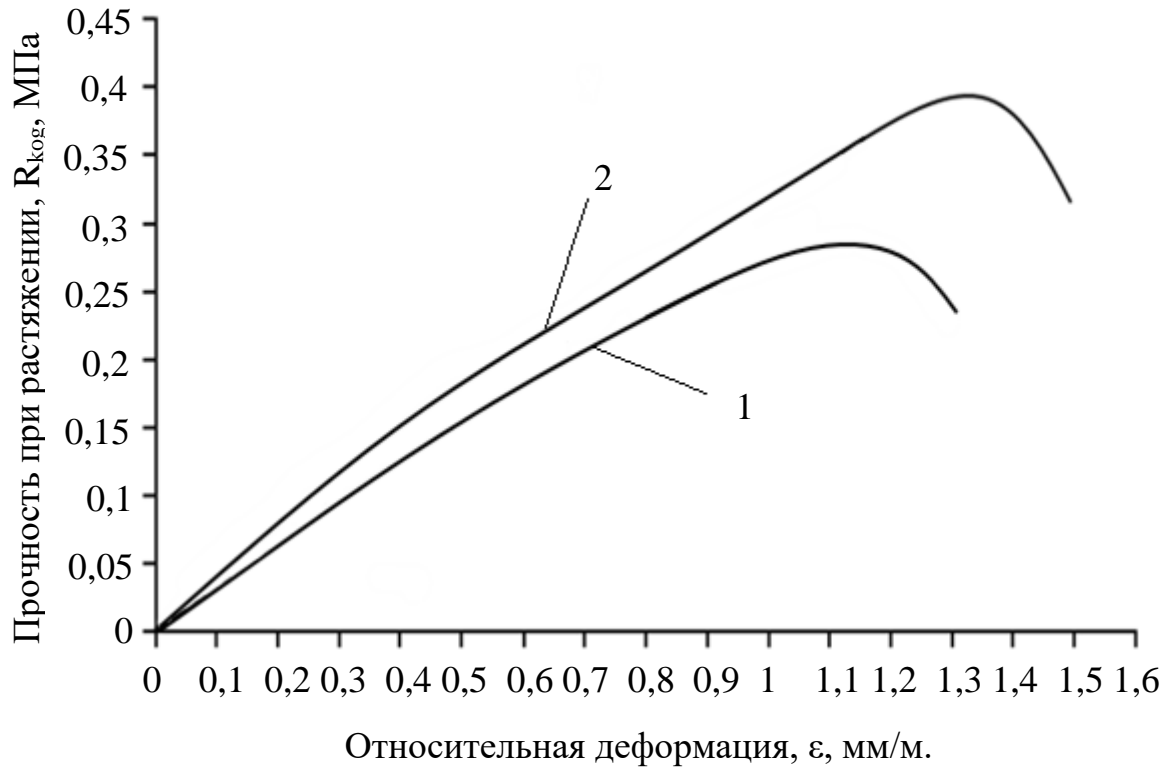


Рисунок 5.2 – Изменение относительных деформаций при растяжении образцов на основе разрабатываемого состава с применением: 1 – диатомита; 2 – перлитового песка

Таблица 5.1 – Деформативные свойства покрытия на основе разрабатываемого состава

Вид наполнителя	В/И	Значения показателей				
		$E_{упр}$, МПа	$\varepsilon_{упр}$, мм/м	$\varepsilon_{пл}$, мм/м	$\varepsilon_{полн}$, мм/м	R_{kog} , 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.

5.2 Прочность сцепления с подложкой покрытий на основе разрабатываемого состава

Важным свойством покрытий на основе ССС является прочность сцепления с поверхностями отделяемых элементов.

Прочность сцепления отделочных покрытий является величина адгезионной прочности, определяли методом отрыва штампа от поверхности образца, а также методом сдвига

Изучали прочность сцепления известково-перлитовых отделочных составов с поверхностью цементно-песчаных подложек.

Исследовали влияние модифицирующих добавок и рецептуры состава на адгезионную прочность (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Адгезионные свойства отделочных составов

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

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

Отделочные составы наносятся на жесткие подложки (поверхности бетонных, кирпичных стен, оштукатуренные поверхности). Поэтому твердение покрытия происходит при наличии адгезионной связи между покрытием и жесткой подложкой. 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 испытывают 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 [27, 38, 39, 78].

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

Испытание образцов проводили по схеме, представленной на рисунке 5.3.

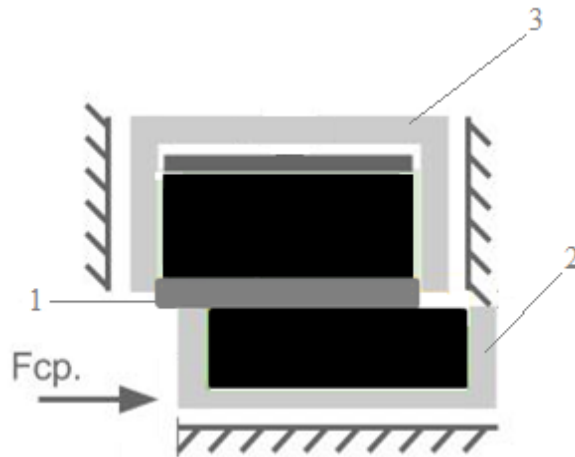


Рисунок 5.3 – Схема работы прибора ГТ 2.2.3: 1 – растворный слой; 2 – малое срезное кольцо; 3 – большое срезное кольцо

Принцип работы прибора ГТ 2.2.3 заключается в создании в испытательной установке горизонтальной сдвигающей нагрузки на образец на основе исследуемого состава (рисунок 5.3).

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 [81]. Для испытаний применяли рецептуру сухой строительной смеси (ССС), включающую следующие компоненты: белый цемент, известь-пушонка, алюмосиликатная добавка, пластификатор Melflux 1641F, редуцируемый порошок VINNAPAS 8031N, перлитовый песок, гидрофобизирующий порошок Zincum-5.

Для проведения испытаний были предварительно изготовлены подложки на цементно-песчаной основе и подложки на основе пенополистирола цилиндрической формы, геометрические размеры которых составили 71,4×15 мм. После твердения на подложку наносили исследуемый отделочный состав толщиной 10 мм. Испытываемый образец помещался в каретку прибора таким образом, чтобы подложка находилась в малом срезном кольце 2, а исследуемый состав – в большом срезном кольце 3 (рисунок 5.3). Оставшийся объем большого срезного кольца заполнялся гипсовым тестом для обеспечения лучшей фиксации

образца и равномерного распределения нагрузки на него. Технологический зазор размером 1 мм образует область среза. В процессе испытаний при увеличении касательной нагрузки, применяемой к нижнему срезному кольцу, фиксировалось значение деформаций сдвига исследуемого состава относительно подложки.

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 5.4.

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 5.3 приведены значения деформативных свойств покрытий.

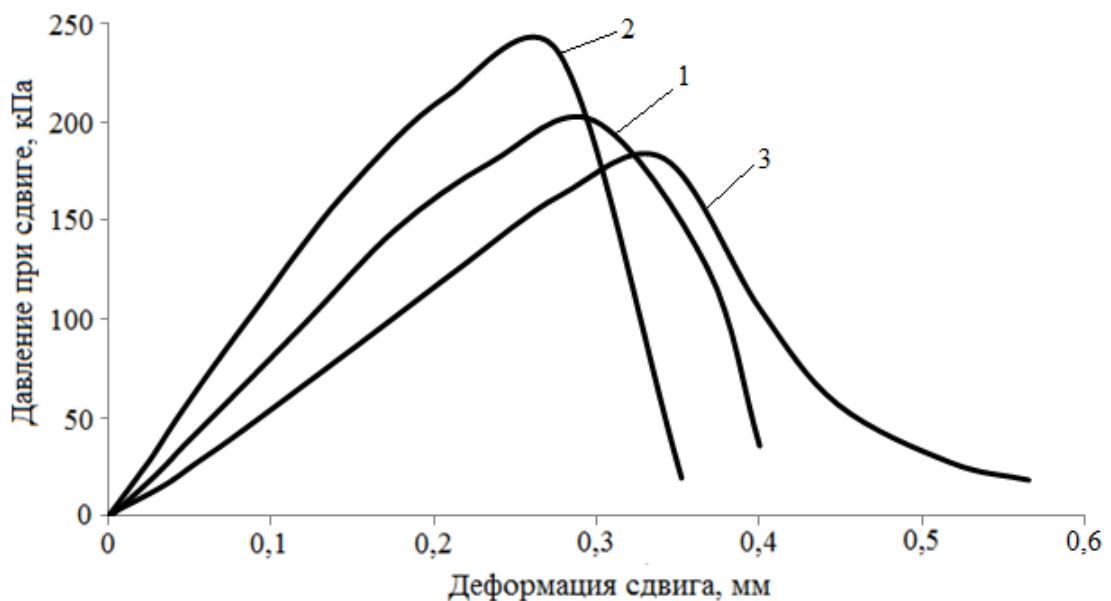


Рисунок 5.4 – Зависимость давления сдвига от деформаций сдвига: 1 – образец, испытанный в сухом состоянии при температуре 20 °С; 2 – образец,

испытанный в увлажненном состоянии с последующим замораживанием при температуре минус 20 °С; 3 – образец, испытанный в увлажненном состоянии при температуре 20 °С

Таблица 5.3 – 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 5.5. 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 $\epsilon_{об}=0,0038$ мм/мм.

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.

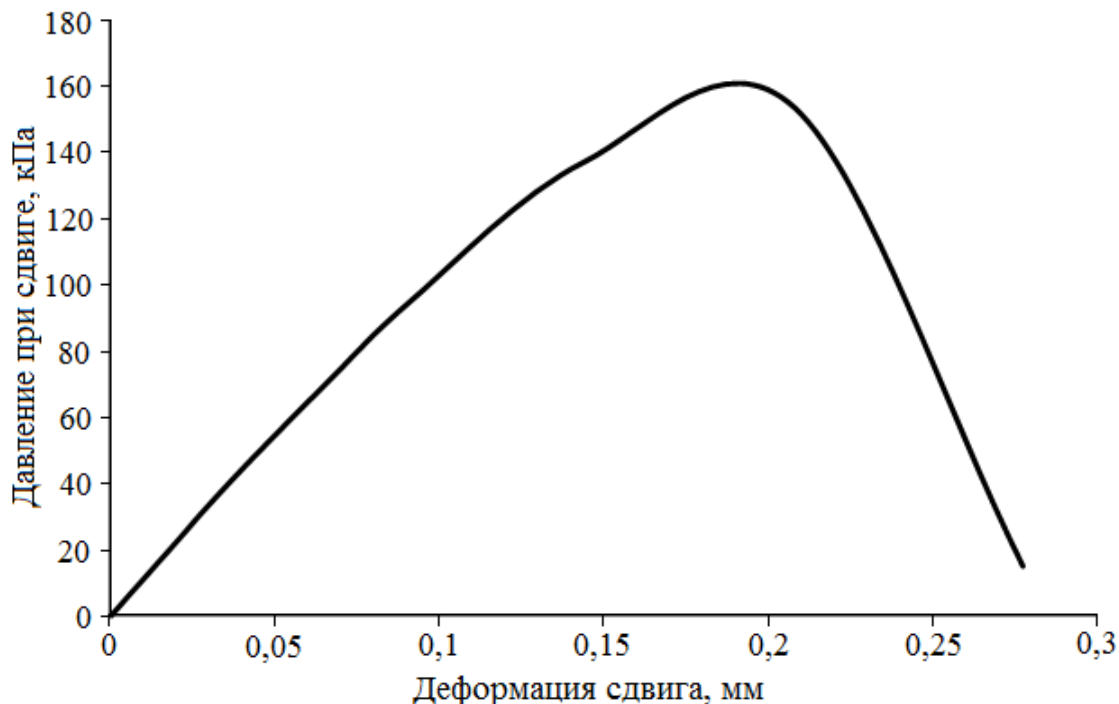


Рисунок 5.5 – Деформация сдвига растворного слоя на подложке из пенополистирола

5.3 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов

Для отделочных покрытий на основе разработанных ССС характерна капиллярно-пористая структура, особенности которой определяют характер взаимодействия материала с влагой при пребывании его в воздушно-влажной среде или непосредственном контакте с водой. В результате такого взаимодействия изменяются физико-механические свойства отделочного покрытия, поэтому необходимо исследование особенностей взаимодействия разработанных отделочных покрытий с влагой при их эксплуатации. Для оценки гигроскопических свойств покрытий на основе предлагаемых составов (таблица 5.4) были проведены исследования водопоглощения, водостойкости и паропроницаемости, капиллярного подсоса.

Водопоглощение W_m образцов покрытия на основе разрабатываемого состава с применением перлитового песка в качестве наполнителя после 24 часов водонасыщения составило $W_m=53$ %. После 24 ч водонасыщения водопоглощение контрольных образцов составило $W_m=49,6$ %. Введение в рецептуру разрабатываемого состава добавки на основе аморфных алюмосиликатов способствует повышению пористости на 18,4 % (таблица 5.4).

При определении коэффициента диффузии влаги применялся экспресс-метод, заключающийся в определении изменения влагосодержания образцов при значениях времени экспозиции, одно из которых вдвое больше другого. Значение коэффициента диффузии влаги составляет $D=4,74 \times 10^{-9}$ м²/с.

Таблица 5.4 – Показатели пористости и гидрофизических свойств покрытий на основе ССС

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

Установлено, что коэффициент размягчения покрытий составляет $K_p = 0,78$ с применением перлитового песка в качестве наполнителя.

В процессе эксплуатации здания возможно образование конденсата на контактных поверхностях слоев стеновых конструкций. При увеличении атмосферной температуры скопившаяся влага начинает переходить в фазу пара, интенсивно воздействуя на внутреннюю поверхность покрытий и прикладывая значительное усилие, направленное на отрыв покрытия от основания. Это, в свою очередь, вызывает образование трещин и иных повреждений. Следовательно, для

сохранения нормального микроклимата жилых помещений материалы, применяемые для отделки, должны обладать определённой паропроницаемостью.

В таблице 5.5 приведены экспериментальные данные по определению паропроницаемости отделочных покрытий на основе известково-перлитового состава.

Таблица 5.5 – 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

Исходя из результатов проведенных исследований, можно говорить о том, что покрытия на основе разработанных составов ССС обладают достаточной паропроницаемостью.

5.4 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). При добавлении модифицирующих добавок и белого цемента коэффициент теплопроводности увеличивается до $\lambda = 0,179$ Вт/(м²·°С) (таблица 5.6).

Для оценки влияния теплоизоляционного штукатурного слоя на основе разрабатываемой ССС на изменение теплового и влажностного режима ограждающих конструкций зданий был выполнен теплотехнический расчет стены, конструктивное решение которой приведено на рисунке 5.6.

Наружные климатические параметры для расчетов были выбраны по карте

климатического районирования (СП 131.13330.2012) городов, находящихся в различных климатических условиях и зонах влажности: Новосибирск, Пенза.

Таблица 5.6 – 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 + добавка на основе аморфных алюмосиликатов 10 % + перлит 15 % + VINNAPAS 8031Н 5%+ Кратасол-ПФМ 1 % + белый цемент 5 % + Zincum-5 (0,5 %)	0,179	0,082
Известь+добавка 10%+перлит15%	0,158	0,112

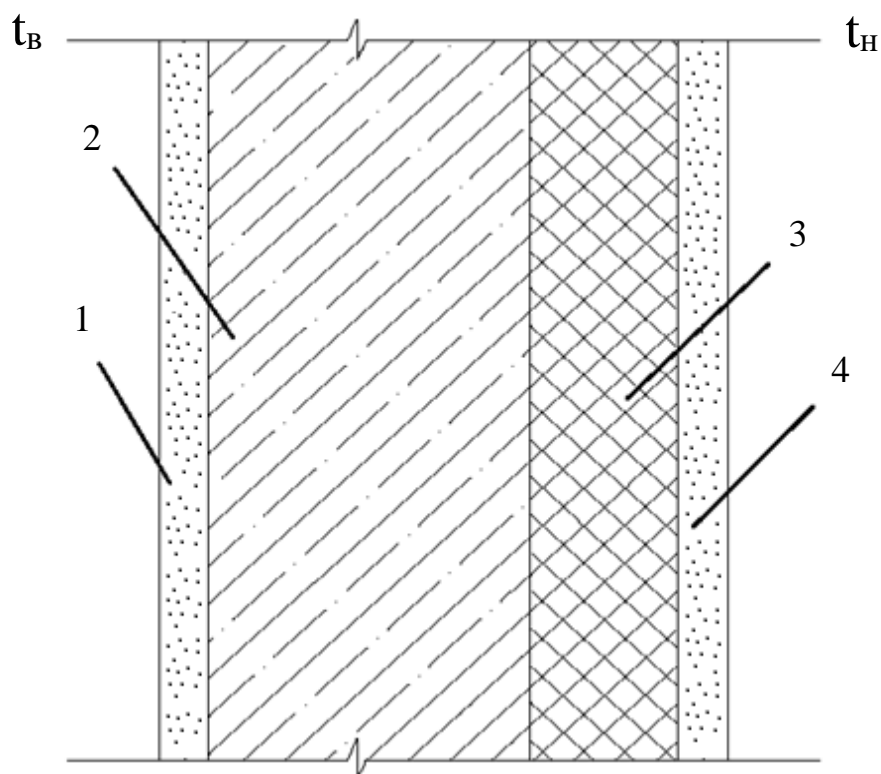


Рисунок 5.6 – Конструктивное решение наружной ограждающей конструкции: 1 – штукатурка; 2 – керамзитобетон плотностью $\rho=1400$ кг/м³; 3 – утеплитель; 4 – штукатурка

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 $0,041 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

При расчетах влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха принимали среднемесячную температуру января, а также температуру наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью $0,92$.

В таблице 5.7 и таблице 5.8 приведены значения границы нулевой изотермы в теплоизоляционном слое для условий г. Пензы и г. Новосибирска.

Таблица 5.7 – 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

Таблица 5.8 – 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

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 $\rho=1600 \text{ кг/м}^3$ возможна конденсация влаги в толщине утеплителя. При применении штукатурки на основе разрабатываемого состава ССС конденсация влаги отсутствует.

Установлено, что при отделке конструкции с внешней стороны штукатуркой на основе разрабатываемого известково-перлитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы на 1-3 мм в сторону пониженных температур (рисунок 5.8) по сравнению с применением штукатурки на основе известково-песчаного раствора (рисунок 5.7). Смещение нулевой изотермы при применении предлагаемого состава свидетельствует о том, что высыхание конструкции будет идти интенсивнее.

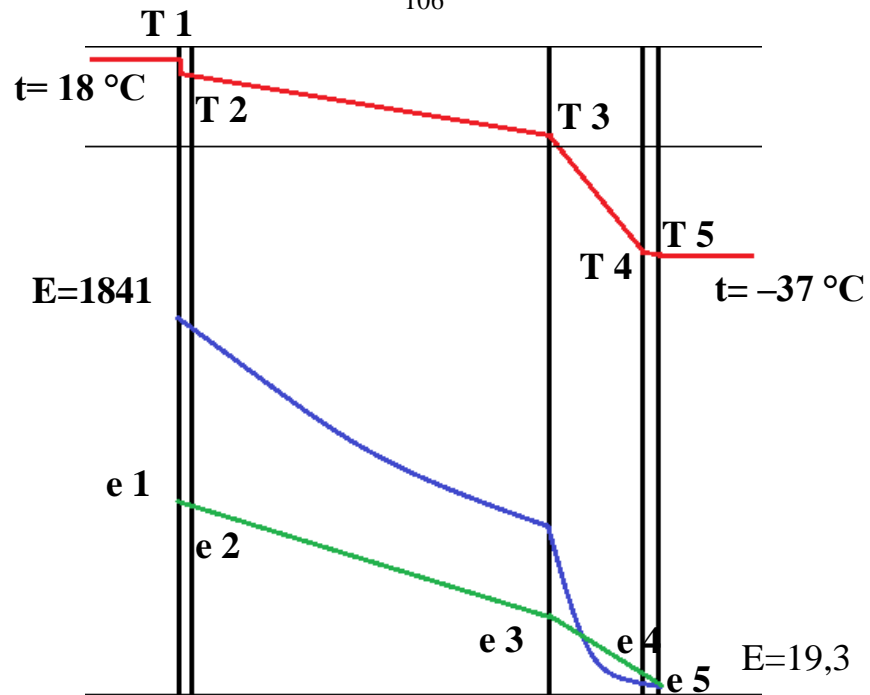


Рисунок 5.7 – Распределение линий упругости водяных паров по толщине ограждения при использовании первого способа отделки

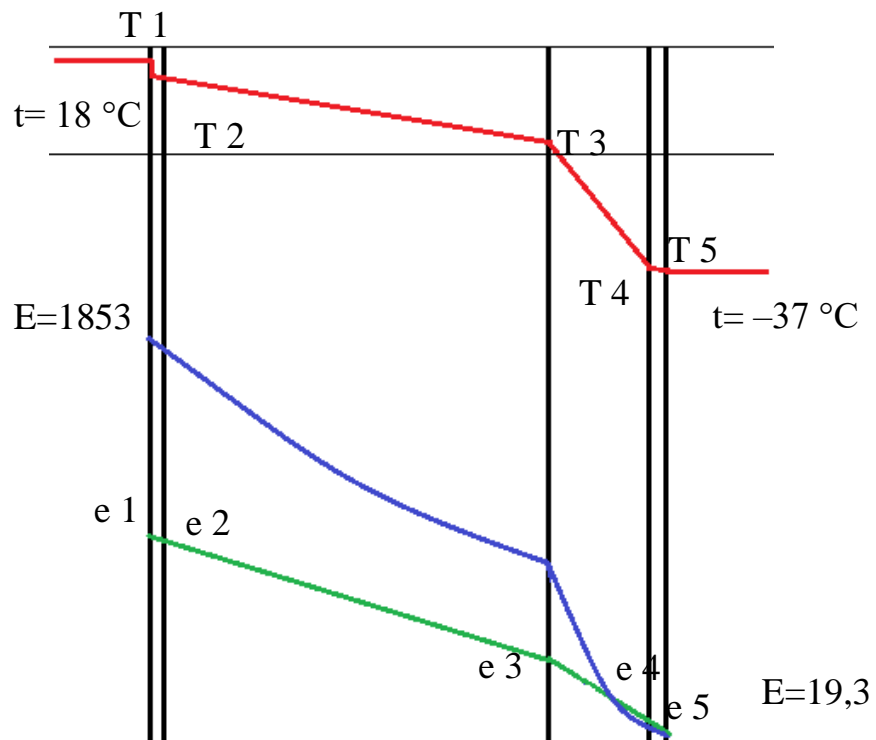


Рисунок 5.8 – Распределение линий упругости водяных паров по толщине ограждения при использовании второго способа отделки

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

При расчетах влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха принимали температуру наиболее холодной пятидневки для г. Новосибирск с обеспеченностью 0,92 (в качестве примера). Численные значения расчета упругости водяных паров по толщине ограждения представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – 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 в этой зоне величину повышения весовой влажности материала при конденсации в толщине ограждения ΔW_1 , %, и сравнить ее с нормативным значением $\Delta W_{ср}$, %:

$$\Delta W_i = \frac{\Delta G}{\gamma_{\text{ув}} \delta_{\text{ув}}(C-D)} \cdot 100, \quad (5.4)$$

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 килограммах, прошедшего за час через 1 м² сечения ограждения, г/м², определяемое по уравнению.

Количество конденсата ΔG , г/м³, за период z , сут, определяем по уравнению

$$\Delta G = (G_C - G_D) \cdot 24 \cdot z, \quad (5.5)$$

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:

$$G = \frac{e_B - e_C}{R_B^{\text{п}} + \sum \left(\frac{\delta_{B-C}}{\mu_x} \right)}, \quad (5.6)$$

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;

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

Результаты расчета влажностного состояния конструкций приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Влажностный режим стеновой конструкции в зависимости от вида отделки (г. Новосибирск)

Слой	Толщина зоны конденсации по слоям δ , м	Количество конденсата ΔG , г/м ³	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

При использовании первого варианта отделки весовая влажность пенополистирола составляет $\Delta W_{ср} = 71,1$ %, что не соответствует нормируемым значениям весовой влажности для данного материала. Избыток влаги в толщине слоя утеплителя ухудшает его теплозащитные свойства и затрудняет удаление влаги из стеновой конструкции. 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 5.11).

При расчетах влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха принимали температуру наиболее холодной пятидневки для г. Пензы с обеспеченностью 0,92 (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Влажностный режим стеновой конструкции в зависимости от вида отделки (г. Пенза)

Слой	Количество конденсата ΔG , г/м ³	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

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.

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. Применение второго варианта отделки характеризуется уменьшением весовой влажности материала и её соответствием нормативным значениям.

5.5 Оценка морозостойкости отделочного состава

Для оценки эксплуатационной стойкости покрытий на основе известковой ССС были проведены испытания на морозостойкость путем попеременного

оттаивания и замораживания отделочного слоя, нанесенного на цементно-песчаное основание, после 28 суток воздушно-сухого твердения. Оценку внешнего вида покрытий проводили по ГОСТ 6992-68 Покрытия лакокрасочные. Метод испытаний на стойкость в атмосферных условиях. За «отказ» принималось состояние покрытия, оцененное III.3 баллами.

Установлено, что покрытия на основе разработанного состава выдержали 40 циклов испытания, при этом состояние покрытия после 40 циклов испытания оценено III.3 баллами, что соответствует состоянию покрытия с потерей блеска до 50 % с значительным изменением цвета, белесоватости, бронзирования и грязеудержания, отслаиванием верхнего слоя до 5 % поверхности, трещинами или поверхностными сетками, видимыми невооруженным глазом, до 50 % поверхности. Марка по морозостойкости составила F 35 (таблица 5.12).

Также одной из важных характеристик морозостойкости отделочного слоя является морозостойкость контактной зоны. Определение морозостойкости контактной зоны заключается в попеременном замораживании и оттаивании образца покрытия, нанесенного на цементно-песчаную подложку. Оценку прочности сцепления покрытия с подложкой проводили методом сдвига и методом отрыва штампа. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.12 – Качество внешнего вида покрытия

Количество циклов до испытания	Баллы
6	V. 8
12	V. 8
18	V. 7
24	V. 5
30	IV. 4
35	III. 4
40	III.3

Таблица 5.13 – Прочность сцепления контактной зоны с подложкой после циклов замораживания и оттаивания

Количество циклов	Оценка прочности сцепления покрытия с подложкой методом сдвига	Оценка прочности сцепления покрытия с подложкой методом отрыва штампа
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

* Над чертой указана средняя прочность сцепления отделочного состава (МПа), под чертой – изменение средней прочности сцепления отделочного состава (%).

Анализ данных, представленных в таблице 5.12 и таблице 5.13, позволяет сделать вывод, что марка по морозостойкости контактной зоны покрытия составила $F_{кз} 35$.

Рецептура разработанной нами теплоизоляционной известковой сухой строительной смеси представлена в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Рецепттура теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести

№ п/п	Наименование компонентов	Состав, массовая доля, %
1	2	3
1.	Белый портландцемент	3,54

Продолжение таблицы 5.14

1	2	3
2	Известь-пушонка	70,87
3.	Перлитовый песок М150	10,63
4.	Пластификатор Melflux 1641F	0,43
5.	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	7,09
6.	Гидрофобизатор Zincum-5	0,35
7.	Добавка на основе аморфных алюмосиликатов	7,09
ИТОГО:		100,00

В таблице 5.15 приведены основные технологические и эксплуатационные свойства теплоизоляционного состава на основе разработанной рецептуры с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов и покрытий на его основе.

Таблица 5.15 – Технологические и эксплуатационные свойства разработанной известковой теплоизоляционной ССС

Параметр	Ед.изм.	Величина показателя для состава			
		разрабо- танный	прототип 1	прототип 2	прототип 3
1	2	3	4	5	6
Средняя плотность ССС	кг/м ³	700	300	550-600	1100

Продолжение таблицы 5.15

1	2	3	4	5	6
Удобоукладываемость		хорошая	хорошая	хорошая	хорошая
Расход состава при нанесении толщиной слоя в 10 мм	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
Гарантийный срок хранения в неповрежденной упаковке в сухих помещениях	месяцев	12	12	12	12

В качестве прототипа 1 выбрана сухая цементно-перлитовая штукатурная смесь «Перлитка ШТ-4», в качестве прототипа 2 – теплоизоляционная штукатурная смесь UF-2 ТМ «УМКА», производимая компанией ООО «Экотермогруп», в качестве прототипа 3 – штукатурка цементная теплоизоляционная фасадная КНАУФ-Грюнбанд фирмы «Кнауф».

Анализ данных, приведенных в таблице 5.15, показал, что разработанный состав ССС с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами: быстрые сроки схватывания, высокая водоудерживающая способность, высокая прочность сцепления с поверхностью при разных условиях эксплуатации и низкое значение усадочных деформаций.

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

Апробация разработанного состава теплоизоляционной известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов показала возможность их выпуска, а полученный строительный раствор на ее основе удовлетворяет требования нормативной документации на теплоизоляционные отделочные составы.

Процесс производства сухих строительных смесей включает в себя следующие этапы: подготовка компонентов и их сушка, просеивание, помещение исходных материалов в расходные бункеры, дозировка, смешивание, упаковка, складирование.

В состав одной технологической линии входят: дозаторы, смесители для жидких и сыпучих материалов, приемные и фасовочные бункеры, вибросито, автоматический шнек и фасовщик. Также должны быть электронные весы, товарные весы, различные приспособления, инструменты и европоддоны.

Из сырья потребуются известь-пушонка, перлитовый песок, белый цемент жидкое натриевое стекло, алюминиевая пудра, модифицирующие добавки.

Технологическая схема производства разработанной ССС представлена на рисунке 5

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО РСУ «Спецработ». Акт опытно-производственного апробирования известковых сухих строительных смесей приведен в приложении.

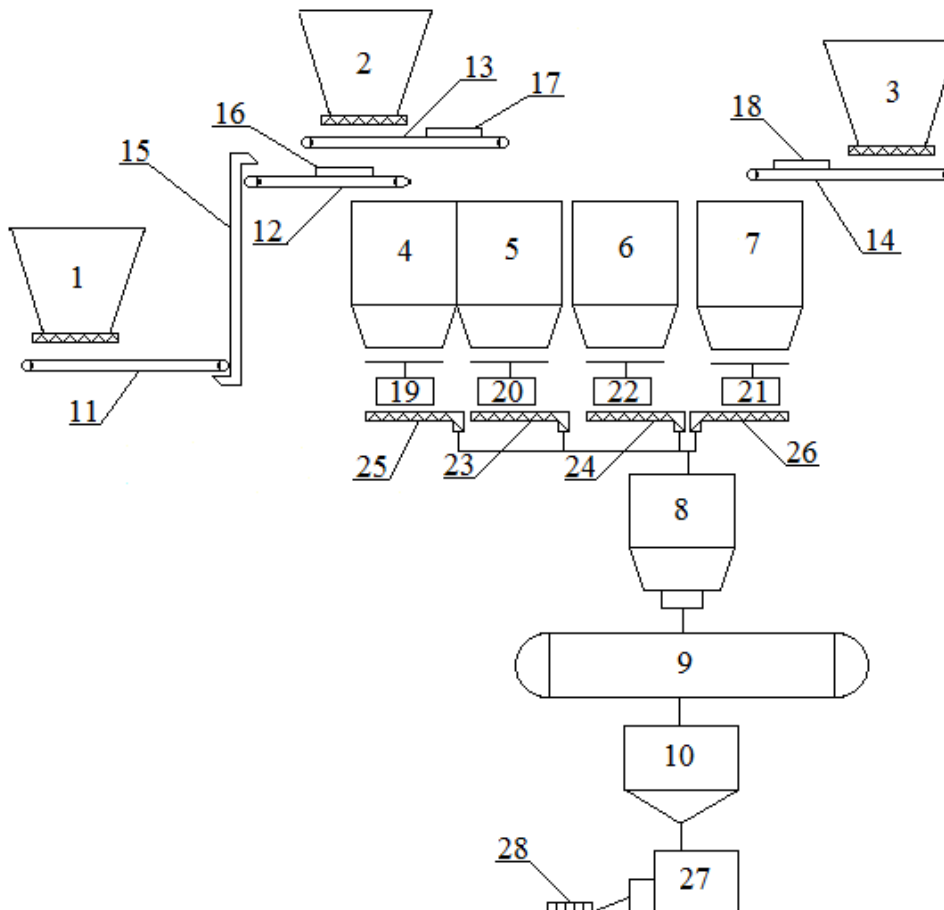


Рисунок 5.9. Технологическая схема производства разработанного состава ССС:

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

Технологический процесс производства ССС осуществляется по непрерывной схеме от этапа дозирования до выгрузки материала: одновременно бункеров извести, белого цемента и перлитового песка материалы по транспортерам поступают в силосы, где в свою очередь через дозаторы сыпучих материалов на шнековые питатели и отправляются в накопительный бункер. Одновременно с этим из силосов через дозаторы поступают модифицирующие добавки и так же по шнековым питателям поступают в накопительный бункер.

Изготовление добавки осуществляется путем отмеривания количества компонентов из расходных бункеров с помощью дозаторов и дальнейшей термообработки в термостате. Затем полученная добавка отправляется по транспортеру в сушильный барабан. Готовая добавка поступает в силос для дальнейшей дозировки в накопительный бункер. Подача редиспергируемого порошка, пластификатора, гидрофобизирующей добавки, к дозаторам осуществляется вручную. Все компоненты ССС после накопительного бункера поступают в смеситель. После тщательного и интенсивного перемешивания готовая сухая строительная смесь выгружается в бункер ССС и отправляется на упаковку в мешки с помощью фасовочной машины. Полученная ССС упаковывается в бумажные трёх-, четырёхслойные крафт-мешки с полиэтиленовым пакетом-вкладышем, который исключает попадание влаги и посторонних примесей. Сухая смесь упаковывается массой от 5 до 50 кг в одной единице продукции. Хранение и транспортировка сухой смеси возможно только при положительных температурах и при относительной влажности воздуха не более 70%. Наполненные мешки поступают по ленточному конвейеру в помещение склада, где складываются на поддоны.

Перечень затрат на приобретение предполагаемого оборудования для производства разработанного состава ССС представлен в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Перечень затрат на производственное оборудование

Оборудование	Цена за штуку	Количество	Цена
1	2	3	4
Транспортер ленточный	104006	4	416024

Продолжение таблицы 5.16

1	2	3	4
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

Для работы на производстве ССС на одну смену потребуется технолог цеха, рабочие дозировочно-смесительного поста, упаковщик и грузчик.

Стоимость материалов, используемых при производстве сухой строительной смеси, принята по реальным ценам 2016-го года. Для расчета калькуляции себестоимости производства ССС требуются учесть показатели, представленные в таблице 5.17.

Таблица 5.16 – Показатели для расчета себестоимости и срока окупаемости производства теплоизоляционной ССС

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 5.18 – Калькуляция себестоимости алюмосиликатной добавки и разработанной теплоизоляционной известково-цементной ССС.

Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб	Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	2	3	4	5
Добавка на основе аморфных алюмосиликатов				
Дистиллированная вода	т	1500	0,6153	923,07
Алюминиевая пудра	т	168000	0,0769	12923,07
Жидкое стекло	т	6000	0,3076	1846,15
Вспомогательные материалы	руб			200
Амортизация основного оборудования	руб			60,00
Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	5,00	4	20
Основная заработная плата производственных рабочих	руб/чел	800	0,09	72
Дополнительная заработная плата производственных рабочих	руб/чел	180	0,09	16,2
Отчисления на социальное страхование	руб/ч	112,32	0,09	10,1
Итого:	руб			16070,59

Продолжение таблицы 5.18

1	2	3	4	5
Разработанный состав ССС				
Известь	т	3000	0,734	2202
Перлитовый песок	т	3500	0,11	385
Пластифицирующая добавка	т	900000	0,0044	3960
Редиспергируемый порошок	т	321000	0,0367	11780,7
Гидрофобизирующая добавка	т	245000	0,0037	906,5
Белый цемент	т	10000	0,0367	367
Добавка на основе аморфных алюмосиликатов	т	16070,6	0,0735	1181,18
Итого:	руб			20782,38
Вспомогательные материалы	руб			600
Амортизация основного оборудования	руб			120,00
Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	5,00	7,33	36,66
Основная заработная плата производственных рабочих	руб/чел	800	0,53	426,6
Дополнительная заработная плата производственных рабочих	руб/чел	180	0,53	95,4

Продолжение таблицы 5.18

Отчисления на социальное страхование	руб/ч	112,32	0,53	59,52
Заводская себестоимость 1т	руб			22120,5
Заводская себестоимость 1кг	руб			22,12

Оценку экономической эффективности результатов исследований проводили путем сравнения рыночной стоимости разработанной рецептуры теплоизоляционной ССС и аналогов известных производителей теплоизоляционных ССС. За рыночную стоимость разработанной рецептуры теплоизоляционной ССС принимали сумму себестоимости и 30 % от нее. Результаты оценки представлены в таблице 5.19.

Таблица 5.19 – Рыночная стоимость ССС

№	Наименование производителя	Единица измерения	Стоимость, руб
1	Разработанная рецептура ССС	кг	28,75
2	Перлитка ШТ-4	кг	34
3	UF-2	кг	52
4	КНАУФ-Грюнбанд	кг	10

Анализируя данные таблицы 5.17 выявлено, что разработанная ССС является экономически эффективной. Так, стоимость 1 кг разработанной теплоизоляционной известково-цементной ССС составляет 28,28 руб, что на 16,82 % ниже стоимости теплоизоляционной штукатурки «Перлитка ШТ-4» и на 45,61 % ниже стоимости теплоизоляционной штукатурной смеси UF-2 ТМ «УМКА».

Выводы по главе 5

1. Разработан состав теплоизоляционной сухой строительной смеси, предназначенный для наружных отделочных работ и содержащий известь-пушонку, перлитовый песок 15 %, добавку на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 10 % от массы извести, белый цемент в количестве 5 % от массы извести, Melflux 1641F в количестве 0,6 % от массы извести, VINNAPAS 8031H в количестве 5 % от массы извести. Отделочный слой на основе разработанной смеси характеризуется следующими показателями: адгезионная прочность $R_{адз}=0,38$ МПа, когезионная прочность $R_{ког}=0,39$ МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,18$ мг/(м·ч·Па), водопоглощение по массе $W_m=53$ %, коэффициент размягчения $K_p=0,78$, усадочные деформации $\varepsilon=1,3$ мм/м.

2. Установлено, что введение в рецептуру известковой сухой смеси

добавки на основе аморфных алюмосиликатов и модифицирующих добавок способствует повышению прочности сцепления отделочного слоя.

3. Определена морозостойкость штукатурных покрытий на основе теплоизоляционной известково-цементной сухой смеси, составляющая F 35. Прочность сцепления контактной зоны образца, определенная методом сдвига после 35 циклов замораживания–оттаивания, составляет $R_{сд} = 0,165$ МПа, методом отрыва штампа – $R_{отр} = 0,31$ МПа.

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 °С, составляет $R_{сд} = 0,2$ 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 теплоизоляционного 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 мм в сторону пониженных температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Разработан состав теплоизоляционной композиционной известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов, предназначенной для наружных отделочных работ и содержащей известь-пушонку, перлитовый песок 15 %, добавку на основе алюмосиликатов в количестве 10 % от массы извести, белый цемент в количестве 5 % от массы извести, Melflux 1641F в количестве 0,6 % от массы извести, VINNAPAS 8031H в количестве 5 % от массы извести. Отделочный слой на основе разработанной смеси характеризуется следующими показателями: адгезионная прочность $R_{адг}=0,38$ МПа, когезионная прочность $R_{ког}=0,39$ МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,18$ мг/(м·ч·Па), водопоглощение по массе $W_T=53$ %, усадочные деформации $\varepsilon=1,3$ мм/м.

2. Установлен гранулометрический состав добавки на основе аморфных алюмосиликатов, 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 $\rho_{ист}=2100$ кг/м³, а насыпная $\rho_{нас}=(0,55\pm 0,05)$ г/см³. Выявлено, что в составе добавки на основе аморфных алюмосиликатов преобладают оксиды алюминия, составляющие 51,03 %.

3. Исследован характер энергетических свойств поверхности алюмосиликатной добавки. Установлено, что кислотно-основный 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.

4. 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 %.

5. Установлены закономерности твердения известковых растворов с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов в присутствии перлитового песка. Установлено, что введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов в известковую систему приводит к незначительному снижению рН жидкой фазы, способствует повышению теплоты структурообразования. Подобрана оптимальная концентрация минеральной добавки, составляющая 10 % от массы извести.

6. Установлены закономерности изменения реологических и технологических свойств известковых растворных смесей в зависимости от рецептурно-технологических факторов. 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 редиспергируемого порошка. Выявлено, что совместное введение пластифицирующих и модифицирующих добавок в рецептуру известковых сухих строительных смесей способствует повышению водоудерживающей способности составов до 99,2 %.

7. Показано, что введение в известковый состав алюмосиликатной добавки в количестве 10 % от массы извести совместно с перлитовым песком способствует повышению прочности при сжатии образцов возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения на 1,81 МПа.

8. Установлено, что введение в рецептуру известковой сухой смеси добавки на основе аморфных алюмосиликатов и модифицирующих добавок способствует повышению прочности сцепления отделочного слоя. Предложена методика определения прочности сцепления штукатурного слоя, заключающаяся в определении сопротивления при сдвиге. Установлено, что коэффициент вариации экспериментальных данных равен $v=1,5-2,6$ %, на основании чего 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 °С, составляет $R_{сд} = 0,2$ МПа.

9. Определена морозостойкость штукатурных покрытий на основе известковой сухой смеси, составляющая F 35. Определены гидрофизические свойства образцов с применением алюмосиликатной добавки разработанной сухой строительной смеси. Значение коэффициента диффузии влаги равно 4,74 м²/с.

10. Изучено влияние растворного слоя на основе разработанной сухой строительной смеси на тепловлажностное состояние ограждающих конструкций зданий. Установлено, что использование покрытия на основе разработанной сухой строительной смеси характеризуется меньшей толщиной зоны конденсации в толщине отделочного слоя, способствует снижению на 71 % количества конденсата по сравнению с использованием известково-песчаных штукатурки. Выявлено, что при наружной отделке ограждающей конструкции составом на основе разработанной сухой строительной смеси наблюдается смещение нулевой изотермы на 1–3 мм в сторону пониженных температур.

11. Разработан проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные композиционные известково-цементные сухие строительные смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия» (приложение Б). Определены технико-экономические показатели производства теплоизоляционной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Рекомендации. Проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные композиционные известково-цементные сухие строительные смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Технические условия», а также рецептуру и технологию изготовления известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов рекомендуется внедрить на предприятиях по производству сухой строительной смеси.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований рекомендуются для использования в учебном процессе 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. Алексеева, Л.В. Технологические особенности производства вспученного перлита из сырья различных месторождений / Л.В. Алексеева // Строительные материалы и изделия. 2005. - № 6. - С. 25-29.
2. 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, М., НИИСФ, 2002, С. 124-132.
3. Андерхальт, Р. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применения / Р. Андерхальт, П. Анзалоне, Р. Апкариан, А. Борисевич. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 600 с.
4. Андрианов, К.А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистиролов ограждающих конструкция зданий: дис.. канд. техн. наук: 05.23.05 / Андрианов Константин Анатольевич.- Тамбов, 2002.- 210 с. -Библиогр.: с. 189-208.
5. Ахтямов, Р.Я. Легкие строительные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем / Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, -2002.-№11.- С. 16-17.
6. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – М: Издательство АСВ, 2003. – 96 с.
7. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 60-62
8. Беляков, А.В. Преимущество теплоизоляции из материалов с естественной пористостью / А.В. Беляков, С.Э. Иванов // Новые огнеупоры. - 2008.- №7.-С. 41-44.

9. Берлин, А.А., Основы адгезии полимеров / А.А. Берлин, В.Е. Басин. - М.: Химия, 1969.-320 с.
10. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. М.: Стройиздат, 1979. - 248 с.
11. 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.
12. Большаков, Э.Л. Сухие смеси для отделочных работ / Э.Л. Большаков // Строительные материалы. – 1997. – №7. – С. 8-9.
13. 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
14. Бужевич, Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях / Г.А. Бужевич. - М.: Стройиздат, 1970. -272 с.
15. Бутакова, М.Д. Решение проблемы теплоизоляции быстровозводимых зданий с применением технологии Кнауф / М.Д. Бутакова, Н.О. Ролик, К.С. Топорова // Кнауф в мировом строительном комплексе – 2015 – С. 11-15
16. Василик, П.Г. Трещины в штукатурках / П.Г. Василик, И.В. Голубев // Строительные материалы. -2003. - №4. - с. 14-16.
17. Вернигорова, В.Н. Физико-химические основы образования модифицированных гидросиликатов кальция в композиционных материалах на основе системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ / В.Н. Вернигорова // Пенза: ЦНТИ, 2001. – 394 с.
18. Виноградов, Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона / Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1979. – 224 с.
19. 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.

20. Воронкина, Е.П. Фасадная теплоизоляционная штукатурка / Е.П. Воронкина // VII Международный молодежный форум "Образование, наука, производство". – 2015. – С. 1913-1916.
21. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. – 2001.– № 4. – С. 8-10.
22. Горчаков, Г.И. Повышение трещиностойкости водостойкости легких бетонов / Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер, И.И. Лифанов. М.: Стройиздат. 1971.- 587 с.
23. 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.
24. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
25. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости. – М.: Стандартиформ, 2014. – 23 с.
26. ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия (С Изменениями N 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
27. ГОСТ 14759-69 Клеи. Метод определения прочности при сдвиге. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 14с.
28. ГОСТ 18299-72 Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
29. ГОСТ 19007-73 * Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
30. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия (EN 206-1:2000; EN 1008:2002). – М.: Стандартиформ, 2012. – 16 с.
31. ГОСТ 31189-2015. Смеси сухие строительные. Классификация. М.: Стандартиформ, 2015.

32. ГОСТ 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
33. 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.
34. Грачев, И.А. Причины и возникновение повышенной влажности стен здания / И. А. Грачев // Жилищное строительство. М.,-1995. - №9. - С. 18-20.
35. Данилов, А.М. Математическое моделирование структуры и свойств материалов нового поколения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т.1 (вып. 5). – С. 876–877.
36. Демьянова, В.С. 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.
37. Дергунов, С.А. Проектирование составов сухих строительных смесей / С. А. Дергунов, В. Н. Рубцова. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 97 с.
38. Деркач, В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке / В.Н. Деркач // Инженерно– строительный журнал.-2012-№-3-С.19-28
39. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, В. П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 279 с.
40. Ершов, М.Н. Анализ технологических особенностей применения фасадных систем теплоизоляции/ М.Н. Ершов, И.Н. Бабий, И.А. Менейлюк //Технология и организация строительного производства. – 2015. –С. 43-47.
41. 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.

42. Жуков, А.В. Перлитовые штукатурные растворы / А.В. Жуков, Т.В. Почупайло // Строительные материалы. -1978.- № 1.-С. 19-20.
43. 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.
44. Запевалова, М.В. Строительные материалы и услуги. Обзор рынка сухих строительных смесей, – 2011. – № 6. [Электронный ресурс] / М.В. Запевалова// Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/articles/strm5.htm>
45. Захаров, С.А. Высокоактивный метакаолин – современный активный минеральный модификатор цементных систем / С.А. Захаров, Б.С. Калачик // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 56-57.
46. Иванов, И.А. Легкие бетоны на основе зол электростанций / И.А. Иванов. М.: Стройиздат, 1972. - 127 с.
47. Иванов, И.А. 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.
48. Ильинская, Г.Г. Сухие отделочные строительные смеси на основе композиционных вяжущих для устройства теплоизоляционных систем / Г.Г. Ильинская, Д.М. Сопин, В.А. Богусевич, Г.А. Лесовик, М.Ф. Черкесов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 139-143.
49. Ильинский, В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий) / В.М. Ильинский. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
50. 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.
51. Карапузов, Е.К. Сухие строительные смеси / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд. – К.: Техника, 2000. – 226 с.

52. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси / В.В. Козлов. – М.: АСВ, 2000. – 96с.
53. Комарова, К.С. Эффективная теплоизоляция - залог успеха строительства / К.С. Комарова, Н.Д. Комарова // Теория и практика науки третьего тысячелетия – 2015. –С. 22-25.
54. 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
55. Корнеев, В.И. Словарь «Что» есть «что» в сухих строительных смесях / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля // НП «Союз производителей сухих строительных смесей», 2004.-312 с.
56. Кот, О.В. Фасадные системы и теплоизоляция /О.В. Кот// Формирование предметно-пространственной среды современного города: архитектура. Строительство. Дизайн. – 2015. –С. 173-181.
57. Кройчук, Л.А. Опыт изготовления и использования сухих растворных смесей за рубежом / Л.А.Кройчук // Строительные материалы.-2000. -№9. –С. 16-17.
58. Крупенникова, А.Ю. Адсорбенты, их получение, свойства и применение / А.Ю. Крупенникова, Г.В. Цицишвили, М.Н. Бурджанадзе и др. – Л.: Наука, 1978. – 44 с.
59. Лайнер, А.И. Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер и др.- М.: Металлургия, 1978. -344 с.
60. 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.
61. 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.

62. 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.

63. Логанина, В.И. 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.

64. Лутц, Г. Системы наружной теплоизоляции с сухими смесями / Г. Лутц. // Строительные материалы.- 1999. - №3. - С. 36-38.

65. Малайрэу, Ю.А. Синтез и исследование свойств поликарбоксилатных пластификаторов / Ю.А. Малайрэу, Е.А. Индейкин // Шестидесят 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.

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

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

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

69. 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

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

71. Наседкин, В.В. Перлит как заполнитель легких бетонов. Историческая хроника и перспективы на будущее / В.В. Наседкин // Строительные материалы. - 2006. - № 6. - С. 70-74.
72. Нечипоренко, А.П. Донорно-акцепторные свойства поверхности твердых тел оксидов и халькогенидов: автореф. дис. ... докт. хим. наук: 02.00.18 / Нечипоренко Алимпиада Павловна. – СПб., 1995. – 40 с.
73. 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.
74. Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов [Электронный ресурс]: Правительство России [сайт] – <http://government.ru/docs/22980/>
75. Обзор рынка коммерческой недвижимости [Электронный ресурс]: Строительный портал ВК-Story [сайт] – Режим доступа: <http://www.bk-stroy.ru>
76. Облегченная теплоизоляционная штукатурка Победит пеностекло ТМ-30 [Электронный ресурс]: Сухие строительные смеси и стройматериалы "Победит" [сайт] – Режим доступа: http://www.pobedit-msk.ru/shop/UID_22.html
77. Овчаренко, Е.Г. Тенденции в развитии производства утеплителей в России / Е.Г. Овчаренко.-М.: Теплопроект, 2002.-226 с.
78. 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.
79. 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.
80. Пат. RU 2044689 Российская федерация, С01В33/38. Способ получения алюмосиликата натрия [Текст] / В.П. Харитонов (RU), Г.Н. Алексеева

(RU), А.А. Гнездинов (RU), Н.Ф. Савина (RU), В.М. Ковалев (RU) патентообладатель Пермский завод по синтетическим моющим средствам – 3с.

81. Пат. RU 2132545 Российская Федерация, МПК G01N3/24, E02D1/00. Сдвиговый прибор [Текст] / Болдырев Г.Г., Хрянина О.В.; заявитель и патентообладатель Пензенский государственный архитектурно-строительный институт. заявл. 22.07. 1996; опубл. 27.06.1999. – 4 с.

82. Пат. RU2144499 Российская федерация, C01B33/26, B01J21/12. Способ получения аморфного, микро/мезопористого алюмосиликатного геля [Текст] / Карло Переджо (IT); Стефано Перателло (IT); Роберто Миллини (IT), заявитель и патентообладатель Эниричерке С.п.А. (IT); Аджип Петроли С.п.А. (IT); Эникем С.п.А. (IT) – 2с.

83. Пат. RU2402486 Российская федерация, C01B33/26. Способ получения аморфного алюмосиликатного адсорбента [Текст] / В. К. Милинчук (RU), А.С. Шилина (RU) патентообладатель ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" (НИЯУ МИФИ) (RU)– 3с.

84. Пат. RU2438974 Российская федерация, C01B33/26. Способ получения аморфного алюмосиликатного адсорбента [Текст] / В. К. Милинчук (RU), А.С. Шилина (RU) патентообладатель ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" (НИЯУ МИФИ) (RU)– 3с.

85. Пат. RU2463108 Российская федерация, 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 [Текст] / Аккерман Расселл Крэйг (US), Мишел Кристиан Гэбриел (US), Смигал Джон Энтони (US), Ван Вен Йоханнес Антониус Роберт (NL), патентообладатель Шелл Интернэшнл Рисерч Маатсхаппий Б.В. (NL) – 3с.

86. 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.

87. Планирование, подготовка и применение штукатурки для наружных и внутренних работ. Часть 2. Дополнительные требования к DIN EN 3914-2 для внутренней штукатурки DIN 18550-2-2015
88. Популярные исследования [Электронный ресурс]: РБК. Магазин исследований [сайт] – <http://marketing.rbc.ru/>
89. Почупайло Т.В. Перлитовая штукатурка в современном строительстве / Т.В. Почупайло, А.А. Крупа // Сб. ВНИИЭСМ, серия 3, вып. II, 1982, с. 34.
90. Пухаренко, Ю.В. 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.
91. Радаев, С.С. 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.
92. Рамачандран, В.С. 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.
93. 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
94. 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
95. Строительный еженедельник №1 (638) от 19.01.2015 [Электронный ресурс]: Агентство строительных новостей [сайт] – Режим доступа: <http://asninfo.ru/magazines/html-version/638-spb>
96. Строительство и архитектура. Обзорная информация ВНИИТПИ. Серия Строительные материалы. Сухие смеси в строительстве. / М.: -1992.- Выпуск 3.-47 с.

97. Тейлор, Х. Гидросиликаты кальция / Х. Тейлор // 5 Междунар. конгресс по химии цемента. М.: Стройиздат, 1973.-114 с.
98. Телешов, А.В. Новые заводы по производству сухих смесей / А.В. Телешов, В.А. Сапожников // Строительные материалы, -2003. -№ 11.-125с.
99. Теплая штукатурка Победит перлит ТМ-30 [Электронный ресурс]: Сухие строительные смеси и стройматериалы "Победит" [сайт] – Режим доступа: http://www.pobedit-msk.ru/shop/UID_23.html
100. Тепловер Standard [Электронный ресурс]:Тепловер [сайт] – Режим доступа:<http://teplover-ug.com.ua/standard.php>
101. Тепло-звукоизоляционные Материалы [Электронный ресурс]: Edilteco [сайт] – Режим доступа: http://edilteco.com.ua/wp-content/uploads/2014/09/izolteco_metodika_new.pdf
102. Теплоизолирующая штукатурная минеральная сухая смесь "Тиротерм" [Электронный ресурс]: Tirotherm [сайт] – Режим доступа: <http://tirotherm-ru.lgb.ru/about.html>
103. Теплоизоляционная штукатурка Baumit Thermo Putz[Электронный ресурс]: Baumit. [сайт] – Режим доступа: <http://www.baumit.ru/upload/Sonstiges/ThermoPutz.pdf>
104. Теплоизоляционная штукатурка с полистиролом LB KNAUF ISOPUTZ EXTRA, DAMMPUTZ MIT POLYSTYROL [Электронный ресурс]: Проф-Лидер [сайт] – Режим доступа: <http://www.prof-lider.com/images/files/pdf/8875.pdf>
105. Тренды на рынке сухих строительных смесей [Электронный ресурс]: Группа компаний «ВИРА» [сайт] – <http://www.vira.ru/exp/news/detail.php?ID=43729>
106. Тюрина, Т.Ю. К вопросу о разработке государственного стандарта «Смеси сухие строительные. Классификация» / Т.Ю. Тюрина // Строительные материалы. - 2003.-№1. .- С.8-9.

107. Удодов, С.А. Особенности свойств сухих смесей с применением пористых заполнителей / С.А. Удодов, В.Ф. Черных // Строительные материалы.- 2006.-№3.- С.15-17.
108. Урецкая, Е.А. Сухие строительные смеси: материалы и технологии: науч.-практ. пособие / Е.А. Урецкая, Э.И. Батяновский; под общ. ред. Е.А. Урецкой.- Минск: НПООО «Стринко», 2001.-208с.
109. Уэндландт У. Термические методы анализа / У. Уэндландт. М.: Мир, 1978. -С. 145—212.
110. Федулов, А.А. Техничко-экономическое обоснование преимущества применения сухих строительных смесей / А.А. Федулов // Строительные материалы. -1999. -№3. –С.26-27.
111. 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
112. Цементно-перлитовая штукатурная смесь для фасадных работ Перлитка ШТ4 [Электронный ресурс]: Перлитка [сайт] – Режим доступа: <http://perlitka.org.ua/sht4.html>
113. Черенкова, И.А. Проблемы теплоизоляции фасадов зданий / И.А. Черенкова, Л.В. Моргун //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века– 2015. -№2 –С. 23-27.
114. Энергосбережение в многоквартирном доме / И.В. Генцлер, Е.Ф. Петрова, С.Б. Сиваев, Т.Б. Лыкова.- М.:Научная книга , 2009.-130с.
115. Ященко Ю.В. Энергоэффективные строительные материалы / Ю.В. Ященко// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века – 2015. – № 4. – С. 24-27
116. Adams, F. W. Effect of particle size on the hydration of lime / F. W. Adams // Industrial and engineering chemistry.- 1997. - № 5. - pp. 589-591.
117. Allen, W. I. Lime as a building material. / W. Allen, I. Allen, L.A. McDonald // The structural engineer. -2003. - № 17. - 317 p.

118. Ashurst, J. The technology and use of hydraulic lime /J. Ashurst // Lime news. -1997.-№5.-pp. 51-58.

119. Axilat SA 502 Alumina Accelerator Formulation Additive [Электронный ресурс]:Hexion[сайт]-

<https://www.hexion.com/Products/TechnicalDataSheet.aspx?id=2626>

120. 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.

121. Ceresit СТ 24. Штукатурка для ячеистого бетона [Электронный ресурс]: Ceresit [сайт] – Режим

доступа:<http://www.ceresit.ru/ru/products/etics/plaster-and-putty/ct-24-smoothing-plaster111.htm>

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

123. Erdem E. Effect of various additives on the hydration of perlite-gypsum plaster and perlite-portland cement pastes./ E. Erdem // Turk J Chem -1997;-№ 21(3):- pp. 209–14

124. 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.

125. 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

126. 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.

127. L.M. Silva. Role of lightweight fillers on the properties of a mixed-binder mortar/ L.M. Silva, R.A. Ribeiro, J.A. Labrincha, V.M. Ferreira // *Cement & Concrete Composites* 32.- 2010. pp-19–24
128. Migiey, H.G., in *International Seminary on Calcium Aluminates* (eds M. Murat et al.), Politecnico di Torino, Turin (1982).
129. Our Products [Электронный ресурс]: Saythermoplast [сайт] – Режим доступа: <http://www.saythermoplast.in/products.html>
130. Pat. US 4289653, B01J21/12; B01J23/85; C10G45/08; (IPC1-7): B01J21/12. Co-gel catalyst manufacture / Jaffe, Joseph (CA), assignee Chevron Research Company (CA)
131. Pat. US 4499197 , C10G11/05; B01J21/12; B01J23/10; B01J29/00; B01J37/03; C01B33/152; C10G11/00; (IPC1-7): B01J21/12; B01J29/08. Co-gel catalyst manufacture / Seese, Mark A. (MD), Chiang, Robert L. (CA), assignee W. R. Grace & Co. (New York, NY)
132. Pat. US4988659, B01J21/12; C10G11/04; (IPC1-7): B01J21/12. Silica/alumina cogel catalysts / Pecoraro, Theresa A. (CA), assignee Chevron Research Company (CA)
133. Poraver-x [Электронный ресурс]: Poraver [сайт] – Режим доступа: <http://www.poraver.com/poraver-x/>
134. Rajgelj, S. Cohesion Aspects in rheological behaviour of fresh cement mortars / S. Rajgelj // *Mater. et constr.* – 1985. – №104. – P. 109-114.
135. Roberts, L. R. Microsilica in concrete.1 / L.R. Roberts, W.R. Grace // *Mater. Sci. Concr.1.* – Westerville (Ohio), -1989. – pp. 197–222.
136. Ross, H. *Praxis-Handbuch Putz* / H. Ross, F. Stahl – Köln, -2006. – 300 p.
137. Specification for mortar for masonry. Rendering and plastering mortar BS EN 998-1:2010
138. 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.

139. 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.

140. 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.

141. 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.

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

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

144. 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

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

«19» _____ 04. _____ 2016г.

АКТ

опытно-производственного апробирования теплоизоляционной композиционной известково-цементной сухой строительной смеси 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 теплоизоляционной композиционной известково-цементной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов, разработанной на кафедре « Управление качеством и технологии строительного производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» Логаниной В.И., Рыжовым А.Д.. Состав теплоизоляционной сухой строительной смеси включает известь-пушонку, перлитовый песок марки М150, белый цемент, добавку на основе аморфных алюмосиликатов, пластификатор Melflux 1641 F, редиспергируемый порошок Vinnapas 8031H, гидрофобизатор Zincum – 5.

Теплоизоляционную 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»

Начальник ПТО
ООО РСУ «Спецработ»

Профессор ПГУАС

Аспирант ПГУАС



В.А.Пшестилевский

Т.А.Алешина

В.И.Логанина

А.Д. Рыжов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО РСУ «Спецработ»

В.А.Пшестилевский

19.04. 2016 года



**Теплоизоляционные композиционные известково-цементные сухие
строительные смеси с применением добавки на основе аморфных
алюмосиликатов**
Технические условия

2016 г.

ПРОЕКТ СТО

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

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗВЕСТКОВО-
ЦЕМЕНТНЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
СМЕСИ 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 известково-цементной теплоизоляционной 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 натриевое 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 толщу 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

4 Общие положения

4.1 Состав представляет собой сухую строительную смесь, состоящую из извести, перлитового песка, белого цемента, добавки на основе аморфных алюмосиликатов, пластификатора, ретарданта, ретарданта порошка, гидрофобизатора.

4.2 Отделочный состав наносят на поверхность мастерком или методом пневматического распыления.

5 Технические требования

Теплоизоляционные 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 модифицирующая на основе 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 теплоизоляционных 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 синтетической добавки должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Нормы и требования, предъявляемые к строительным смесям, готовым к применению, и покрытиям 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 кг/м ² ·ч ^{0,5}	DINEN1015-18

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
6	Водоудерживающая способность	Не менее 97 %	ГОСТ 5802
1	2	3	4
7	Деформация усадки	Не более 0,4 мм/м	ГОСТ 24544
8	Коэффициент теплопроводности	Не более 0,2 Вт/м·К	DINEN1745

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 на основе 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 ГОСТ 965-89	-предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе; -сроки схватывания; -химический состав клинкера.
2	Известь-пушонка	ГОСТ 9179-77	- активность; - температура и время гашения; - содержание непогасившихся зерен; - тонкость помола

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
5	Перлитовый песок	ГОСТ 10832-91	<ul style="list-style-type: none"> - химический состав; - гранулометрический состав; - насыпная плотность;
6	Пластификатор Melflux 1641 F	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
7	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
8	Гидрофобизирующая добавка Zincum – 5	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика
9	Вода	ГОСТ 23732	<ul style="list-style-type: none"> -водородный показатель рН. -окисляемость - грубодисперсные примеси в воде -максимально допустимое содержание ионов SO₄

7 Технология изготовления теплоизоляционной сухой строительной смеси

7.1Рецептура теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести содержит такие компоненты как: белый портландцемент, перлитовый песок, пластификатор Melflux 1641F, релдиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор Zincum – 5 и добавку на основе аморфных алюмосиликатов в массовых долях, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Рецепттура 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 Melflux1641 F	0,43
5.	Релдиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	7,09
6.	Гидрофобизатор Zincum – 5	0,35
7.	Добавка на основе аморфных алюмосиликатов	7,09
ИТОГО:		100,00

7.2 Технология изготовления теплоизоляционной 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 на основе 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, 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.

9 Контроль производства

9.1 Методы контроля производства теплоизоляционной сухой строительной смеси представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Контроль производства теплоизоляционной 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 Теплоизоляционная сухая строительная смесь должна приниматься техническим контролером или лицом, ответственным за качество, предприятия-изготовителя.

10.2 Теплоизоляционная сухая строительная смесь принимается партиями. За партию принимают количество теплоизоляционной сухой строительной смеси одной рецептуры, изготовленной в течение одной смены из материалов одного вида и качества.

10.3 Приемку теплоизоляционной 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 теплоизоляционных сухих строительных смесей: прочность, теплопроводность, 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 не ПРОЕКТ СТО 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/м³.

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 теплоизоляционные сухие смеси перевозят транспортными пакетами автомобильным, железнодорожным и другими 24 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 Теплоизоляционные сухие строительные смеси должны храниться в упаковке предприятия-изготовителя, в сухих помещениях с влажностью воздуха не более 70 %, при температуре не ниже +5°С 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 истечении 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 теплоизоляционной 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 теплоизоляционной 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 теплоизоляционной штукатурки принимается равной 0,1 мм/мин.

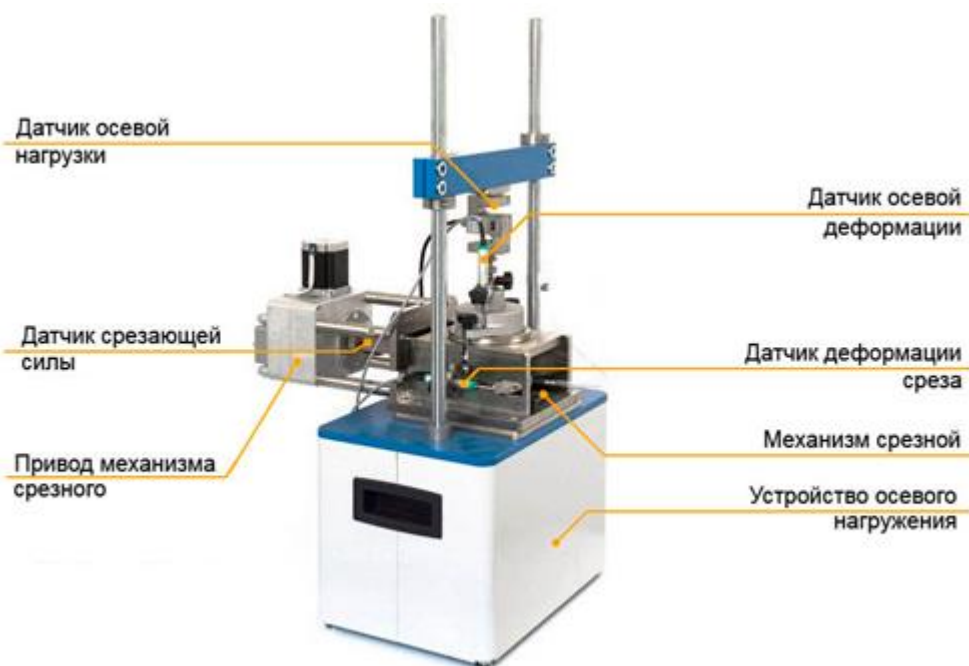


Рисунок А.1 – Внешний вид прибора ГТ 2.2.3

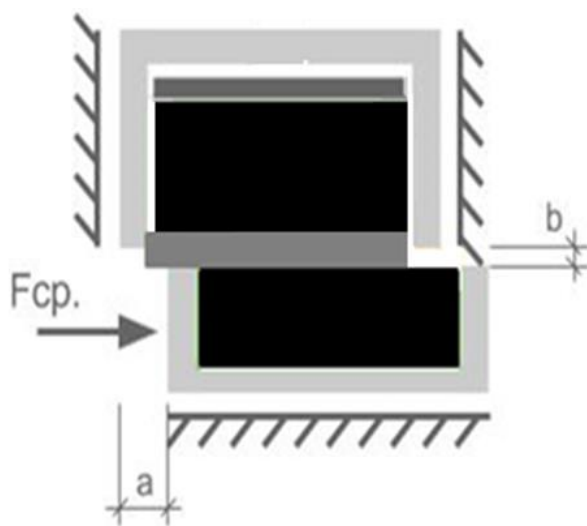


Рисунок А.2 – Схема испытания исследуемых образцов на сдвиг

Испытание образцов проходило по схеме, представленной на рисунке А.2.

Ключевые слова: известковые сухие строительные смеси, теплоизоляционная смесь, заполнитель, правила приемки, технология производства, методы контроля, приемка, упаковка, маркировка, транспортирование, хранение, сдвиг.
