

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

На правах рукописи

Зайцева Мария Владимировна

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

2.1.5. Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Логанина Валентина Ивановна

Пенза – 2023

Оглавление

Введение	4
1 Состояние вопроса и задачи исследования	9
1.1 Анализ нормативной документации в области контроля строительных материалов и изделий	9
1.2 Составы для реставрации и отделки стен зданий	16
1.3 Цель и задачи исследования	23
2 Материалы и методы исследований	25
2.1 Характеристика материалов	25
2.2 Методика оценки достоверности контроля	28
2.3 Методика оценки физико-механических свойств строительных смесей и покрытий на их основе	33
2.4 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов	37
2.5 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе разрабатываемого состава	39
3 Разработка системы контроля качества отделочных покрытий	42
3.1 Достоверность контроля качества в зависимости от числа контролируемых параметров	42
3.2 Достоверность контроля качества отделочных составов и покрытий в зависимости от вида контролируемых и неконтролируемых параметров	45
3.3 Репрезентативность выборки	54
3.4 Влияние состояния технологического процесса производства на показатели достоверности контроля качества отделочных составов и покрытий	58
3.5 Оценка качества сухих строительных смесей с учетом вариабельности сырья	70
Выводы по главе 3	80
4 Разработка известкового состава для реставрации и отделки стен зданий	82
4.1 Закономерности структурообразования известковых композиций с добавкой полисиликатного раствора	82
4.2 Закономерности изменения технологических и реологических свойств известковых композиций с добавкой полисиликатного раствора	101
Выводы по главе 4	108

5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе известковой смеси	110
5.2 Обеспеченность стойкости к отслаиванию отделочного слоя	111
5.3 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов	114
Выводы по главе 5.....	127
Заключение	129
Список литературы	132
Приложение А. Акт опытно-производственного апробирования.....	151
Приложение Б. Проект СТО. Технические условия.....	152

Введение

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

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

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

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

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки составов для реставрации и отделки стен зданий посвящены многочисленные работы

российских и зарубежных ученых Загороднюк Л.Х., Лесовика В.С., Низиной Т.А., Акуловой М. В., Пустовгар А.П., Чулковой И.Л., Фроловой М.А., Fortes-Revilla, Degryse P., Cachim, P. и др. Вопросы теории и практики контроля и обеспечения качества рассматривались в трудах отечественных и зарубежных специалистов, ученых Данилевич С.Б., Кузнецов Л.А., Маевский С.М., Рубичев Н.А., Фрумкин В.Д., Серых В.И., Song, P.S., Montgomery D. C., Sakata S., Wang K.B. и др.

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

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

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

Научная новизна работы. Установлены закономерности формирования структуры и свойств известковых составов и покрытий на их основе при введении в рецептуру полисиликатного раствора, заключающиеся в том, что содержащиеся в полисиликатном растворе кремнийкислородные анионы (ККА) в мономерной форме обеспечивают взаимодействие с известью с образованием дополнительно гидросиликатов кальция-натрия, гидратных фаз, близких по химическому составу

к С-S-H (I). Установлено повышение прочности известкового композита с увеличением содержания в полисиликатном растворе кремнийкислородных анионов в мономерной форме.

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

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

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

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

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

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационной работы является системный подход, предполагающий комплексное рас-

смотрение предмета исследования. Для получения аналитических данных использовали физико-химические и физико-механические методы испытаний, методы статистической обработки результатов экспериментов, метод сравнительного анализа. Изучение свойств и основных характеристик известкового отделочного состава проводилось с применением действующих нормативных документов. Для оценки структурных изменений при модификации связующего компонента применяли современные методы физико-химических исследований.

Положения, выносимые на защиту:

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

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

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

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы представлены на: XVI международной научно-технической конференции

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

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

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

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

1 Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Анализ нормативной документации в области контроля строительных материалов и изделий

Обеспечение поступления на рынок качественной продукции связано с соблюдением требований нормативных документов на эту продукцию [3,4,7,10,11, 26,82,83,93,109,116,132]. Важным элементом управления качеством выпускаемой продукции строительного назначения являются измерения и контроль качества [26,31,77]. В процессе контроля осуществляется сопоставление фактически достигнутых результатов с данными нормативной документации [22,25,29].

Стандарты Европейского союза, регламентирующие качество строительных материалов, едины для всех стран участников альянса, гармонизированы с национальными стандартами, но не ограничивают их использование. В частности, требования к отделочным растворам включены в единый стандарт Европейского союза за номером EN 998–1, а добавки к бетонам описаны в EN 934. В Великобритании действует национальный стандарт для растворов BS 4551, где указаны методы тестирования, дополняющие единый европейский стандарт EN 1015. Таким образом, стандарт «Растворы строительные для каменной кладки. Технические условия. Часть 1. Строительный раствор для нанесения обрызга и штукатурки» имеет страновую кодировку BS EN 998–1 – для Великобритании, DIN EN 998–1 – для Германии, SIST EN 998–1 – для Словении.

Кроме указанных европейских и национальных стандартов, для демонстрации необходимого уровня качества могут быть использованы международные нормативные документы, например, адаптированные в России ISO 12491:1997 «Статистические методы контроля качества строительных материалов и изделий» и ISO 9001 «Система менеджмента качества». Комбинация международных, национальных и стандартов альянса в сочетании с данными о предыдущей практике применения исследуемых строительных материалов призвано обеспечить соответствие требованиям законодательства в части строительных материалов. Приложение А стандарта EN 998-1-2017 содержит описание отбора проб для первичного контроля

и для независимого контроля поставляемой продукции, где указано, что необходимое для пробы количество штукатурного раствора требуется взять из партии раствора, объем которой составляет не менее 10 м^3 , а взятие пробы должно производиться согласно одному из методов, указанных в EN 1015–2. Отбор проб, согласно EN 1015–2, включает взятие минимум трех порций анализируемого раствора путем пропускания сосуда для забора поперек потока, выходящего из смесителя.

Согласно части 6 стандарта EN 934 об исполнении порядка соответствия требованиям качества добавок к бетонам, каждый исследуемый образец должен представлять не более одной партии продукции, а для непрерывного производства репрезентативной может считаться одна проба, взятая из 25 тонн продукции. Пробу составляют образцы из 6 упаковок или, если общее количество упаковок менее 6, из всех доступных упаковок. Из приведенных данных видно, что аспект достоверности контроля качества представлен ограничено, если обсуждаемые европейские и национальные стандарты рассматривать в изоляции от ISO 12491:1997 и ISO 9001.

Проблемы выборочного контроля в массовом производстве, в том числе и строительного сектора, изучала значительная часть специалистов, результаты работы которых представлены в их научных трудах. Подобными исследованиями, к примеру, занимались Ю.К. Беляев, Д. Коуден, А.К. Кутай, Х.Б. Кордонский, Я.П. Лумельский, С.Х. Сираждинов, М.И. Эйдельмант, Б. Хенсен, Б.М. Абдрашидов, В.Г. Григорович, С.В. Юдин, Х. Кумэ, В.А. Лapidус, С.Б. Данилевич, С.М. Маевский, Н.А. Рубичев, В.Д. Фрумкин и др.

В настоящее время используют несколько стандартов, регламентирующих порядок проведения приемочного контроля строительных материалов и изделий [23,49,51]. ГОСТ Р ИСО 12491–2011 «Материалы и изделия строительные. Статистические методы контроля качества» содержит процедуру проведения выборочного контроля по количественному признаку.

Из одной партии строительных изделий отбирают тестовую выборку, состоящую из n единиц продукции. Далее на основе наблюдаемых значений исследуемых характеристик продукции x_1, x_2, \dots, x_n определяют среднее значение выборки \bar{x}

и стандартное отклонение s . Если задана только нижняя граница поля допуска $НД$, то партию принимают при условии выполнения неравенства (1.1):

$$\bar{x} - k_s s > НД, \quad (1.1)$$

где k_s – приемочный параметр,

и, соответственно, не принимают, считая негодной, если данное неравенство не выполняется. При заданной только верхней границе поля допуска $ВД$ партию изделий примут при выполнении условия

$$\bar{x} + k_s s < ВД \quad (1.2)$$

и не принимают при невыполнении данного неравенства. Если заданы как нижняя, так и верхняя границы поля допуска, $НД$ и $ВД$, то для приемки партии изделий должны выполняться оба вышеуказанных неравенства. И соответственно, если одно или оба неравенства не выполняются, подвергшиеся контролю партию не принимают.

В работах [51,52,50] анализировалась возможность приемки партии готовых изделий внутренних стеновых панелей производства ОАО «Завод ЖБК-1» (г. Пенза) в соответствие с данными заводской лаборатории согласно нормативам ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» и ГОСТ Р ИСО 12491–2011. Выявлено, что заключение о приемке партии изделий по ГОСТ 10180–2012 зависит от объема выборки партии исследуемой готовой продукции строительных материалов и выбранной доверительной вероятности. При контроле качества продукции в соответствие с ГОСТ 50779.21–2004 партия продукции может быть принята только при уровне дефектности AQL, равном 2,5%.

Исходя из вышеизложенного, налицо определенная рассогласованность выводов о принятии партии между данными, содержащимися в ГОСТ 10180–2012, ГОСТ Р ИСО 12491–2011 и ГОСТ 50779.21–2004. Данное утверждение свидетельствует о необходимости внесения корректировок в ГОСТ 10180–2012 пункта 4 в части количества образцов для испытаний с учетом требований ГОСТ Р ИСО 12491. Подобные изменения будут способствовать повышению объективности

принятия решению о приемке или отклонению партии готовой продукции исследуемых строительных изделий.

Согласно закону «О техническом регулировании» ключевыми составляющими технического регулирования являются нормирование требований, обеспечивающих безопасность эксплуатации продукции, и подтверждение соответствия продукции установленным требованиям. Показатели риска определяются количественной оценкой ущерба, полученного в результате эксплуатации продукции, не соответствующей требованиям. При этом уровень допустимого риска в нормативных документах выражается, как правило, посредством предельно допустимых значений контролируемых показателей – нормативов безопасности [32,30,27,75,174].

Следует отметить, что действующие в настоящее время научно-технические и нормативные документы не содержат сведений, касающихся требований безопасности продукции, соответственно отсутствуют гарантии оценки уровня качества продукции. Исходя из этого, высокую актуальность приобретает задача оценки рисков, решение которой позволит гарантировать потребителю качество изделий, а производителю снизить издержки и укрепить позицию на рынке.

Понятие достоверности контроля содержится в целом ряде нормативных документов [20,100,109,132,119,120,123,176], но в них отсутствует алгоритм расчета, пригодный для практического применения. К примеру, и в ГОСТ Р 8.563–2009, и в РМГ 63–2003 содержатся только декларации о необходимости достоверного контроля, а в ПМГ 92–2009 достоверность контроля только упоминается. И лишь в ГОСТ Р 8.731–2010 есть общий алгоритм определения показателей достоверности систем допускового контроля без определенных расчетных формул. Достоверность контроля объекта не является характеристикой методики измерений ввиду того, что зависит от погрешности методики и от параметров контролируемого объекта.

Как известно, процесс производства характеризуется вариациями его параметров, вызванными значительным числом факторов воздействия. На изменчивость результатов измерений могут оказывать влияние:

- а) оператор;
- б) используемое оборудование;

- с) калибровка оборудования;
- д) параметры окружающей среды (температура, влажность, загрязнение воздуха и т. д.);
- е) интервал времени между измерениями.

Очевидно, что проконтролировать возможно не все параметры, следовательно, получаемая в результате контроля информация содержит неопределенность. Достоверность контроля зависит от объема контроля и точности измерений.

В соответствие с ГОСТ Р 8.563–2009 (п. 5.1.3) «Методики измерений должны обеспечивать требуемую точность оценки показателей, подлежащих допусковому контролю, с учетом допусков на эти показатели, установленных в документах по стандартизации или других нормативных документах, а также допустимых характеристик достоверности контроля и характера распределения контролируемых показателей» [25,31,56,157, 177,178,179].

Условие годности объекта контроля (изделия) можно записать неравенством 1.3 (действительные значения контролируемого параметра обозначены как U_d , предельные значения установлены в качестве $U_{д.в.}$ - наибольшее допускаемое значение параметра, а наименьшее допускаемое значение принято за $U_{д.н.}$):

$$U_{д.н.} \leq U_d \leq U_{д.в.} \quad (1.3)$$

Изделия приняты годными в случае, если действительные значения контролируемых параметров, указанных в технических условиях, расположены в интервале между наименьшим и наибольшим допускаемыми значениями. Однако, как показывает практика, измерения характеризуются погрешностями, в результате чего происходит приемка как годных изделий по действительным отклонениям, выходящим за границы поля допуска (с вероятностью α_i), так и ложный отказ от приемки годных изделий, действительные значения контролируемого параметра которых находятся в поле допуска (с вероятностью β_i). По результатам разбраковки отклонения лежат в границах предельно допустимой погрешности измерения, обозначенной как $\pm u_i$.

Следовательно, есть основания предположить, что объективность контроля качества изделия находится в непосредственной зависимости от достоверности результатов измерения, которые, в свою очередь, зависят от точности средств измерения (СИ) [7,10,25, 27, 31, 71,72,139,143].

Эффективность применяемых решений при использовании любого вида и метода измерительного контроля объекта, основанная на полученных результатах измерений (y), обусловлена определённым набором случайных событий, объединённых в полную группу событий:

- вероятность того, что контролируемое по определённому параметру изделие годно и будет признано годным $P_{г-г}$;
- вероятность того, что контролируемое по определённому параметру изделие дефектно и будет признано дефектным $P_{д-д}$;
- вероятность того, что контролируемое изделие годное, но будет ошибочно признано дефектным – ошибка I рода (или ложный брак) (α) $P_{д-г}$;
- вероятность того, что контролируемое изделие дефектно, но будет ошибочно признано годным – ошибка II рода (или скрытый брак) (β) $P_{г-д}$.

Обозначенные вероятности представляют полную группу событий

$$P_{Б-Г} + P_{Г-Б} + P_{Г-Г} + P_{Б-Б} = 1 \quad (1.4)$$

В качестве показателей достоверности контроля предложено принять риски заказчика R_z , производителя $R_{п}$, вероятность ошибки контроля второго рода P_2 [28, 29, 31, 32, 30, 88, 89, 90, 141, 142]. Риск заказчика R_z представляет собой вероятность, которая характеризуется средней долей негодных изделий среди всех признанных в результате контроля годными (и поступающих заказчику) изделий. Риском производителя $R_{п}$ можно обозначить вероятность, устанавливающую среднюю долю не корректно отбракованных фактически годных единиц изделий от общего количества поступающих на контроль изделий. Так P_2 обозначена вероятность ошибки контроля второго рода, характеризующая среднюю долю принятых в ходе контроля, но не годных единиц изделий, от общего количество всех поступающих на контроль не годных изделий.

Достоверность контроля P_d может быть рассчитана по формуле:

$$P_d = 1 - \alpha - \beta, \quad (1.5)$$

где α – ошибка 1-го рода (риск изготовителя);

β – ошибка 2-го рода (риск заказчика или потребителя).

Предложенная А. Б. Шаевичем [98,99] формула (1.5) используется так- же и другими авторами [30,97]. В ГОСТ Р 8.563–2009 содержится нормирование комплексного показателя достоверности контроля P_d как наиболее простого и наглядного. Практика нормирования данной величины состоит в следующем: $P_d \geq 95\%$ (ГОСТ 8.051–81).

Кроме того, достоверность контроля находится в зависимости от настройки технологического процесса производства, а именно, от его статистической стабильности и воспроизводимости [51,58,55,152,158,164]. Известно, что любой процесс будет зависеть от совокупности причин изменчивости, иными словами, вариабельности. В случаях, когда система подвергается воздействию как системных, так и особых вариаций, ее состояние можно охарактеризовать как статистически неуправляемое или нестабильное. Индексы воспроизводимости C_p и пригодности P_p процесса являются показателями, описывающим воспроизводимость процесса производства. Индексы C_{pk} и P_{pk} , учитывающие центрированность получаемых результатов, необходимо использовать в ходе анализа, если среднее процесса отличается от середины поля допуска или существует возможность его отличия.

Определено [50,55,56,72], что достоверность соблюдения технологии производства бетонных стеновых камней, оцененная с учетом только 5 показателей качества, составляет 0,8924. Это значит, что если все измеренные значения показателей находятся внутри допустимых пределов, то фактические значения для 10,76% изделий могли оказаться вне разрешенных пределов. При условии оценки дополнительных показателей, учтенных в ходе входного и операционного контролей, достоверность соблюдения технологии будет еще меньше. Чтобы избежать снижения достоверности соблюдения технологии, необходимо увеличить точность измерительных приборов и повысить достоверность контроля.

Статистическое регулирование технологического процесса [67] будет способствовать повышению достоверности контроля и снижению рисков производителя и потребителя. Этой же цели будет служить использование методологии «шесть сигм» [1,93,109,119,129,132,172,173] на предприятии. Доказано, что при повышении значения среднеквадратического отклонения происходит повышение вероятности появления ошибок I и II рода. Статистически стабильный и воспроизводимый процесс позволяет увеличить достоверность контроля качества продукции и избежать ошибок при принятии решения о браке продукции.

В ходе контроля продукции, включая строительную, важнейшую роль играет репрезентативность выборки. В настоящее время в действующих нормативных документах, регламентирующих контроль качества строительной продукции, объем выборки описан без учета уровня дефектности продукции и риска потребителя. В связи с этим выводы или решения о качестве изделий могут оказаться ошибочными. Комплексное понимание объективного процесса качества данных, разработка плана выборки, реализация плана выборки и контроля качества необходимы для оценки репрезентативности выборки.

Обзор российской и иностранной литературы свидетельствует о том, что вопросы контроля качества строительных изделий и материалов волновали многих зарубежных и отечественных ученых. Но несмотря на значительный объем исследований в области контроля и управления качеством строительной продукции, целый ряд аспектов требует дополнительного рассмотрения. А именно, представляет практический интерес совершенствование системы контроля качества как неотъемлемой части единой системы управления качеством, это позволит в дополнение к существующим нормам гарантировать потребителю ожидаемый уровень качества строительных изделий.

1.2 Составы для реставрации и отделки стен зданий

В рамках сохранения архитектурного наследия прошлого и санации зданий исторической застройки требуется применения отделочных материалов специального назначения. Как правило, окрашивание стен подобных зданий производилось

известковыми составами. В настоящее время отделка и реставрация исторических зданий вызывает затруднения по причине несовместимости известковой штукатурки исторического покрытия с современными отделочными материалами. Таким образом, современные краски имеют низкую пригодность для окрашивания зданий, оштукатуренных известковыми составами, поскольку лакокрасочные пленки, образуемые органическими красками на слабых подложках, отслаиваются и растрескиваются в течение короткого периода времени, часто вместе с небольшими фрагментами верхнего отделочного слоя известковой штукатурки [34,180,147].

Несмотря на наличие значительного количества известковых составов российского и зарубежного производства, представленных на рынке отделочных материалов, подавляющее большинство производителей использует иностранное сырье. Среди наиболее востребованных решений для реставрации объектов архитектурного и культурного наследия можно отметить известковые краски немецкого бренда «Капарол», финского бренда «Тиккурилла», а также российского – «Силакра» и «Антик 1,2». Однако даже для российских производителей характерна высокая зависимость от иностранных компонентов и добавок, составляющих значительную долю себестоимости готовой продукции.

Добавки, такие как фторид натрия, алюминат натрия, хлорид кальция, карбонат калия, аморфная окись алюминия, тонкодисперсный аморфный кремнезем, вводимые в рецептуру известковых составов, способствуют повышению скорости твердения и увеличению прочности известковых композитов [5,163].

Композиты на минеральном вяжущем характеризуются повышением эксплуатационной стойкости при добавлении в рецептуру коллоидных дисперсий на основе диоксида кремния. Обозначенные добавки оказывают значительное воздействие (до 30%) на сокращение количества пор размером от 1 нм и выше, увеличение водоудерживающей способности на 6%, снижение тенденции к расслаиванию на 34%, купирование выделения солей на поверхности отделочного слоя [33,38,39,54,138,165,171,167].

С целью интенсификации процесса твердения известки в работе [76] предлагается включение в рецептуру известковых составов добавки на основе природных

цеолитов. Синтезированные цеолиты рекомендованы к использованию в компози- тах на основе минеральных вяжущих в других работах [64,75,151,160,162]. Авто- рами выделены и оценены закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки на основе синтетического цеолита. Указанные закономерности состоят в формировании гидросиликатов кальция-натрия, минера- лов группы цеолитов и в увеличении количества химически связанной извести на 8,74%.

Предложение о применении синтезированных гидросиликатов кальция (ГСК), приводящих к повышению стойкости известковых покрытий, изложено в работах [53,69,70,71,79,143]. Разработанный известковый состав для отделки и ре- ставрации стен зданий представлен в виде сухой смеси, содержащей наполнитель на основе гидросиликатов кальция. Это позволяет приготовить растворные смеси, характеризующиеся показателями водоудерживающей способности на уровне 98– 99%, временем высыхания до степени «5» 15–20 минут и жизнеспособностью в ин- тервале 1–1,5 часа. Данные покрытия на основе указанной смеси имеют значения коэффициента паропроницаемости 0,05 мг/м·ч·Па, прочности сцепления 0,6–0,9 МПа, прочности при сжатии 3–4 МПа.

В ходе проектов реставрации исторических зданий в городах Шанхай и Хан- чжоу в Китае для ремонта и восстановления отслоившихся поверхностей из нату- рального камня, гипса и кирпича применяется система на основе гидравлической извести (NHL), которая состоит из клеев и инъекционных растворов. Технические требования к составам, указанные авторами, для проведения ремонтных работ по- верхности имеют следующие характеристики: прочность на отрыв $0,1 \text{ МПа} < 0,5 \text{ МПа} \leq 1,0 \text{ МПа}$ (высокие показатели прочности на отрыв может стать причиной большего растрескивания внутри каменной поверхности), водопоглощение при ка- пиллярном всасывании $< 2 \text{ кг/м}^2\text{ч}$, паропроницаемость $\mu \leq 100$, коэффициент терми- ческого расширения – $\pm 50\%$ известняка [6,101,104].

В ряде работ [102,108,117,131,122,153] вносится предложение об использо- вании в проектах реставрации известковых составов, в рецептуре которых содер-

жятся органические компоненты (полисахариды, белки и жирные кислоты). Авторами установлено, что при введении животного клея в виде добавки повышается механическая прочность раствора и фронт карбонизации в 2 раза, уменьшается пористость и размер пор.

Известково-метакаолиновые смеси предложены к использованию в работах [124,105,106,112,113,129,131,128,129,130,156] для восстановления исторических кладок. Указанные растворы применяли для производства некоторых белых штукатурок города Генуя, Италия (Chiaverini, 2004; Маннони, 1988). Было выявлено, что при увеличении соотношения метакаолин / известь в смесях повышается количество химически связанной воды, снижется размер пор – узкие поры (до 0,1 мкм), возрастает прочность при сжатии растворов до 9 МПа.

Одним из решающих параметров отбора реставрационных материалов можно назвать соблюдение базовых основ международной реставрационной практики и постулатов Международной хартии консервации и реставрации исторических памятников и достопримечательностей (Венеция, 1964). Кроме того, необходимо принимать во внимание законодательные акты, государственные законы, постановления и другие ведомственные нормативные документы [118,9,21,24,110,121,136,150,169,111,181]. Выбор и использование материалов в ходе реставрационного проекта должны иметь теоретические основы, определяющие значимость сохранения культурного наследия, а также учитывать основные принципы реставрации. Ведь при проведении любого вида работ на памятнике необходимо сохранить его внешний облик и материал, из которого памятник изготовлен. Замена материала может сопровождаться утратой технологических особенностей создания объекта, характеризующих подлинность, а также уникальность техники и технологии исполнения.

Отмечается [91], что при нанесении современной штукатурки, когда происходит частичная или полная замена исторического слоя, защитное действие проявляется только в том случае, если ее поровая система доступна для проникновения воды в жидком и парообразном состоянии.

Использование современной водостойкой штукатурки на исторической кладке создает предпосылки к формированию ситуации, характеризующейся негативными явлениями как внутри слоя, так и на его поверхности, указывается в исследовании [96]. Любой непроницаемый поверхностный слой рано или поздно треснет по причине теплового движения, тем самым нарушив непрерывность водного барьера. В результате штукатурка будет обходить воду, распространяющуюся в кладке, и скапливаться по границе непроницаемого слоя, препятствующего испарению. Кроме того, ввиду препятствия испарению показатель влажности в кладке достигнет наиболее высокого уровня в условиях использования современной непроницаемой штукатурки под постоянным воздействием поднимающейся влаги. В результате внутреннее напряжение будет возрастать на границе раздела сред под влиянием кристаллизации соли и образования инея.

Разнообразие реставрационных материалов велико, однако ко всем этим материалам, в том числе и вяжущим, предъявляются лишь общие требования. Но как отмечалось выше, современные материалы, используемые в проектах реставрации и непосредственно контактирующие с историческими материалами, обязаны быть схожими с ними по ряду параметров. Они должны быть близкими к исходному материалу по фактуре, микро- и макроструктуре, не отличаться и не изменять цвет материала, обладать сопоставимыми параметрами прочности и долговечности, должны характеризоваться стойкостью к воздействиям атмосферы, а также биостойкостью, при этом быть стабильными в ходе длительного периода эксплуатации. Ключевым аспектом является совместимость современного и исходного материалов, которая препятствует рождению механических напряжений на стыке при накапливании влаги и водорастворимых солей в контактной зоне. Это замедляет разрушительное действие и отторжение новых включений, что, как правило, характеризуется деструкцией подлинного материала исторического слоя. В работах [94,95] изложена концепция принципа сродства структур, согласно которого структуры строительных материалов могут быть разделены на 3 уровня по размерам пор: наноструктура; микроструктура; макроструктура.

Принцип сродства структур описывает минимизацию как физико-химических, так и структурных различий между управляемой матрицей и неизменяемой структурой заполнителя или реставрируемого элемента исторического объекта с тем, чтобы поровая структура полученного композита стала единой и однородной. В данном случае вода свободно мигрирует по капиллярам целого композита, поддерживая и интенсифицируя равномерное уплотнение и упрочнение его новообразованиями [45].

При всей комплексности задачи формирования капиллярно-пористых структур и получения материалов трех уровней, она выполнима в условиях использования совместного помола компонентов, технологических приемов фракционирования, использования техногенного сырья, модифицирования добавками, а также применением компонентов, создающих определенную пористость материалов.

В продолжение вышеизложенного, в [95] предложены цементно-карбонатные смеси как реставрационных докомпоновочных композиций, имеющих добавку суперпластификатора СП и микронаполнитель CaCO_3 в количестве от 50 до 70%. Поскольку данные составы характеризуются близкими к авторскому материалу значениями пористости и прочности, соответственно их коэффициент размягчения $K_{\text{разм}}$, морозостойкость и усадочные деформации также имеют требуемые для целей реставрационных проектов значения. На основании принципа сродства структур можно предположить, что совместная работа докомпоновочного и реставрируемого материалов будет длительной.

В целях достижения сохранности памятников в условиях города требуется определение принципиально новых подходов к выбору как строительных материалов для восполнения утраченных элементов объекта архитектурного наследия, так и специальных химических материалов. Особого внимания заслуживают составы для антикоррозионной обработки загрязненных и поврежденных поверхностей объектов в целях достижения их совместимости с новым строительным материалом. Дополнительными задачами являются как защита памятников от окружающей среды, так и разработка системы профилактических мероприятий, которые учитывают актуальные условия эксплуатации исторических объектов.

Следовательно, при выборе строительных материалов для реставрационных проектов, а также проектов консервации, ремонтно-восстановительных работ необходимо учитывать их химические характеристики и прогнозы последствий реставрационного вмешательства.

Сегодня на рынок поступает значительное число кремнеземсодержащих добавок, используемых как в известковых, так цементных композитах [8,14,15,35,36,37,40,42,57,85,92]. Например, применяя ультрадисперсный модификатор на основе наногидросиликатов даже в малых концентрациях, можно воздействовать на кинетику взаимодействия цемента с водой затворения и добиваться повышения прочности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

Применение в известковых составах для реставрации и отделки стен зданий полисиликатного раствора представляет практический интерес. К полисиликатам можно отнести [2] силикаты щелочных металлов (силикатный модуль от 4 до 25), как переходная область составов от жидких стекол до кремнезольей, стабилизированных щелочью. Полисиликаты обладают широким диапазоном степени полимеризации анионов и представляют собой дисперсию коллоидного кремнезема в водном растворе силикатов щелочных металлов. Практическое использование полисиликатов отражено в изготовлении золь-силикатных красок, где полисиликаты используются как связующее. В работах [125,138,140,161,166,165,167] отмечается, что растворы полисиликата натрия с модулем 6-8 могут быть получены добавлением раствора жидкого стекла к концентрированному золю кремнезема с размерами частиц 5-25 нм, при этом концентрация кремнезема в растворе достигает 20% SiO_2 .

Полисиликатный раствор как добавление к золю кремневой кислоты жидкого стекла формируется из сократившихся в размерах частиц исходного золя и высокодисперсной фазы гидратированного кремнезёма с размерами частиц не более 5-7 нм [2,65,66,73]. Путем использования полисиликатов в качестве плёнкообразователя можно получить прочное водостойкое покрытие, обладающее требуемыми техническими характеристиками (атмосферостойкостью, химической стойкостью).

При смешивании жидкого стекла и золя кремниевой кислоты ввиду высокой щелочности среды ($\text{pH}=10,7-12,4$) достигается высокая скорость растворения коллоидных частиц SiO_2 . Образованный кремнезем в растворе существует в виде остатков низкополимерных и олигомерных поликремниевых кислот.

В работе [40,43] указано, что добавление полисиликата уменьшает контракцию в первые сутки твердения цемента. Установлено повышение скорости гидратации цементного камня в присутствии полисиликата «Силинома ВН-М». Также наблюдается снижение карбонизационных процессов в образце с «Силиномом ВН-М», что указывает на образование значительно более плотной структуры в наномодифицированных образцах, которая препятствует проникновению CO_2 в цементный камень.

Присутствие олигомерных и мономерных форм кремнекислородных анионов в составе полисиликатного раствора обеспечивают его реакционную способность в ходе взаимодействия с известью. По данным [54] при взаимодействии свежеприготовленного золя кремниевой кислоты с известью происходит переход полимерной фракции кремнекислородных анионов (ККА) в димерную фракцию. Это способствует протеканию химической реакции образования трехкальцевого гидросиликата («фаза TSH») в процессе твердения известково-кремнеземистого отделочного состава.

Однако стоит отметить, что, оставаясь актуальными, многие вопросы применения полисиликатного раствора в рецептуре известкового состава, предназначенного для реставрации и отделки стен зданий, не раскрыты.

1.3 Цель и задачи исследования

В результате проведенного анализа определено, что, принимая во внимание значительный объем научных и практических работ, посвященных методам увеличения эксплуатационной стойкости известковых композитов, многие аспекты этой области остаются нераскрытыми, в частности, затрагивающие проекты реставрации объектов культурного наследия. Требуется разработка состава, идентичного

реставрируемому материалу объекта по своим свойствам. Действующие в настоящее время нормативные документы в области контроля качества строительных материалов и изделий не охватывают в должной мере оценку достоверности контроля. Отсутствует возможность гарантии заданного уровня качества продукции, поскольку репрезентативность выборки установлена без учета риска производителя и потребителя. Ряд аспектов требуют отдельного рассмотрения.

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

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

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

2 Материалы и методы исследований

2.1 Характеристика материалов

При разработке рецептуры известковых составов применяли следующие компоненты:

1. вяжущее;
2. микрокальцит;
3. маршалит;
4. песок;
5. пластифицирующая добавка;
6. полисиликатный раствор.

В качестве вяжущего в работе применяли гашеную известь (пушонку) 1 сорта (ГОСТ 9179–2018) активностью 83%, насыпной плотностью, равной 477 кг/м³, истинной плотностью, равной 2216 кг/м³ и удельной поверхностью 1045 м²/кг (производство Каменского предприятия ОАО «Атмис-сахар»).

Следующие пластифицирующие добавки были использованы в ходе работы над рецептурой состава [159]:

- Кратасол ПЛ (ТУ 5745–333–05800142);
- Хидетал П-4(ТУ 5745–0 05–57330160–04);
- СП-3 (ТУ 5870–006–58042865–05);

В таблице 2.1 представлены показатели перечисленных добавок Кратасол ПЛ, Хидетал П-4 и СП-3.

Полисиликатный раствор получали смешением натриевого жидкого стекла и золя кремниевой кислоты Nanosil марки Nanosil 20 и Nanosil 30 производства предприятия «Промстеклоцентр». В таблице 2.2 приведены характеристики золя кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30.

Физико-химические показатели используемого жидкого стекла указаны в таблице 2.3.

Таблица 2.1 – Основные показатели добавок Кратасол ПЛ, Хидетал П-4 и СП-3

№ п/п	Наименование показателя	Фактические показатели		
		Кратасол ПЛ	Хидетал П-4	СП-3
1	Цвет порошка	темно-коричневый	от светло-жёлтого до тёмно-коричневого	Коричневый
2	Массовая доля сухих веществ, % не менее	95	92	90
3	Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5%	4,5-6	≥4,5	8±1
4	Содержание хлоридов, % не более	0,1	0,1	0,1

Таблица 2.2 – Характеристики золя кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30

Наименование показателей	Nanosil 20	Nanosil 30
рН	9-10,8	9-10,6
Массовая концентрация диоксида кремний, г/л	220-237	329-362
Массовая концентрация оксида натрия, г/л	3-7	2,5-6,5
Силикатный модуль	50-90	55-100
Площадь удельной поверхности, м ² /г	220-370	220-300

Гидроксид лития (2% от массы связующего вещества) был использован в целях стабилизации полисиликатного раствора. В течение одного часа, перемешивая постоянно при температуре 80°C, золь кремниевой кислоты Nanosil 20 вводили порционно по 5,10 и 15% от массы жидкого стекла.

Таблица 2.3 – Основные физико-химические показатели жидкого стекла

Наименование показателей	Значения
Внешний вид	Густая жидкость желтого цвета без механических примесей и включений, видимых невооруженным глазом
Плотность, кг/м ³	1360–1450
Массовая концентрация диоксида кремния, %	22,7–29,6
Содержание R ₂ O, %	9,3–12,8
Силикатный модуль	2,3–2,6
Вязкость по воронке ВЗ-4, с, не более	20

В качестве наполнителя применяли микрокальцит марки КМ2 (ГОСТ 56775–2015), маршалит марки «А» (ГОСТ 9077–82), кварцевый песок Ухтинского месторождения. Свойства наполнителей приведены в таблице 2.4, 2.5.

Таблица 2.4 – Основные показатели микрокальцита марки КМ2 (ГОСТ 56775–2015)

Наименование показателя	Фактические показатели
Внешний вид	Порошкообразный материал белого цвета
Массовая доля CaCO ₃ , %	99,28
Массовая доля MgCO ₃ , %	0,56
Массовая доля Fe ₂ O ₃ , %	0,02
Твердость по шкале Мооса	3
Размер средней частицы, мкм	2
Белизна, %	99
Влажность, %	0,2
Значение pH	9

Насыпная плотность, кг/м ³	690
Истинная плотность, кг/м ³	2717
Удельная поверхность, м ² /кг	1096

Таблица 2.5 – Физико-химические показатели маршалита марки «А» (ГОСТ 9077–82)

Наименование показателя	Фактические показатели
Внешний вид	Порошкообразный материал серого цвета
Массовая доля SiO ₂ , %	99,7
Массовая доля Al ₂ O ₃	0,19
Массовая доля Fe ₂ O ₃ ,	0,01
Средний диаметр частиц, мкм	14,9
Белизна, %	92
Маслоемкость, г/100г	20,3
Насыпная плотность (кг/м ³)	1067
Истинная плотность (кг/м ³)	2232
Удельная поверхность, м ² /кг	180,1
Средний диаметр, мкм	14,9

В работе применяли пески Ухтинского месторождения (Пензенская область), их минералогический состав в основном представлен кремнеземом (до 97%), удельная поверхность составляет $S_{уд} = 20$ м²/кг, истинная плотность имеет значение $\rho_{ист} = 2650$ кг/м³, насыпная плотность достигает уровня $\rho_{нас} = 1340$ кг/м³, среднее значение модуля крупности равно 1,38.

2.2 Методика оценки достоверности контроля

Достоверность контроля P_d вычислялась в соответствии с формулой [31,32,27]:

$$P_d = 1 - \alpha - \beta, \quad (2.1)$$

где α – ошибка 1-го рода (риск изготовителя, вероятность того, что фактически годное изделие будет признано негодным);

β – ошибка 2-го рода (риск потребителя, вероятность того, что неработоспособное изделие будет признано годным).

Риски производителя (α_i) и потребителя (β_i) вычисляли по формулам:

$$\alpha_i = \int_a^b f(U_i) \left[\int_{-\infty}^{a_1} f(y_i|U_i) dy_i + \int_{b_1}^{\infty} f(y_i|U_i) dy_i \right] dU_i; \quad (2.2)$$

$$\beta_i = \int_{-\infty}^a f(U_i) \left[\int_{a_1}^{b_1} f(y_i|U_i) dy_i \right] dU_i + \int_b^{\infty} f(U_i) \left[\int_{a_1}^{b_1} f(y_i|U_i) dy_i \right] dU_i,$$

где $[a_1; b_1]$ – интервал для погрешности y_i , при условии, что значения U_i попали в интервал $[a; b]$;

i – оцениваемый параметр.

Так как качество продукции характеризуется несколькими параметрами, то значение риска изготовителя определяли по формуле [27]:

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \alpha_i), \quad (2.3)$$

где k – число измеряемых параметров;

α_i - ошибка 1-го рода, совершаемая при измерении параметра i .

Количество образцов, необходимых для испытаний, подчиняется зависимости [23,71,77]

$$n = \left(\frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{R_0 - R_1} \right)^2 \sigma^2, \quad (2.4)$$

где $z_{1-\alpha}$ и $z_{1-\beta}$ – квантили стандартного нормального распределения уровней $(1-\alpha)$ и $(1-\beta)$ соответственно.

Значение математического ожидания «некачественного» показателя R_1 равно:

$$R_1 = \text{НД} + z_{1-\text{NQL}} \sigma, \quad (2.5)$$

где НД – значение нижнего допуска на параметр качества.

Расширенную неопределенность результата измерения определяли в соответствии с выражением:

$$U(X_i) = k u_c(X_i), \quad (2.6)$$

где k – коэффициент охвата, равный $k=2$ при $P=0,95$;

$u_c(X_i)$ – суммарная неопределенность.

Суммарную неопределенность вычисляли по формуле:

$$u_c(X_i) = \sqrt{u_A^2(X_i) + u_B^2(X_i)}, \quad (2.7)$$

где $u_A(X_i)$ – стандартная неопределенность типа А;

$u_B(X_i)$ – стандартная неопределенность типа Б.

Расчетные формулы для определения стандартной неопределенности типов А и Б имеют следующий вид:

для типа А

$$u_A(X_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (2.8)$$

для типа Б

$$u_B(X_i) = \frac{\Delta X_i}{\sqrt{3}}. \quad (2.9)$$

Средняя ошибка признака при случайном отборе определяется формулой

$$m = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \quad (2.10)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение;

n – число наблюдений.

Предельная ошибка собственно-случайной выборки определялась по формуле

$$\Delta = t \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \quad (2.11)$$

где σ^2 – дисперсия;

n – объем выборочной совокупности.

Структурная схема надежности контроля строительных материалов представляет собой комбинацию последовательно соединенных параметров – входного, операционного и приемочного контролей [13,44,48,71,81,80,89]. При этом достоверность всей системы контроля будет определяться формулой

$$P(A) = P(A_1)P(A_2)P(A_3), \quad (2.12)$$

где $P(A_i)$ - достоверность контроля (входного, операционного, приемочного).

Измеренное значение контролируемого параметра X представим виде обобщенной модели

$$X = U + y, \quad (2.13)$$

где U – истинное значение параметра;

y – аддитивная случайная погрешность.

В ходе решения задачи анализа в качестве показателей достоверности принимали вероятности ошибок 1-го и 2-го рода и применяли численные методы и формулы Н. А. Бородачева, в которых f – плотность гауссовского распределения вероятностей

$$\alpha_i = \int_a^b f(U) \cdot \left[\int_{-\infty}^a f(Y) dX + \int_b^{\infty} f(Y) dX \right] dU ;$$

$$\beta_i = \int_{-\infty}^a f(U) \cdot \left[\int_a^b f(Y) dX \right] dU + \int_b^{\infty} f(Y) \cdot \left[\int_a^b f(Y) dX \right] dU , \quad (2.14)$$

где $[a_1; b_1]$ – интервал для погрешности y_i , при условии, что значения U_i попали в интервал $[a; b]$; i – оцениваемый параметр.

Оценку индекса воспроизводимости процесса рассчитывали по формуле

$$C = \frac{ВД-НД}{6\sigma}, \quad (2.15)$$

где σ – стандартное отклонение выборки, вычисленное для объема N .

Если математическое ожидание не совпадало с серединой поля допуска, то расчет индекса воспроизводимости производился исходя из соотношений

$$C = \frac{\mu - НД}{3\sigma} ; \quad (2.16)$$

$$C = \frac{ВД - \mu}{3\sigma} \quad (2.17)$$

Точность проведенных измерений оценивали, рассчитывая абсолютную и относительную погрешности Δx_i и ε по формулам:

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

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

где \bar{x} – среднее арифметическое значение измерений;

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

Грубые ошибки измерений оценивали с помощью критерия Шофене [13,25,26,82,90]. При использовании критерия Шофене рассчитывали вероятность получения значения, которое отклоняется от среднего значения выборки больше, чем сомнительное значение.

Вычисление среднего арифметического значения \bar{x} производили по формуле:

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

где n обозначено общее число наблюдений;

x_i является значением, полученным при i -м измерении (наблюдений).

Среднеквадратическое отклонение (СКО) измерений рассчитывали по формуле:

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

где за n принято общее число наблюдений;

x_i – среднее арифметическое значение i -го испытания;

\bar{x} является средним арифметическим значением измерений.

Коэффициент вариации V определяли по формуле:

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

где \bar{x} - среднее арифметическое значение измерений;

σ - среднеквадратическое отклонение.

Значения доверительных интервалов, покрывающих параметр α , при условии выполнения нормального закона распределения, определяли с учетом заданных коэффициентов надежности α и вероятности P , по формуле:

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

где t – значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$, при котором верно условие:

$$\Phi(t) = \alpha/2, \quad (2.24)$$

за n обозначен объем выборки.

Точность оценки при этом составила:

$$\delta = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.25)$$

Для доказательства выполнения нормального закона распределения применяли критерий Пирсона.

2.3 Методика оценки физико-механических свойств строительных смесей и покрытий на их основе

Силикатный модуль жидкого стекла определяли молибдатным методом, изложенным в ГОСТ 13078–2021 [17,87,133].

В целях анализа физико-химического взаимодействия извести и полисиликатного раствора была оценена работа адгезии полисиликатного раствора к извести, а также теплота смачивания. Работу жидкости к извести вычисляли по формуле:

$$A = \sigma (1 + \cos \theta), \quad (2.26)$$

Сталагмометрический метод использовали для определения поверхностного натяжения. В качестве эталонной жидкости использовали дистиллированную воду со следующими параметрами:

- плотность $\rho_m^{20^\circ C} = 0,9982 \text{ г/см}^3$;
- поверхностное натяжение $\sigma^{20^\circ C} = 72,8 \text{ мН/м}$.

Смачивающую способность полисиликатного раствора измеряли по углу смачивания (краевой угол θ). Исследования выполнялись на базе Центра Высоких Технологий БГТУ им. В. Г. Шухова с использованием специализированного оборудования, KRUSSDSA-30, с помощью которого определяли краевой угол смачивания. В ходе проведения исследования с помощью автоматического гидравлического пресса Vaneox –40t automatic с давлением в 18 тонн за 11 секунд были заформованы таблетки из кальцита. Порошок спрессовали без дополнительной обработки в сухом состоянии.

Связь между работой смачивания и работой адгезии описывается соотношением:

$$W = A - \sigma, \quad (2.27)$$

Для определения энтальпии смачивания применяли сосуд Дьюара. Расчет проводили в соответствии с соотношением:

$$H_{\text{см}} = \frac{\Delta T(c_{\text{из}}m_{\text{из}} + c_{\text{жид}}m_{\text{жид}})}{m_{\text{из}}}, \quad (2.28)$$

где за ΔT принято изменение температуры, °С;

c – удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С);

$m_{\text{из}}$ – масса извести, кг;

$m_{\text{жид}}$ – масса жидкости, кг.

Для оценки процесса структурообразования известковых образцов определяли количество свободной извести методом титрования. Данный метод заключается в следующем:

- предварительно измельченную и просеянную через сито № 008 навеску массой 1 г поместили в коническую колбу объемом 250 мл, добавили 150 мл дистиллированной воды, закрыли часовым стеклом;

- нагревали, не доводя до кипения, в течение 5–7 минут;

- после того, как раствор остыл, добавляли 15 капель однопроцентного спиртового раствора фенолфталеина и проводили титрование 1 Н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого.

Количество свободной извести определяли по формуле:

$$A_{\text{изв}} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot 2,804 \cdot K}{m} \cdot 100, \quad (2.29)$$

где за m принята навеска измельченного образца покрытия, г;

V_{HCl} – количество 1 Н раствора соляной кислоты, израсходованного для титрования, мл;

K – поправка к титру 1 Н раствора соляной кислоты;

2,804 равно количеству извести CaO, соответствующее 1 мл 1 Н раствора соляной кислоты, умноженное на 100;

$A_{\text{изв}}$ – содержание активного CaO, %.

Истинную плотность исследуемых материалов определяли с использованием прибора Ле-Шателье по формуле:

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{m_1 + m_2}{V}, \quad (2.30)$$

где за m_1 обозначена первоначальная масса порошка со стаканом, кг;

m_2 - масса остатка порошка со стаканом, кг.

Насыпную плотность материала $\rho_{\text{нас}}$ (кг/м³) вычисляли по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}, \quad (2.31)$$

где m – масса порошка, кг;

V – объем сосуда, м³.

Среднюю плотность исследуемого материала $\rho_{\text{ср}}$ (кг/м³) рассчитывали по формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V}, \quad (2.32)$$

где m - масса образца, кг;

V - объем образца, м³,

Объем образца определяли по формуле:

$$V = a \cdot b \cdot c. \quad (2.33)$$

Прочность при сжатии образцов определяли с помощью испытательной машины типа ИР 5057–50 по ГОСТ Р 58767–2019 и вычисляли по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, R_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, \quad (2.34)$$

где за P принята разрушающая сила, Н;

F – площадь поперечного сечения образца до испытания, м².

Для оценки прочности сцепления покрытия с подложкой применяли метод отрыва штампа (нормальный отрыв) по ГОСТ 31356–2007. Прочность сцепления отделочного состава с подложкой $R_{\text{сц}}$, (Па) рассчитывали по формуле:

$$R_{\text{сц}} = \frac{P}{F}, \quad (2.35)$$

где P - сила отрыва, Н;

F - площадь контакта штампа с покрытием, m^2 .

Также прочность сцепления при сдвиге определялась с помощью прибора ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек»» (рисунок 2.1).

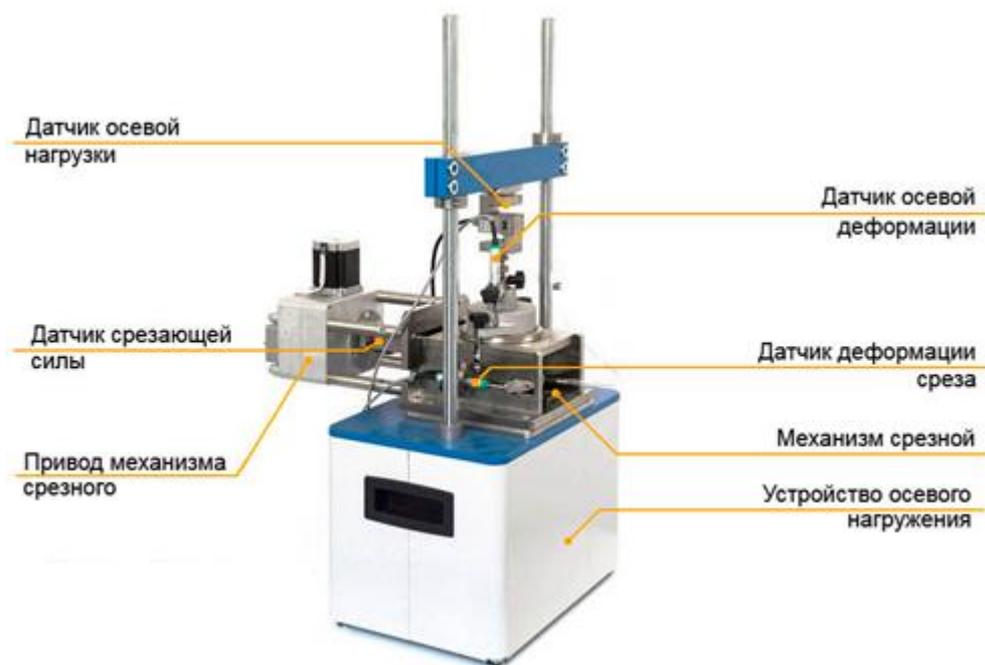


Рисунок 2.1 – Внешний вид прибора ГТ 2.2.3

Испытание образцов проходило по схеме, представленной на рисунке 2.2.

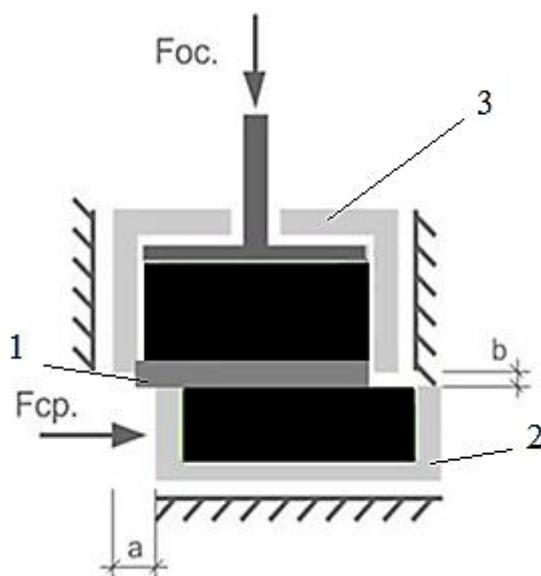


Рисунок 2.2 – Схема работы прибора ГТ 2.2.3 1 - отделочный слой на основе разработанной рецептуры; 2 - малое срезное кольцо; 3 - большое срезное кольцо

Были изготовлены подложки на цементно-песчаной основе цилиндрической формы, размеры которых составляют 71,4×15 мм. На подложку наносили исследуемый отделочный состав толщиной, равной 5 мм, сверху прикреплялась еще одна подложка. Образец помещался в каретку прибора таким образом, чтобы подложка находилась в малом срезном кольце 2, а исследуемый состав – в большом срезном кольце 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 фиксировалось значение касательной нагрузки, применяемой к нижнему срезному кольцу. Скорость сдвига отделочного слоя составляла 0,01 мм/мин.

Значения касательных напряжений определялись в соответствии с формулой Г.И. Горчакова [16]

$$\tau_{max} = \varepsilon \frac{G}{n} th \frac{nl}{2}, \quad (2.36)$$

где G – модуль сдвига материала покрытия; l - протяженность контакта; ε - относительное удлинение отделочного слоя.

2.4 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов

Время высыхания покрытия определяли согласно ГОСТ 19007–73* [20] и оценивали по семибалльной шкале (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – 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 (0,020 кг)
3	То же, после снятия нагрузки 2 Н (0,200 кг)
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)

Водоудерживающая способность разрабатываемого отделочного состава определялась согласно ГОСТ Р 58767–2019 следующим образом:

- на стеклянную пластину размером 0,15×0,15 м и толщиной 5 мм перед испытанием укладывали 10 листов промокательной бумаги того же размера, которую предварительно взвесили с погрешность до 0,1 г;
- укладывали на промокательную бумагу один слой марлевой ткани, сверху устанавливали металлическое кольцо с внутренним диаметром 0,10 м и высотой 12 мм, взвешивали установку;
- отделочную смесь тщательно перемешивали и укладывали вровень с краями металлического кольца, взвешивали установку;
- металлическое кольцо с отделочной смесью осторожно снимали вместе с марлей спустя 10 минут, промокательную бумагу взвешивали с погрешностью до 0,1 г.

Водоудерживающую способность отделочной смеси V (%) рассчитывали по формуле:

$$V = 100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100, \quad (2.37)$$

где m_1 – масса промокательной бумаги до испытания, кг;

m_2 – масса промокательной бумаги после испытания, кг;

m_3 – масса установки без отделочной смеси, кг;

m_4 – это масса установки с отделочной смесью, кг.

Испытание для каждой пробы было выполнено три раза, водоудерживающая способность отделочной смеси вычислялась как среднее арифметическое значение всех испытаний.

2.5 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе разрабатываемого состава

Кинетику водопоглощения отделочных покрытий на основе разрабатываемого состава оценивали согласно ГОСТ Р 58767–2019. Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы при температуре 100–110 °С, помещали в ёмкость, наполненную водой при температуре 18–20°С. Образцы взвешивали с интервалом один час на обычных весах с погрешностью не более 0,1%. Образцы, вынутые из воды, перед взвешиванием вытирали отжатой влажной тканью, массу вытекшей на чашку весов воды из пор образца включали в массу насыщенного образца. Испытание проводилось до момента получения разницы между значениями последовательных взвешиваний не более 0,1%.

Водопоглощение исследуемого образца по массе W_m в процентах рассчитывалось по формуле с погрешностью до 0,1%:

$$W_m = \frac{m_B - m_c}{m_c} \quad W_m = \frac{m_g - m_c}{m_c}, \quad (2.38)$$

где m_c – масса образца в сухом состоянии, кг;

m_g – масса образца после выдержки в эксикаторе с определённой влажностью воздуха, кг.

Водопоглощение при капиллярном подсосе отделочных покрытий $W_{кп}$ определяли согласно ГОСТ 31356–2007 следующим образом:

- формировали образцы размером 0,04x0,04x0,16 м, они твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20°С и относительной влажности воздуха 50–60% в течение 28 суток;

- перед испытанием боковые грани образцов покрывали водонепроницаемым составом;
- образцы помещали торцевой гранью в ванну на сетчатую подставку;
- ванну заполняли водой с температурой 15–25°C таким образом, что торец балочки оказывался погружен в воду на 5–10 мм.

Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{КП}$ кг/(м² · ч^{0,5}) определяли по формуле:

$$W_{КП} = k_w \frac{m_1 - m_2}{S}, \quad (2.39)$$

где за m_1 принимали массу сухого образца, кг;

m_2 – масса влажного образца после 24 часов влагонасыщения, кг;

S – площадь увлажняемой грани образца, м²;

k_w – коэффициент, учитывающий время насыщения образца.

Паропроницаемость покрытий определяли по ГОСТ 25898-2012. На борт стакана, в котором создавалась 100% относительная влажность, помещали свободную плёнку, смазав её края парафином. Периодически стакан взвешивался до того момента, пока вес стакана с плёнкой не становился постоянной величиной. Относительная влажность воздуха в помещении определялась с помощью психрометра и составила 66%. Коэффициент паропроницаемости вычисляли по формуле:

$$\mu = \frac{P\delta}{(e_1 - e_2)S\tau}, \quad (2.40)$$

где P – общее количество прошедших через покрытие паров воды, соответствующее увеличению массы покрытия за время испытаний, мг;

δ – толщина плёнки, м;

S – площадь плёнки, м²;

τ – продолжительность испытания, ч;

e_1 – упругость водяного пара, Па (при $\varphi = 100\%$);

e_2 – упругость водяного пара, Па (при $\varphi = 66\%$).

Сопротивление паропроницанию R_n , (м²·ч·Па)/мг, определяли по формуле:

$$R_n = \frac{\delta}{\mu} \quad (2.41)$$

где δ – толщина плёнки, м;

μ – расчётный коэффициент паропроницаемости материала, мг/(м·ч·Па).

Стойкость к статическому действию влаги оценивали в соответствии с ГОСТ 9.403-2022 «Покрyтия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей» (метод А). Изменение декоративных и защитных свойств покрытия определяли по ГОСТ 9.407 путем сравнения с контрольным образцом.

Водостойкость оценивали коэффициентом размягчения $K_{\text{разм}}$, который равен отношению предела прочности материала при сжатии в насыщенном водой состоянии $R_{\text{нас}}$, МПа, к пределу прочности при сжатии сухого материала $R_{\text{сух}}$, МПа:

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}} \quad (2.42)$$

За результат принимали среднее значение испытаний 6 образцов.

Морозостойкость отделочного покрытия определяли, используя метод попеременного замораживания и оттаивания отделочного слоя, нанесенного на бетонное основание, после 28 суток воздушно-сухого твердения в соответствии с ГОСТ Р 57336-2016 «Растворы строительные штукатурные. Технические условия». После каждого цикла производили визуальный осмотр поверхности согласно ГОСТ 10060–2012 (с изменением N1), критерии отказа приняты по ГОСТ 6992–68. За «отказ» принималось состояние покрытия, оценённое III.3 баллами.

Морозостойкость контактной зоны определяли путем испытания прочности сцепления покрытия с подложкой после замораживания и оттаивания.

3 Разработка системы контроля качества отделочных покрытий

3.1 Достоверность контроля качества в зависимости от числа контролируемых параметров

В ходе оценки качества изделий, когда каждый параметр подвергается контролю, возникают определенные независимые и единственно возможные события. К названным событиям отнесены: годный параметр принимается системой контроля в качестве годного; годный параметр принимается системой контроля в качестве негодного; негодный параметр принимается системой контроля в качестве негодного; негодный параметр принимается системой контроля в качестве годного [3,25,26,31,68].

Очевидно, что охвачены контролем не все параметры системы, следовательно информация, полученная в результате контроля, содержит неопределенность. Рассмотрим пример достоверности контроля качества производства штукатурных составов как одного из видов материалов, применяемых при внешней отделке. Полагаем, что законы, характеризующие рассеивание действительных значений контролируемого параметра продукции и погрешностей измерений, нам известны. Исходя из этого, можем принять:

- закон распределения всех показателей качества нормальный;
- систематическая погрешность изготовления равна нулю;
- поле допуска продукции ограничивается верхним и нижним допуском $U_{д.н.}$ и $U_{д.в.}$, при этом середина поля допуска (номинальное значение $U_{ном.}$) может равняться среднему значению показателя качества;
- закон распределения погрешности измерения у нормальный со средним квадратическим отклонением (СКО) σ_y , систематическая составляющая отсутствует, значение $\pm u_d$ практически предельное).

Объектом исследования для примера рассматривался легкий отделочный раствор плотностью ниже 1300 кг/м^3 согласно классификации ГОСТ 33083–2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия».

Достоверность контроля качества отделочных составов была оценена для следующих показателей:

- плотность;
- подвижность;
- прочность при сжатии;
- водопоглощение при капиллярном всасывании.

Принимаем следующее: показатели качества находятся в поле допуска, среднее значение равно середине поля допуска, шесть значений среднеквадратического отклонения (6 сигм) укладывается в поле допуска. Ошибки первого и второго рода были рассчитаны по каждому измеряемому параметру. В таблице 3.1 изложены результаты измерений. В таблице 3.2 указаны значения риска производителя и потребителя, достоверности контроля качества исходя из числа контролируемых параметров.

Данные таблиц 3.1, 3.2, указывают на зависимость достоверности контроля от числа показателей, подвергающихся контролю. При росте числа показателей значение достоверности падает. Например, при числе показателей контроля на уровне четырех, $n=4$, значение достоверности составило 97%, тогда как при числе $n=10$ снизилось до 94,6%. Для отделочных составов при количестве контролируемых параметров на уровне десяти и выше достоверность контроля опускается ниже нормативного значения. Согласно ГОСТ 33083–2014, количество показателей контроля качества отделочных композитов, растворной смеси и затвердевшего раствора равно двенадцати, $n=12$. Исходя из этого, достоверность контроля меньше $P_{\partial} < P_n \geq 95\%$, где P_{∂} – достоверность контроля; P_n – нормативное значение достоверности=95%.

Таблица 3.1 – Значения риска производителя и потребителя при контроле показателей качества отделочных составов

Показатель качества отделочного состава, растворной смеси и раствора	Границы допуска		Среднее значение показателя качества	Среднеквадратическое отклонение СКО	Риск производителя α	Риск потребителя β
	нижняя	верхняя				
Средняя плотность, кг/м ³	500	1300	900	133,33	0,0032	0,0026
Подвижность растворной смеси, см	8	12	10	0,666см	0,0025	0,0028
Прочность при сжатии, МПа	2,5	5,0	3,75	0,416	0,0024	0,0028
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})	0	0,4	0,2	0,0666	0,0032	0,0028

Таблица 3.2 – Значение достоверности контроля качества отделочных составов и покрытий в зависимости от числа контролируемых параметров

Количество контролируемых параметров	Риск производителя α	Риск потребителя β	Достоверность контроля, %
2	0,0050	0,0054	98,95
4	0,0115	0,0112	97,728
6	0,0164	0,0167	96,68
8	0,0213	0,0222	95,63
10	0,0262	0,0277	94,6
12	0,0311	0,0331	93,57

3.2 Достоверность контроля качества отделочных составов и покрытий в зависимости от вида контролируемых и неконтролируемых параметров

Согласно ГОСТ 31357–2013 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия» показатели прочности на растяжение при изгибе, прочности сцепления с основанием, водопоглощение затвердевшего раствора измеряют в ходе периодических проверок в срок, установленный договором между поставщиком и покупателем. Указанный срок не должен превышать одного месяца. При приемо-сдаточных испытаниях партий материала измерение указанных параметров не производится, следовательно, получаемая в ходе контроля качества каждой партии отделочного штукатурного состава информация содержит неопределенность.

С целью расчета числа основных характеристик качества композитного материала в ходе контроля вычислим достоверность контроля как функцию количества контролируемых параметров [74,136, 144,178]. Рассмотрим пример: легкий штукатурный раствор плотностью менее 1300 кг/м³ в соответствии с классификацией по ГОСТ 33083–2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия».

Достоверность контроля качества была оценена для показателей:

- средней плотности;
- подвижности;
- водоудерживающей способности;
- прочности при сжатии;
- водопоглощения при капиллярном подсосе;
- прочности сцепления.

Контролируемые параметры подчиняются нормальному закону распределения и являются случайными величинами с математическим ожиданием, равным номинальному значению, среднее квадратическое отклонение σ задано. Значение предельно допустимого отклонения от номинального значения равно $\pm 3\sigma$.

Достоверность контроля P_d рассчитывали по формуле [32,28,29]:

$$P_d = 1 - \alpha - \beta, \quad (3.1)$$

где α – ошибка 1-го рода (риск изготовителя - вероятность того, что годное изделие признано негодным, т. е. вероятность, характеризующая среднюю долю негодных изделий из числа годных, признанных в результате контроля;

β – ошибка 2-го рода (риск потребителя - вероятность того, что негодное изделие признано годным, т. е. вероятность, характеризующая среднюю долю некорректно забракованных, но в реальности годных изделий, от общего числа принятых на контроль изделий).

Обозначим значение измеряемого параметра X_{X_i} в виде обобщенной модели

$$X = U + \varepsilon \cdot U + \Delta + y, \quad (3.2)$$

где U – истинное значение;

ε – мультипликативная случайная погрешность;

Δ – систематическая погрешность;

y – аддитивная случайная погрешность.

Примем за Y суммарную погрешность, $Y = X - U$. Плотность вероятности $f(Y)$ будет определяться как свертка плотностей ε , Δ , y , если они статистически

независимы. Если $f(\varepsilon)$ и $f(y)$ имеют нормальное распределение с нулевыми средними, то плотность $f(Y)$ также будет гауссовой с математическим ожиданием $\mu = U + \Delta$.

Если плотность суммарной аддитивной погрешности известна, то условная (апостериорная) плотность вероятности измеренного параметра есть

$$f(X/U) = f(X - U) = f(Y). \quad (3.3)$$

Совместная плотность истинного и измеренного значений параметра

$$f(X,U) = f(U) \cdot f(X - U) = f(U) \cdot f(Y), \quad (3.4)$$

где $f(U)$ – апостериорная плотность вероятности параметра.

Совместная плотность вероятности позволяет определить вероятности α и β ошибок 1-го и 2-го рода при контроле параметра X_i для предельной ошибки в интервале $[a,b]$

$$\alpha_i = \int_a^b f(U) \cdot \left[\int_{-\infty}^a f(Y) dX + \int_b^{\infty} f(Y) dX \right] dU; \quad (3.5)$$

$$\beta_i = \int_{-\infty}^a f(U) \cdot \left[\int_a^b f(Y) dX \right] dU + \int_b^{\infty} f(U) \cdot \left[\int_a^b f(Y) dX \right] dU.$$

Если из общего числа параметров n контролируется ограниченное число k , то риски α и β могут быть записаны:

$$\alpha(k) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \alpha_i) \quad (3.6)$$

$$\beta(k) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \beta_i).$$

Вероятность возникновения брака для $n-k$ и неконтролируемых параметров представим как:

$$P_b(n-k) = 1 - \prod_{i=n-k}^n (1 - P_{bi}), \quad (3.7)$$

$$P_{bi} = \int_{-\infty}^a f(U) dU + \int_b^{\infty} f(U) dU$$

Риск заказчика представляет как вероятность $\beta(k)$, так и вероятность брака по неконтролируемым параметрам.

Пусть показатели качества расположены в поле допуска, среднее значение показателя равно середине поля допуска, в поле допуска укладывается шесть

значений среднеквадратического отклонения – 6 сигм. Были произведены вычисления ошибок 1-го и 2-го рода по каждому параметру измерений. В дальнейших расчетах принимаем, что систематическая погрешность измерений распределена равномерно в интервале $\pm \frac{\Delta}{2}$, а случайная погрешность – нормально с нулевым средним значением и СКО $k \cdot \frac{\Delta}{2}$, $k = 0,05; 0,1$.

Результаты расчетов содержатся в таблицах 3.3, 3.4. В таблице 3.4 изложены значения рисков производителя и потребителя, достоверности контроля в зависимости от количества контролируемых параметров при их различном сочетании.

Оценка расчетов, изложенных в таблице 3.3, показывает, что, если производится контроль всех 6 параметров качества отделочного состава, достоверность находится в пределах $P = 0,96–0,98$, при этом риск производителя равен $\alpha = 0,0067–0,0148$, а риск потребителя $\beta = 0,0078–0,0223$ в зависимости от значения СКО погрешности. При контроле 4 параметров качества отделочных смесей достоверность контроля выше допустимого уровня P_d , равного 0,95, за исключением варианта под номером 7, где не осуществляется контроль прочности сцепления. В данном случае достоверность контроля равна $P=0,82–0,83$, и это значение значительно ниже допустимого. Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что показатель прочности сцепления необходимо включить в приемо-сдаточные испытания контроля каждой партии отделочных смесей.

Значения, приведенные в таблицах 3.3, 3.4, указывают на то, что значения рисков производителя и потребителя снижаются при снижении СКО погрешности. Например, при значении СКО, принятом как $0,05 \cdot \frac{\Delta}{2}$ риск производителя составляет 0,0024, а при $0,1 \cdot \frac{\Delta}{2}$ возрастает до 0,0059. Достоверность контроля увеличивается при снижении СКО.

Предлагаемый подход к условиям приемки партии отделочных смесей позволит повысить их качество, что, соответственно, снизит издержки покупателя и поставщика.

Таблица 3.3 – Достоверность контроля качества отделочных смесей при контроле шести показателей качества

Контролируемые показатели	Номинальное значение (среднее)	СКО измерения	Допуск		Δ	Риск α_i	Риск β_i
Подвижность, см	10	0,666	8	12	2	0,0002/0,0004	0,0001/0,0002
Водоудерживающая способность, %	96,5	0,707	95	98	1,5	0,0019/0,0041	0,0016/0,0031
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})	0,2	0,05	0	0,4	0,2	0,00001/0,00001	0,00001/0,00001
Прочность сцепления, МПа	0,48	0,104	0,3	0,6	0,3	0,0043/0,0089	0,0041/0,0079
Плотность готового раствора, кг/м ³	900	133,33	500	1300	400	0,00003/0,0007	0,0002/0,0004
Прочность при сжатии, МПа	3,75	0,416	2,5	5	1,25	0,0003/0,0007	0,0002/0,0004

Примечание. Над чертой приведены значения достоверности, риска производителя и заказчика при $k=0,05$, под чертой – при $k=0,1$

Таблица 3.4 – Достоверность контроля качества отделочных смесей в зависимости от вида контролируемых и неконтролируемых параметров

1. Первый вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом $P_{бр}$	Достоверность*
Подвижность, см	Плотность готового раствора	0,0643/0,0134	0,0742/0,0219	0,0127/0,0273	0,98/0,96
Водоудерживающая способность, %	Прочность при сжатии				
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})					
Прочность сцепления, МПа					
2. Второй вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом $P_{бр}$	Достоверность
Подвижность, см	Водопоглощение	0,0064/0,0141	0,0076/0,0219	0,0103/0,0246	0,98/0,96
Водоудерживающая способность, %	Прочность при сжатии				
Прочность сцепления, МПа					

Плотность готового раствора, кг/м ³					
3. Третий вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом Рбр	Достоверность
Водоудерживающая способность, %	Подвижность	0,0063/0,0137	0,0076/0,0219	0,0114/0,0258	0,98/0,96
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})	Прочность при сжатии				
Прочность сцепления, МПа					
Плотность готового раствора, кг/м ³					
4. Четвертый вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом Рбр	Достоверность
Подвижность, см	Водопоглощение	0,0067/0,014	0,0076/0,0223	0,0104/0,0251	0,98/0,96
Водоудерживающая способность, %	Плотность готового раствора				
Прочность сцепления, МПа					

Прочность при сжатии, МПа					
5. Пятый вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом $R_{бр}$	Достоверность
Водоудерживающая способность, %	Подвижность	0,0065/0,0137	0,0076/0,0223	0,0115/0,0262	0,98/0,96
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})	Плотность готового раствора				
Прочность сцепления, МПа					
Прочность при сжатии, МПа					
6. Шестой вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом $R_{бр}$	Достоверность
Водоудерживающая способность, %	Подвижность	0,0065/0,0144	0,0078/0,0223	0,0091/0,0235	0,98/0,96
Прочность сцепления, МПа	Водопоглощение				
Плотность готового раствора, кг/м ³					

Прочность при сжатии, МПа					
7. Седьмой вариант					
Контролируемые показатели при периодических испытаниях	Контролируемые показатели при приемочно-сдаточных испытаниях	$\alpha(\%)$	$\beta(\%)$	β с учетом $P_{бр}$	Достоверность
Водоудерживающая способность, %	Прочность сцепления	0,0024/0,0059	0,0037/0,0065	0,1697/0,1726	0,83/0,82
Подвижность, см					
Плотность готового раствора, кг/м ³					
Прочность при сжатии, МПа					
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})					

Примечание. Над чертой приведены значения достоверности, риска производителя и заказчика при $k=0,05$, под чертой – при $k=0,1$

3.3 Репрезентативность выборки

В ходе решения задачи оценки качества продукции производят выборочный контроль и значительное влияние на результат контроля имеет использование минимального объема выборочной совокупности, поскольку она должна быть представительной или репрезентативной [1,132,135,139]. Для выполнения условия репрезентативности необходимо следующее [13,120]:

- выборочная совокупность должна иметь характерные черты генеральной совокупности;
- выборочная совокупность должна быть достаточной по числу наблюдений, т. е. по объему.

Технические требования показателей качества отделочных смесей, методы их определения представлены в нормативных документах ГОСТ 31356–2013 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний», ГОСТ 33083–2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические требования» и других. В указанных нормативных документах количество образцов для проведения испытаний представлено без ссылки на значение риска поставщика и потребителя. Например, при оценке вододерживающей способности выборка состоит из двух образцов, для водопоглощения при капиллярном всасывании – не менее трех, при определении прочности сцепления – минимум пять.

Но объем выборки можно определить на основе статистического анализа, исходя из требований к надежности и достоверности ожидаемых результатов [13,23,31,60,158]. При известном числе генеральной совокупности численность необходимой выборки рассчитывается по формуле

$$n = \frac{N\sigma^2 t^2}{N\Delta^2 + \sigma^2 t^2}, \quad (3.8)$$

где n – объем выборки;

t – коэффициент (вычисляется по специальным таблицам в зависимости от доверительной вероятности);

σ – выборочная дисперсия;

Δ – предельная (задаваемая) ошибка выборки;

N – численность генеральной совокупности.

Если численность генеральной совокупности не известна, то минимальный объем выборки равен:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (3.9)$$

где n – минимальный объем выборки;

σ – выборочное стандартное отклонение.

Предельная и средняя ошибки выборки связаны соотношением:

$$\Delta = t\mu, \quad (3.10)$$

Средняя ошибка рассчитывается согласно выражению:

$$\mu = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

или

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)}. \quad (3.11)$$

В ходе статистического приемочного контроля (ГОСТ 50779.21–2004) объем выборки определяется по формуле академика А. Н. Колмогорова [13]:

$$n = N \left[1 - \left(\frac{\beta}{100} \right)^{\frac{100}{qN}} \right], \quad (3.12)$$

где β – средний процент принимаемых партий;

q – доля дефектных изделий, %.

Также может быть использована формула для определения количества образцов, необходимых для испытаний, вида [100]:

$$n = \left(\frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{R_0 - R_1} \right)^2 \sigma^2, \quad (3.13)$$

где $z_{1-\alpha}$ и $z_{1-\beta}$ – квантили стандартного нормального распределения уровня $(1-\alpha)$ и $(1-\beta)$.

Значения α и β описывают риски поставщика и потребителя соответственно. Рассчитанный по формулам (3.9), (3.13) объем выборки отделочных составов был сравнен с данными, приведенными в ГОСТ 33083–2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия». Объектом исследования для примера рассматривался легкий отделочный раствор плотностью ниже 1300 кг/м^3 согласно классификации ГОСТ 33083–2014. В соответствии с ГОСТ 31356–2013 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний» для контроля качества отделочных композиций, отбирают по одной точечной пробе из каждой упаковочной единицы выборки. Далее согласно методике испытаний изготавливают нужное число образцов. Например, при оценке водоудерживающей способности и подвижности растворной смеси число образцов равно двум, при оценке водопоглощения при капиллярном подсосе прочности при сжатии - не менее трех, а при определении прочности сцепления – не менее пяти. Расчет минимального объема образцов для контроля качества отделочных смесей и штукатурного раствора проведен по формуле (3.9) по показателям, перечисленным ниже, а результаты изложены в таблице 3.5:

- подвижность;
- прочность при сжатии;
- водопоглощение при капиллярном подсосе.

Таблица 3.5 – Расчетное количество объема выборки

Показатель качества отделочных смесей, растворной смеси и раствора	Средне-квадратическое отклонение СКО	Предельная ошибка выборки	Количество образцов для испытаний при доверительной вероятности	
			95%	99,73%
Подвижность растворной смеси, см	0,666	0,5 см	8	16
		1 см	2	4

Прочность при сжатии, МПа	0,416	1 МПа	1	2
		0,5 МПа	3	7
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² час ^{0,5})	0,0666	0,1 кг/(м ² час ^{0,5})	2	4
		0,05 кг/(м ² час ^{0,5})	8	16

Таблица 3.6 содержит рассчитанные по формуле (3.13) значения количества образцов, необходимых для контроля качества отделочных смесей, основываясь на уровне дефектности NQL и риске потребителя β_0 .

Таблица 3.6 – Количество образцов для испытаний отделочных смесей

Уровень дефектности NQL , %	Риск поставщика $\alpha_0=0,05$ при риске потребителя β_0		
	0,1	0,25	0,5
1	2	3	4
Определение прочности при сжатии			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2
Определение прочности сцепления			
1	42	27	14
2	17	10	5
3	10	7	3
Определение средней плотности			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2

Определение подвижности			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	17	5	2
Определение водоудерживающей способности			
1	42	27	14
2	16	10	5
3	10	7	3
Определение водопоглощения при капиллярном подсосе			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2

Анализ результатов расчетов согласно формулам (3.9), (3.13), приведенных в таблице 3.6, доказал рассогласованность между количеством образцов в стандартах ГОСТ 31356–2013 и ГОСТ 33083–2014 с данными таблицы 3.5. Это говорит о том, в целях достижения объективности анализа всей партии изделий, в методиках оценки качества строительных материалов при определении объема выборки должно быть указано значение доверительной вероятности и предельной ошибки.

3.4 Влияние состояния технологического процесса производства на показатели достоверности контроля качества отделочных составов и покрытий

Технологический процесс изготовления продукции должен характеризоваться необходимой точностью и стабильностью [23,51,55,100], которые изложены и могут быть оценены согласно нормативному документу Р 50–601–20–91 «Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования)».

При корректном выстраивании технологического процесса математическое ожидание соответствует середине поля допуска m , указанного в нормативно-технической документации на продукцию верхней и нижней границами T_v и T_n . Таким образом, в этом случае $m = m_0$, а в поле допуска укладывается $\pm 3\sigma$. Но на практике, в ходе производственного процесса среднее значение показателя, находясь в поле допуска, отклоняется от его середины. Данное явление приводит к низкой воспроизводимости технологического процесса и увеличению значения среднеквадратического отклонения, что негативно сказывается на обеспеченности качества продукции.

На производстве измерениям характерны погрешности, приводящие к приемке части годных изделий по действительным отклонениям, выходящим за границы поля допуска (с заданной вероятностью), и ошибочную отбраковку некоторых годных изделий. Отклонения в ходе разбраковки укладываются в границы предельно допустимой погрешности измерения [3,11,13,23].

Пусть контролируемые параметры являются случайными величинами с математическим ожиданием и нормально распределены. Математическое ожидание совпадает с номинальным значением и заданным средним квадратическим отклонением σ .

Расчет проводился с помощью численных методов и формул Бородачева

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \int_a^b f(U) \cdot \left[\int_{-\infty}^a f(Y) dX + \int_b^{\infty} f(Y) dX \right] dU; \\ \beta_i &= \int_{-\infty}^a f(U) \cdot \left[\int_a^b f(Y) dX \right] dU + \int_b^{\infty} f(Y) \cdot \left[\int_a^b f(Y) dX \right] dU. \end{aligned} \tag{3.14}$$

где $[a_1; b_1]$ – интервал для погрешности y_i , если значения U_i оказались в интервале $[a; b]$;

f – плотность гауссовского распределения вероятностей;

i – оцениваемый параметр.

Если контролю на определенном этапе подвергаются k параметров, то обобщенные значения рисков можно представить:

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \alpha_i), \quad (3.15)$$

$$\beta = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \beta_i). \quad (3.16)$$

Тогда достоверность контроля запишем как:

$$P = 1 - (\alpha + \beta) \quad (3.17)$$

Были проанализированы изменения рисков в ходе контроля качества на трех его этапах – входном, операционном и приемочном. Результаты расчетов указаны в таблицах 3.7–3.10.

Анализ информации, изложенной в таблицах 3.7–3.10 указывает на то, что достоверность контроля качества отделочных смесей при среднем значении показателей качества, находящемся в середине поля допуска, которое составляет $\pm 3\sigma$, равно $P=0,9723$. То есть в статистически стабильном и воспроизводимом процессе достоверность контроля качества большее нормативного значения $P=0,95$. Увеличение среднеквадратического отклонения СКО приводит к снижению показателя достоверности контроля. Это, в свою очередь, негативно сказывается на рисках производителя и потребителя, приводя к их увеличению.

Таблица 3.7 – Значения рисков производителя и потребителя в зависимости от состояния технологического процесса производства (входной контроль)

Вид сырья	Показатели, характеризующее состояние производства	Границы допуска		Значения среднего арифметического, m	СКО, σ	Погрешность измерения	Риск производителя α	Риск потребителя β
		нижняя	верхняя					
Цемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2020)	Нормативное	400	500	450	16,6	1%(4,5)	0,0016	0,0005
	Изменение значения среднего арифметического			420	16,6		0,025	0,017
	Изменение значения СКО			450	20		0,0045	0,0022
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			420	20		0,025	0,019
	Нормативное	1,0	1,5	1,25	0,2	1%(0,007)	0,0001	0,0001

Песок (модуль крупности)	Изменение значения среднего арифметического			0,8	0,2		0,0003	0,0002
	Изменение значения СКО			0,7	0,25		0,0005	0,00046
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			0,8	0,25		0,0007	0,0006
Песок (содержание глинистых примесей в песке)	Нормативное			1,5	0,5		0,0001	0,0001
	Изменение значения среднего арифметического			2	0,5		0,0006	0,0006
	Изменение значения СКО	0	3	1,5	0,6	1%(0,015)	0,0003	0,0003
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			2	0,6		0,0010	0,0009
	Нормативное	90	100	95%	2	0,10%	0,0007	0,0006

Метилцеллюлоза (содержание активного вещества)	Изменение значения среднего арифметического			96	2		0,0012	0,0011
	Изменение значения СКО			95%	1,6		0,0001	0,0001
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			96	1,6		0,0004	0,0004
Редиспергируемый порошок Neolith P 4400 (содержание твердых частиц)	Нормативное	98	100	99%	0,33%	0,10%	0,0018	0,0006
	Изменение значения среднего арифметического			98,5	0,33		0,021	0,012
	Изменение значения СКО			99%	0,50%		0,037	0,035
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			98,5	0,5		0,027	0,02

Таблица 3.8 – Значения рисков производителя и потребителя в зависимости от состояния технологического процесса производства(операционный контроль-дозирование)

Вид сырья	Показатели, характеризующее состояние производства	Граница допуска, кг		Значения среднего арифметического, кг	СКО, кг	Погрешность измерения, %	Риск производителя α	Риск потребителя β
		нижняя	верхняя					
Цемент	Нормативное	15	20	17,5	0,83	1%(0,175)	0,0011	0,0005
	Изменение значения среднего арифметического			16	0,83		0,019	0,014
	Изменение значения СКО			17,5	0,95		0,0025	0,0013
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			16	0,95		0,019	0,015
Песок	Нормативное	65	85	75	3,3	2%(1,5)	0,0040	0,0007

	Изменение значения среднего арифметического			70	3,3		0,034	0,015
	Изменение значения СКО			75	4		0,0099	0,0031
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			70	4		0,036	0,02
Метилцеллюлоза	Нормативное			0,11	0,0133		0,0003	0,00005
	Изменение значения среднего арифметического			0,11	0,02		0,01	0,0095
	Изменение значения СКО	0,07	0,15	0,08	0,02	1%(0,0011)	0,0025	0,0006
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			1,1	0,33		0,0077	0,0075
	Нормативное	0,7	1,5	1,2	0,33	1%(0,011)	0,0052	0,0049

Продолжение таблицы 3.8

Редиспергируемый порошок	Изменение значения среднего арифметического			1,1	0,5		0,0053	0,0050
	Изменение значения СКО			1,2	0,5		0,0051	0,0050
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического						0,0051	0,0049

Таблица 3.9 – Значения рисков производителя и потребителя в зависимости от состояния технологического процесса производства (приемочный контроль)

Наименование показателей качества	Показатели, характеризующее состояние производства	Граница допуска		Значения среднего арифметического, т	СКО, σ	Погрешность измерения	Риск производителя α	Риск потребителя β
		Нижняя	Верхняя					
Средняя плотность, кг/м ³	Нормативное			900	133,33	18	0,0006	0,0003
	Изменение значения среднего арифметического	500	1300	1100	133,33		0,0079	0,0061

Продолжение таблицы 3.9

	Изменение значения СКО			900	160		0,0018	0,0013
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			1100	160		0,0089	0,0075
Подвижность растворной смеси, см	Нормативное	8	12	10	0,67	0,5	0,015	0,0010
	Изменение значения среднего арифметического			11	0,67		0,069	0,021
	Изменение значения СКО			10	1		0,041	0,012
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			11	1		0,064	0,035
	Нормативное	2,5	5	3,75	0,42	0,075	0,0009	0,0005

Прочность при сжатии, МПа	Изменение значения среднего арифметического			3,1	0,42		0,012	0,0087
	Изменение значения СКО			3,75	0,8		0,0096	0,0080
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			3,1	0,8		0,013	0,012
Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м ² · ч ^{0,5})	Нормативное	0	0,4	0,2	0,067	0,006	0,0004	0,0003
	Изменение значения среднего арифметического			0,3	0,067		0,0050	0,0043
	Изменение значения СКО			0,2	0,09		0,0019	0,0016
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического			0,3	0,09		0,0060	0,0054

Таблица 3.10 – Достоверность контроля качества в зависимости от состояния технологического процесса производства

Вид контроля	Показатели, характеризующее состояние производства	Риск производителя, α	Риск потребителя, β	Достоверность
Входной	Нормативное	0,0045	0,0020	0,9934
	Изменение значения среднего арифметического	0,0475	0,0306	0,9217
	Изменение значения СКО	0,0424	0,0380	0,9194
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического	0,0534	0,0405	0,9059
Операционный	Нормативное	0,0107	0,0062	0,9830
	Изменение значения среднего арифметического	0,0668	0,0429	0,8902
	Изменение значения СКО	0,02003	0,0101	0,9697
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического	0,0664	0,0468	0,8867
Приемочный	Нормативное	0,0169	0,0021	0,9808
	Изменение значения среднего арифметического	0,0920	0,0396	0,8682

	Изменение значения СКО	0,05391	0,0228	0,9232
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического	0,0899	0,0589	0,8510
Общее	Нормативное	0,0171	0,0104	0,9723
	Изменение значения среднего арифметического	0,1935	0,0043	0,8021
	Изменение значения СКО	0,112203	0,0696	0,8181
	Одновременное изменение значений СКО и среднего арифметического	0,1958	0,1394	0,6647

При синхронном повышении значения СКО и среднеарифметического значения показателей качества достоверность контроля качества отделочных смесей при заданных значениях составляет $P=0,6647$, риск производителя $\alpha=0,1958$, а риск потребителя $\beta=0,1394$.

Полученные результаты расчетов указывают на важность точной настройки технологического процесса производства.

3.5 Оценка качества сухих строительных смесей с учетом вариабельности сырья

На сегодняшний день на рынке присутствует значительное количество производителей и решений в сегменте отделочных штукатурных реставрационных составов. Поэтому задача оценки качества представленных решений является актуальной. При производстве обсуждаемых решений одним из ключевых

аспектов является выбор сырья. Сырье, характеризующееся низкой вариабельностью, способствует производству продукции заданного уровня качества.

Были проанализированы отделочные решения предприятия Пензенской области New MIX, для которых использовалось различное сырье. Был произведен расчет вероятности несоответствия требованиям нормативных документов для отделочных смесей в зависимости от вида цемента, а именно, вероятность появления брака (Сем Пласт, Бундес Короед Б2, Бундес Короед С3). Входные параметры качества сырья и выходные параметры качества конечной продукции были предоставлены предприятием New MIX. Для производства отделочных смесей применяли следующие виды цемента: Сенгилеевский ЦЕМ I 42,5Б от «Евроцементгрупп», Хайдельберг (Вольский) ЦЕМ I 42,5Н от «ХайдельбергЦемент Волга». Кварцевый песок Махалинского месторождения Кузнецкого района Пензенской области был применен в качестве наполнителя. Значения среднеквадратического отклонения были рассчитаны для показателей прочности при сжатии, влажности отделочной смеси и ее водоудерживающей способности. Значения показателя качества и стандартного отклонения были рассчитаны по результатам 50 испытаний. Смесь Сем Пласт должна соответствовать требованиям ГОСТ 33083–2014, Бундес Короед Б2 и Бундес Короед С3 – ГОСТ 54358–2017. Функция Лапласа была использована для расчета вероятности соответствия требованиям нормативной документации [1,13,100]

$$P\left(\frac{ВД - \bar{x}}{\sigma}\right) = 2\Phi(t) = \gamma, \quad (3.18)$$

$$P\left(\frac{\bar{x} - НД}{\sigma}\right) = 2\Phi(t) = \gamma$$

где σ - среднеквадратическое отклонение;

$ВД, НД$ – верхний и нижний допуски.

Результаты приведены в табл.3.11 и 3.12.

Таблица 3.11 – Вероятность соответствия требованиям нормативной документации свойств отделочных смесей

Вид отделочных смесей	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Вероятность соответствия требованиям нормативной документации
Влажность, %			
Сем Plast	0,1733/0,174	0,0087/0,0098	0,9999/0,9999
Бундес Короед Б2	0,168/0,171	0,0141/0,016	0,9999/0,9999
Бундес Короед С3	0,0875/0,089	0,0049/0,0057	0,9999/0,9999
Прочность при сжатии, МПа			
Сем Plast	14,45/14,3	1,8/2,1	0,9999/0,9993
Бундес Короед Б2	13,17/12,9	2,3688/2,6	0,9099/0,8665
Бундес Короед С3	11,02/11,03	2,156675/2,2	0,8305/0,8212
Водоудерживающая способность, %			
Сем Plast	98,05/98,04	0,75/0,82	0,9999/0,9999
Бундес Короед Б2	99,02/98,9	0,6272/0,71	0,9999/0,9999
Бундес Короед С3	98,04/98,03	0,65/0,7	0,9999/0,9999

Примечание. Над чертой приведены значения показателей качества при применении Сенгилеевского цемента, под чертой – цемента Хайдельберг (Вольский).

В таблице 3.12 приведены значения вероятности появления дефектной продукции отделочных смесей.

Таблица 3.12 – Вероятность появления дефектной продукции

Вид отделочных смесей	Вероятность появления дефектной продукции
Cem Plast	0,00007/0,00069
Бундес Короед Б2	0,0901/0,1335
Бундес Короед С3	0,1615/0,1788

Примечание. Над чертой приведены значения вероятности появления дефектной продукции отделочных смесей при применении Сенгилеевского цемента, под чертой – цемента Хайдельберг (Вольский).

Согласно результатам исследований, приведенным в таблице 3.12, вероятность получения качественных отделочных смесей зависит от вида цемента. При использовании в качестве сырья Сенгилеевского цемента значение среднеквадратического отклонения (СКО) прочности при сжатии образцов отделочных смесей Cem Plast составило 1,8 МПа, а для цемента Хайдельберг (Вольский) – 2,1 МПа. Подобная разница объясняется различной вариативностью данного сырья. Значения среднеквадратического отклонения активности Сенгилеевского цемента равны $\sigma=4,1-5,2$ МПа, а цемента Хайдельберг (Вольский) составляют 4,5–5,7 МПа.

Таким образом, данные таблицы 3.12, свидетельствуют, о том, что с применением цемента Хайдельберг ЦЕМ I 42,5Н предприятия «ХайдельбергЦемент Волга» вероятность получения брака возрастает. Вероятность дефектных отделочных смесей Бундес Короед Б2 составляет 0,09011 с применением Сенгилеевского цемента и 0,13351 при использовании цемента Хайдельберг (Вольский). Аналогичные закономерности характерны и для отделочных смесей Бундес Короед С3 и Cem Plast.

Исходя из вышесказанного, выбор сырья, цемента и других компонентов для производства отделочных смесей должен производиться на основе вариативности их качества [47,62,76,137,146,170,172].

Был проведен анализ функциональной связи между вариативностью параметров качества отделочного состава и вариативностью входных параметров качества (сырья). Поскольку, зная необходимые значения дисперсии показателя качества продукта, можно определить оптимальные дисперсии входных переменных.

Отделочный состав может быть рассмотрен как система, состоящая из множества входных переменных и нескольких выходных параметров. Предположим, что σ_Y есть дисперсия выходного параметра Y , а $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ обозначает дисперсию входных переменных X_1, X_2, \dots, X_n .

Исследованию подвергалась штукатурная смесь CemPlast производителя Пензенской области New MIX, показатели качества сырья и показатели качества конечной продукции были получены на заводе компании.

Значения среднеквадратического отклонения были рассчитаны для показателей прочности при сжатии, активности цемента, модуля крупности песка. Принимаем, что контролируемые параметры нормально распределены и являются случайными величинами.

Результаты статистической обработки данных изложены в таблице 3.13.

Зависимость среднеквадратического отклонения показателя (СКО) прочности при сжатии для составов CemPlast от СКО показателя активности цемента и модуля крупности песка имеет вид:

$$Y = a + bx + cx^2, \quad (3.19)$$

и представлена на рисунке 3.1. Значения коэффициентов в модели (3.19) для СКО активности цемента равны $a=5,031$; $b=-2,3$; $c=0,32$. Коэффициент корреляции составляет $r=0,996$.

Таблица 3.13 – Вариативность показателей качества отделочной смеси и сырья

Среднеквадратическое отклонение		
Хальденберг (активность)	Сенгелевский (активность)	Песок (модуль крупности)
4,5/1,18	4,1/1,05	0,16/1,1
4,7/1,24	4,2/1,1	0,18/1,3
4,9/1,4	4,6/1,3	0,23/1,5
5,23/1,8	4,9/1,6	0,267/1,92
5,7/2,3	5,2/1,8	0,8/2,3

Примечание. Над чертой приведены значения среднеквадратического отклонения активности цемента и модуля крупности песка, под чертой – прочности при сжатии отделочной смеси CemPlast.

Используя обсуждаемые модели, уточняем требования к СКО, исходя из ожиданий показателей качества сырья – входным параметрам. Уточнение требований к разбросу данных по показателю прочности до значения коэффициента вариации $v=10,0\%$ ($\sigma=1,243$ МПа) приводит значение СКО к изменению до уровня $\sigma=4,7$ МПа, согласно формулы (3.19).

Данная методика позволяет управлять качеством производимых изделий, начиная со стадии планирования. Это может привести к сокращению затрат как производителя, так и потребителя, связанных с необходимостью устранения несоответствий фактического уровня качества ожидаемому.

Пусть модель затрат, связанных с повышением качества продукции, включает средние значения и значения дисперсии показателей качества. При этом потерю в качестве можно разложить на две составляющие процесса производства: систематические ошибки и точечные отклонения. Для того, чтобы добиться совпадения математического ожидания показателя качества с его целевым значением, было предложено использовать стратегию сокращения смещения настроек

технологического процесса. Уменьшая дисперсию входных параметров, в частности сырья, можно добиться сокращения показателя качества Y .

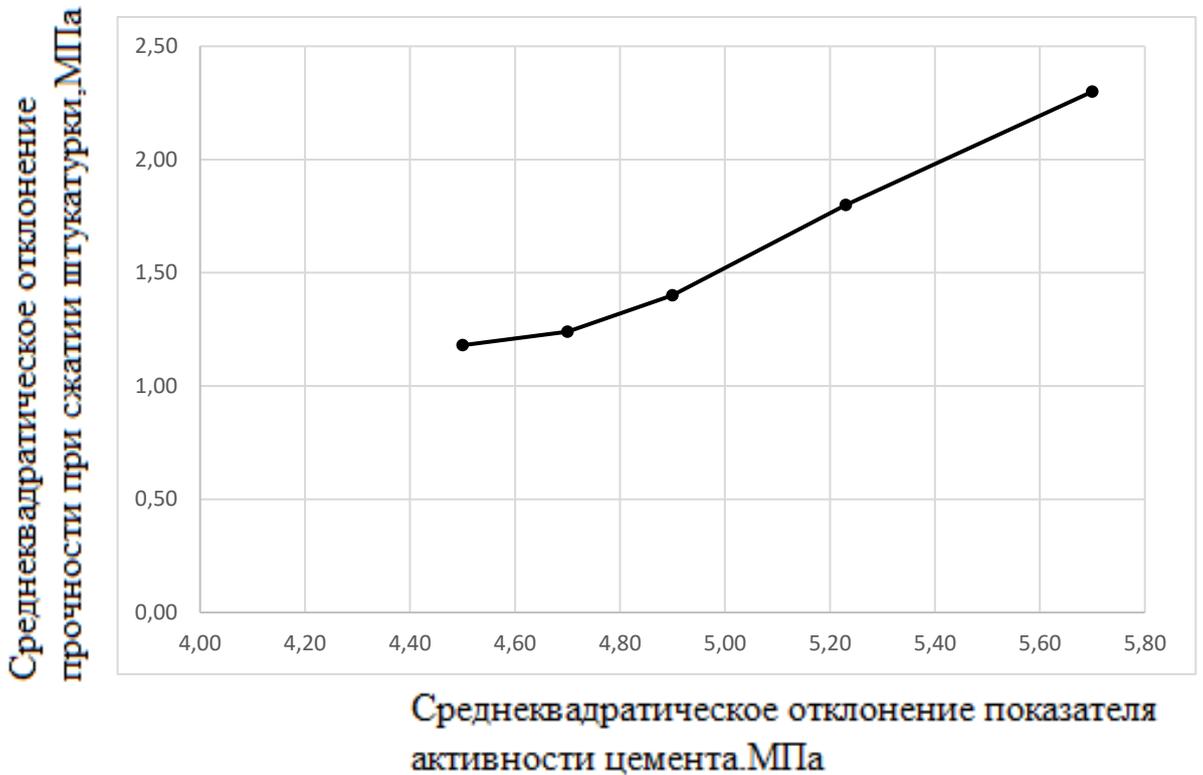


Рисунок 3.1 – Зависимость среднеквадратического отклонения прочности при сжатии отделочного состава CemPlast от значения среднеквадратического отклонения показателя активности цемента

Предположим, что уменьшение дисперсии входных параметров и сокращение систематической ошибки связано с повышением затрат, тогда возникает задача поиска баланса между дополнительными инвестициями и ожидаемой потерей в качестве изделий.

Обозначим стоимость управления дисперсией для i -й входной переменной X_i как $\sum_{i=1}^n C_i(\sigma_i^2)$, а стоимость управления технологическим процессом для i -й входной переменной X_i как $D_i(\mu_i)$.

Общая модель имеет вид:

$$TC = \sum_{i=1}^n C_i(\sigma_i^2) + \sum_{i=1}^n D_i(\mu_i) + k[\sigma_y^2 + (\mu_i - y_0)^2], \quad (3.21)$$

где $k[\sigma_y^2 + (\mu_i - y_0)^2]$ – это ожидаемая потеря качества для потребителя;

k – константа в функции потери качества;

Y – целевое значение.

Уравнение (3.21) включает $\sum_{i=1}^n C_i (\sigma_i^2)$ и $\sum_{i=1}^n D_i(\mu_i)$, которые описывают затраты на уменьшение дисперсии входных параметров, управление их средними значениями, фактически являются затратами производителя.

Рассмотрим применение уравнения (3.21) на примере управления обсуждаемыми затратами производителем отделочных составов. Если среднее значение активности цемента не соответствует целевому значению Y_0 и среднеквадратическое отклонение σ не обеспечивает низкую вариативность показателя качества отделочных смесей, то производитель, не рассматривая возможность внесения изменений в операционный процесс поставщика цемента, может рассматривать альтернативные источники поставок сырья, которое будет характеризоваться более низким показателем вариативности.

Требования к песку для отделочных смесей изложены в ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». Однако вариативность песка может оказаться большой, что негативно скажется на вариативности показателей качества конечного продукта. Для того, чтобы избежать данных последствий, производитель может внести корректировки в производственный процесс путем добавления блока классификатора для получения двух или трех фракций песка или использовать готовое сырье, обладающее ожидаемыми характеристиками. Однако в рассматриваемом примере (для состава CemPlast) региональная недоступность сырья не позволила производителю использовать последний вариант, поэтому было принято решение установки блока классификатора.

Для производства отделочных смесей пензенское предприятие New MIX использует две фракции кварцевого песка Махалинского месторождения Кузнецкого района Пензенской области. Статистическая обработка информации указывает на девиации значений среднеквадратического отклонения прочности

при сжатии отделочных смесей CemPlast в пределах $\sigma=(1,1-2,3)$ МПа в зависимости от значений среднеквадратического отклонения по модулю крупности песка $\sigma=0,16-0,28$. Как указывалось выше, составляющие формулы (3.20) описывают затраты на управление вариативностью характеристик входных параметров. Были оценены данные затраты в случае использования блока классификатора. Классификатор может быть представлен сеткой, позволяющей получать три фракции песка, стоимость ее по информации разных источников может составлять 160 тыс. руб. за единицу оборудования. Примем, что минимальная отпускная цена отделочных смесей, зафиксированная производителем для покупателей на протяжении определенного периода, составляет 150 рублей за 1 упаковочную единицу по 25 кг. Если предприятие выпускает 500 т/сутки, то выручка за сутки составит 3 млн. руб. при условии продажи 95% произведенной продукции и уровне дефектности 5%. Чистая прибыль предприятия от реализации данной продукции с учетом налогов может составить 300 тыс. руб., при этом срок окупаемости при прямом методе расчета блока классификатора составит два дня, с учетом стоимости оборудования и его монтажа (рисунок 3.2).

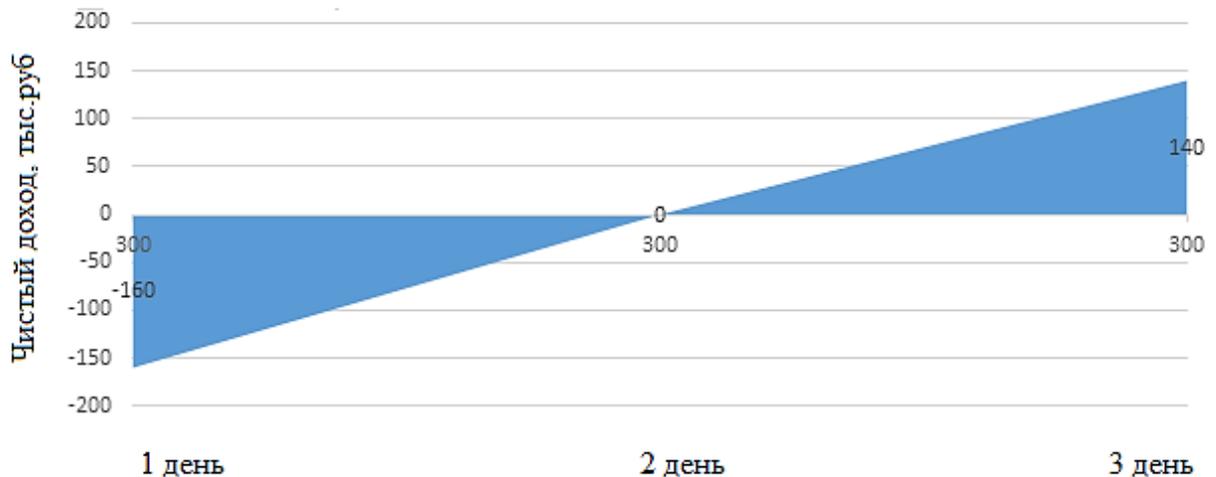


Рисунок 3.2 – Срок окупаемости дополнительной сетки

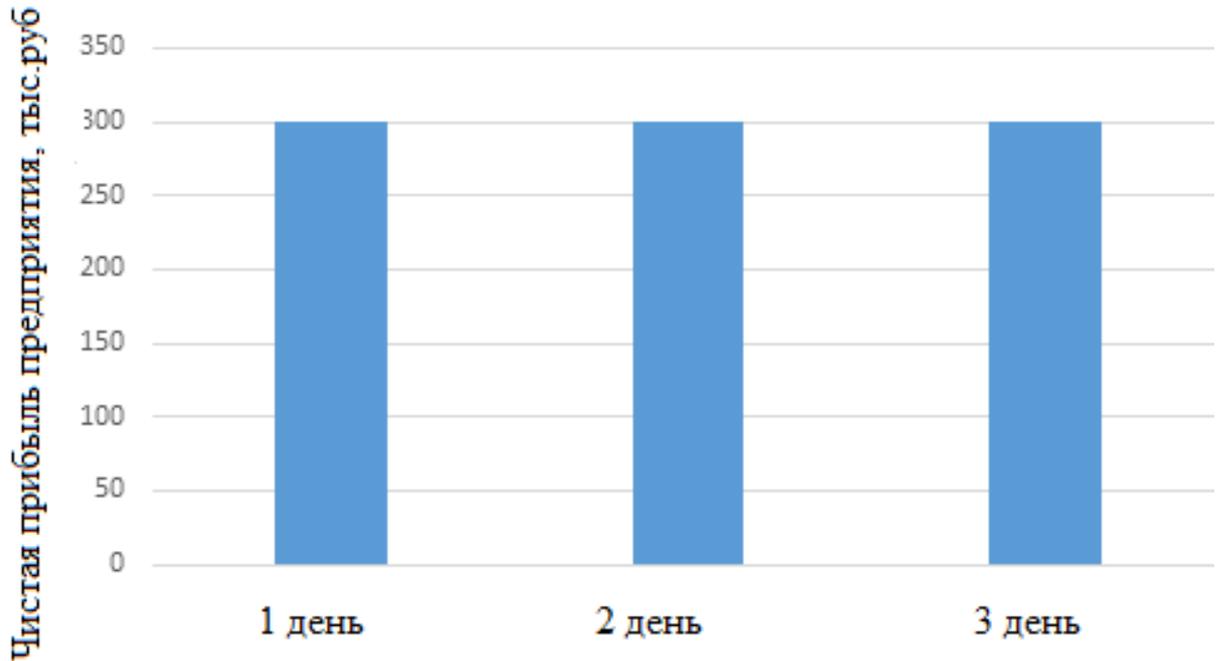


Рисунок 3.3 – Ежедневная чистая прибыль предприятия при условии продажи 95% продукции и уровне дефектности 5%

Как видно из рисунка 3.2, 3.3 при ежедневной чистой прибыли предприятия в 300 тыс. руб., срок окупаемости наступает на 2 день (точка безубыточности) и на 3 день производства предприятие имеет чистый доход в 140 тыс. руб.

При реализации 100% произведенной продукции с уровнем дефектности 0,27% (за счет повышения качества продукции вследствие снижения вариативности песка) дисконтированный доход за два дня производства будет равен 335,4,9 тыс. руб. (рисунок 3.4).

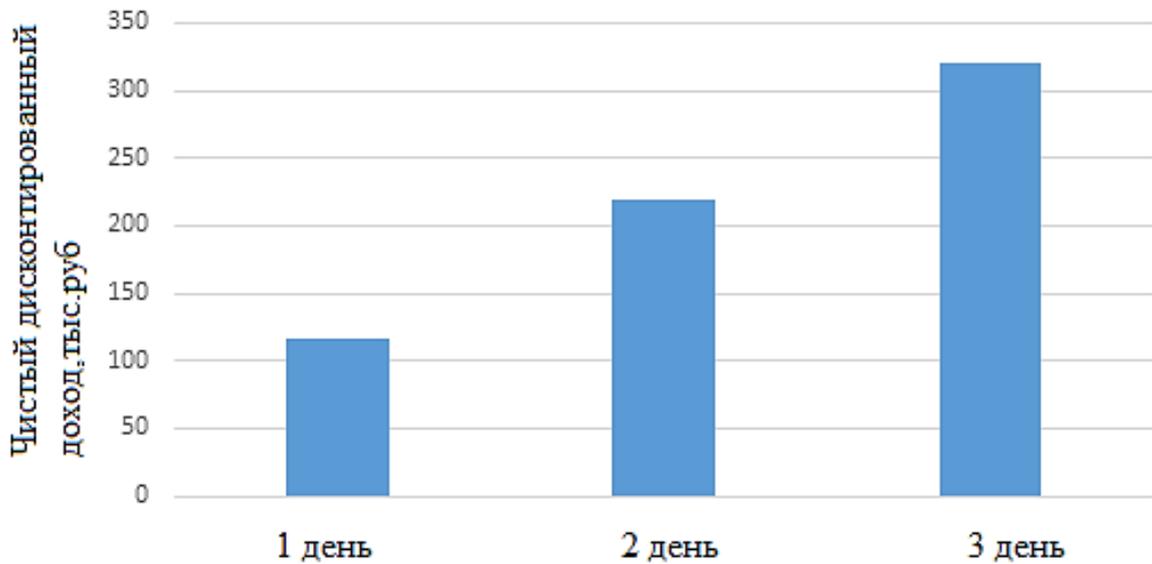


Рисунок 3.4 – Чистый дисконтированный доход предприятия при условии продажи 100% продукции и уровне дефектности 0,27%

Согласно рисунку 3.4, за счет увеличения объема реализации продукции в условиях снижения уровня дефектности чистый доход предприятия имеет повышающую тенденцию, что свидетельствует о целесообразности решения корректировки производственного процесса путем добавления блока классификатора.

Выводы по главе 3

1. Установлено несоответствие между количеством образцов, указанных в ГОСТ 31356–2013, ГОСТ 33083–2014, и расчетными данными с учетом риска поставщика и потребителя, уровня дефектной продукции. Предложено, что при определении объема выборки в методиках оценки качества строительных материалов должно быть указано значение доверительной вероятности, предельной ошибки, что позволит более объективно судить обо всей партии изделий.

2. Выявлено, что достоверность контроля качества отделочных смесей при стабильном и воспроизводимом процессе производства, т.е. среднее значение

показателей качества находится в середине поля допуска, при этом в поле допуска находятся $\pm 3\sigma$, составляет $P=0,9723$, т.е. большее нормативного значения, составляющего $P=0,95$. Несовпадение значения среднеарифметического с серединой поля допуска, увеличение среднеквадратического отклонения СКО приводят к резкому снижению показателя достоверности контроля, увеличению рисков производителя и потребителя.

3. Показано, что существует функциональная связь между вариативностью показателей качества отделочного состава и вариативностью показателей качества входных переменных (сырья). Предложена математическая модель между среднеквадратическим отклонением показателя качества покрытий и среднеквадратическим отклонением показателя качества цемента, что позволяет, зная необходимые значения дисперсии показателя качества продукта, определить оптимальные дисперсии входных переменных.

4 Разработка известкового состава для реставрации и отделки стен зданий

4.1 Закономерности структурообразования известковых композиций с добавкой полисиликатного раствора

При разработке рецептуры отделочного состава учитывались рекомендации национальных и международных нормативных документов. Ранее действующий национальный стандарт Великобритании BS 4887, позднее замененный на Европейские стандарты BS EN 998 (Спецификация раствора для кладки) и BS EN 934–3 (Добавки для раствора для кладки), а так же национальный немецкий стандарт DIN 18550, гармонизированный в европейский DIN EN 13914, содержат рекомендации по использованию отделочных (штукатурных растворов), где соотношение вяжущее : песок находится в интервале 1 : 3–3,5 до 4,0–4,5. При этом гипсовые и ангидритовые составы исключаются из данных рекомендаций. Прочность отделочных штукатурных растворов на основе гидравлической и высокогидравлической извести, образованных при твердении вяжущего вещества, определяется соотношением вяжущее : заполнитель. Согласно BS EN 998–1 прочность при сжатии подобных растворов должна иметь значения 1 и 2,5 МПа соответственно, при этом соотношение цемент: песок составляет 1:3. Штукатурные составы на основе воздушной извести не регламентируются требованиями к прочности при сжатии. Но чем выше прочностные характеристики раствора, тем он больше подвержен растрескиванию и усадке при высыхании.

В ходе работы над рецептурой состава, применяемого при реставрации исторических зданий и отделки стен зданий, была использована гашеная известь (пушонка) 1 сорта (ГОСТ 9179–2018) активностью 83%, насыпной плотностью, равной 477 кг/м³, истинной плотностью, равной 2216 кг/м³ и удельной поверхностью 1045 м²/кг (производство Каменского предприятия ОАО «Атмис-сахар»).

Для получения полисиликатного раствора в жидкое стекло вводили золь кремниевой кислоты Nanosil 20.

Получение полисиликатного раствора с силикатным модулем $M=4,25-5,29$ возможно с применением золя в количестве 10–15% от массы жидкого стекла с модулем $M=2,78$. По данным [65,66,73,63, 79,155] установлено, что при содержании золя в количестве 10% от массы жидкого стекла содержание полимерной формы кремнезема $\gamma\text{-SiO}_2$ составляет 12,68%, а суммарное содержание мономерных и олигомерных форм ($\alpha\text{-SiO}_2+\beta\text{-SiO}_2$) определяются в количестве 17,71%.

В качестве наполнителя применяли микрокальцит марки КМ2, маршалит марки А, кварцевый песок.

Установлено, что при взаимодействии извести с полисиликатным раствором создаются более благоприятные условия для взаимодействия (таблица 4.1). Расчеты показывают, что работа адгезии воды к извести составляет 116,61 мН/м, а полисиликатного раствора – 106,78 мН/м. Введение добавки Хидетал П-4 способствует повышению работы адгезии, которая составила 108,36 мН/м. Количество удельной теплоты, выделившейся при смачивании извести полисиликатным раствором, составило 17,3 кДж/кг, а при смачивании извести водой — 10,6 кДж/кг. Более высокие значения теплоты смачивания, обусловлены дополнительно выделившейся теплотой вследствие взаимодействия извести с полисиликатным раствором.

Была определена оптимальная концентрация полисиликатного раствора (рисунок 4.1) исходя из зависимости прочности при растяжении от содержания SiO_2 [19,61]. Анализ данных свидетельствует о наличии экстремума при концентрации полисиликатного раствора 1% от массы извести (концентрация SiO_2 0,003%). Прочность при растяжении составляет $R_p=0,24$ МПа. При дальнейшем увеличении содержания SiO_2 наблюдается снижение прочности при растяжении. Полученные результаты хорошо согласуются с данными [41,43].

Исследовалось влияние состава полисиликатного раствора на прочность при растяжении известкового композита. Применялся полисиликатный раствор с различной степенью созревания и различным количеством введенного золя

кремниевой кислоты. Состав полисиликатного раствора определялся молибдатным методом (таблица 4.2).

Таблица 4.1 – Значения работы смачивания

Наименование ингредиентов	Работа адгезии, мН/м	Работа смачивания, мН/м	Удельная теплота смачивания, кДж/кг
Известь+вода	116,6	43,8	10,6
Известь+полисиликатный раствор	106,78	36,98	17,3
Известь+полисиликатный раствор+добавка Хидетал П-4	108,38	38,86	18,4

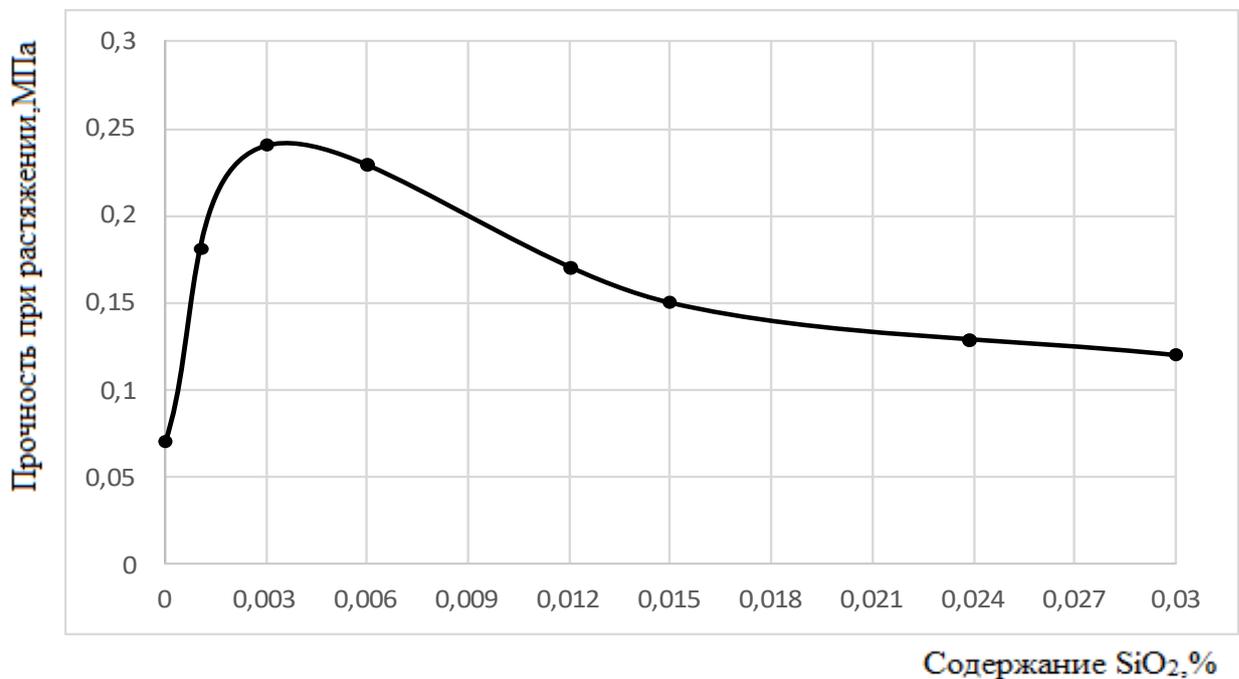


Рисунок 4.1– Зависимость прочности при растяжении известкового камня от концентрации SiO₂

Таблица 4.2 – Изменение содержания кремнийкислородных анионов в мономерной форме $\alpha\text{-SiO}_2$ в процессе старения полисиликатных растворов, %

Время созревания полисиликатного раствора, мин	Содержание золя, %		
	5	10	15
2,5	4,78	7,89	8,72
5,0	7,25	10,03	12,17
7,5	8,69	11,02	13,88
10	9,77	12,56	15,06
12,5	10,51	14,22	15,93
15	11,34	15,28	16,33
17,5	11,94	15,67	16,71
20	12,01	16,22	16,95
22,5	12,38	16,70	17,33
25	12,49	16,75	17,45
27,5	12,7	16,81	17,64
30	12,87	17,48	17,75
45	13,72	17,79	18,32
60	13,89	17,8	18,54
120	13,96	16,84	17,91
180	13,62	15,79	17,20
240	13,21	15,23	16,50
360	12,70	14,35	15,70

Установлено, что прочность при растяжении известкового камня, образуемого при твердении полисиликатных растворов совместно с известью, возрастает с увеличением содержания в полисиликатном растворе кремнийкислородных анионов (ККА) в мономерной форме. Так, прочность при растяжении известкового композита с добавкой полисиликатного раствора с содержанием ККА

в количестве 18,54% составляет 0,28 МПа, а при содержании ККА в мономерной форме в количестве 13,96% – 0,19 МПа (рисунок 4.2).

Полисиликатный раствор с меньшей степенью полимеризации проявляет большую активность при взаимодействии с известью. Поэтому следует применять полисиликатный раствор в возрасте 1–4 часа с момента приготовления.

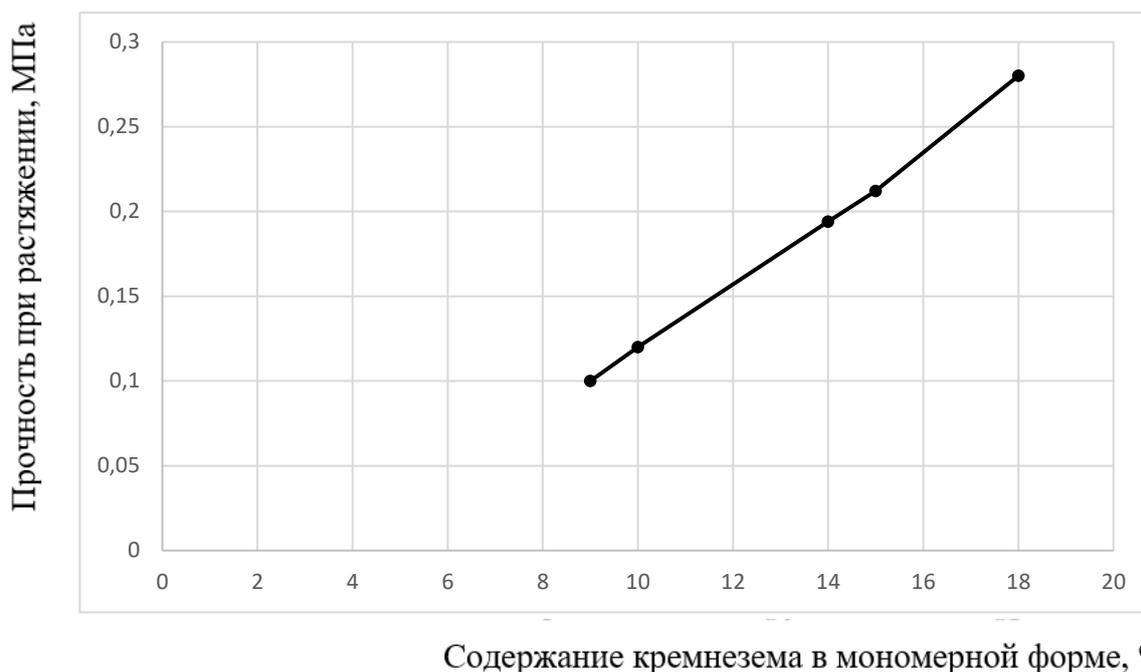


Рисунок 4.2 – Зависимость прочности при растяжении известкового композита от содержания кремнийкислородных анионов в мономерной форме

Повышение прочности известковых композитов при введении добавки полисиликатного раствора обусловлено наличием дополнительных химических образований. Для подтверждения полученных результатов был дополнительно проведен рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ (ДТА) с помощью установки «Термоскан-2» в возрасте 3 месяцев твердения образцов.

Выявлено, что состав известковых композитов (контрольный состав) представлен портландитом d , (Å) (3,10; 2,62; 2,61; 1,94; 1,79; 1,48), кальцитом d , (Å) (3,86; 3,04; 2,28; 2,09; 1,44) (рисунок 4.3).

Состав известковых композитов с добавкой полисиликатного раствора представлен портландитом d , (Å) (3,10; 2,62; 2,61; 1,94; 1,79; 1,48), кальцитом d , (Å) (3,86; 3,04; 2,28; 2,09; 1,44), гидросиликатом кальция-натрия CaNaHSiO_4 d , (Å) (2,29; 2,41; 2,28; 1,93; 1,92), гидратной фазой, близкой по химическому составу к C-S-H (I) d , (Å) (3,1; 3,03; 2,81; 2,74; 1,92; 1,79; 1,68) (рисунок 4.4).

Гидратная фаза, близкая по химическому составу к C-S-H (I), как правило, кристаллизуется в виде волокон или игл, что также объясняет повышение прочности при растяжении покрытия на основе известкового состава с добавкой полисиликатного раствора.

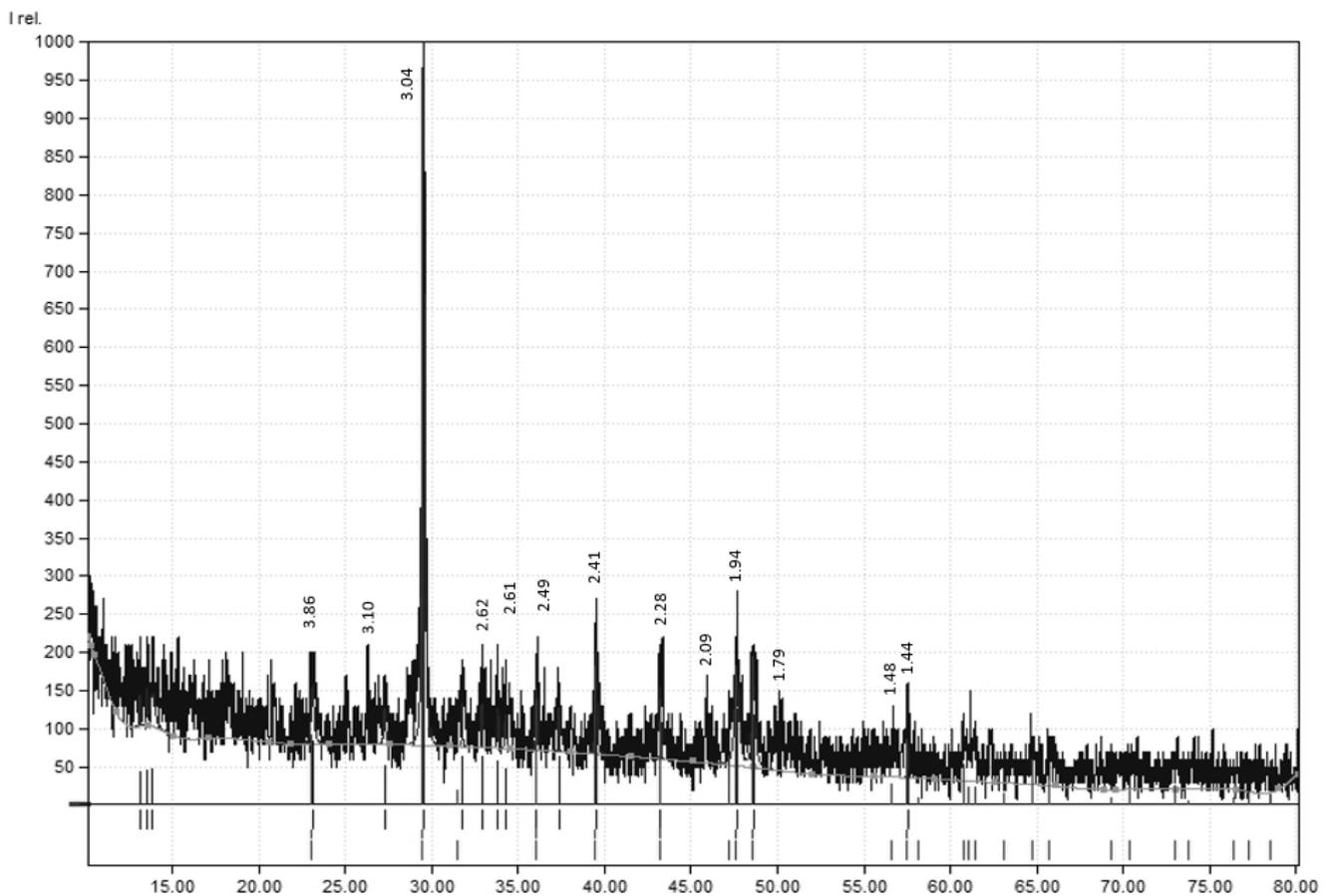


Рисунок 4.3 – Дифрактограмма известкового композита (контрольный состав)

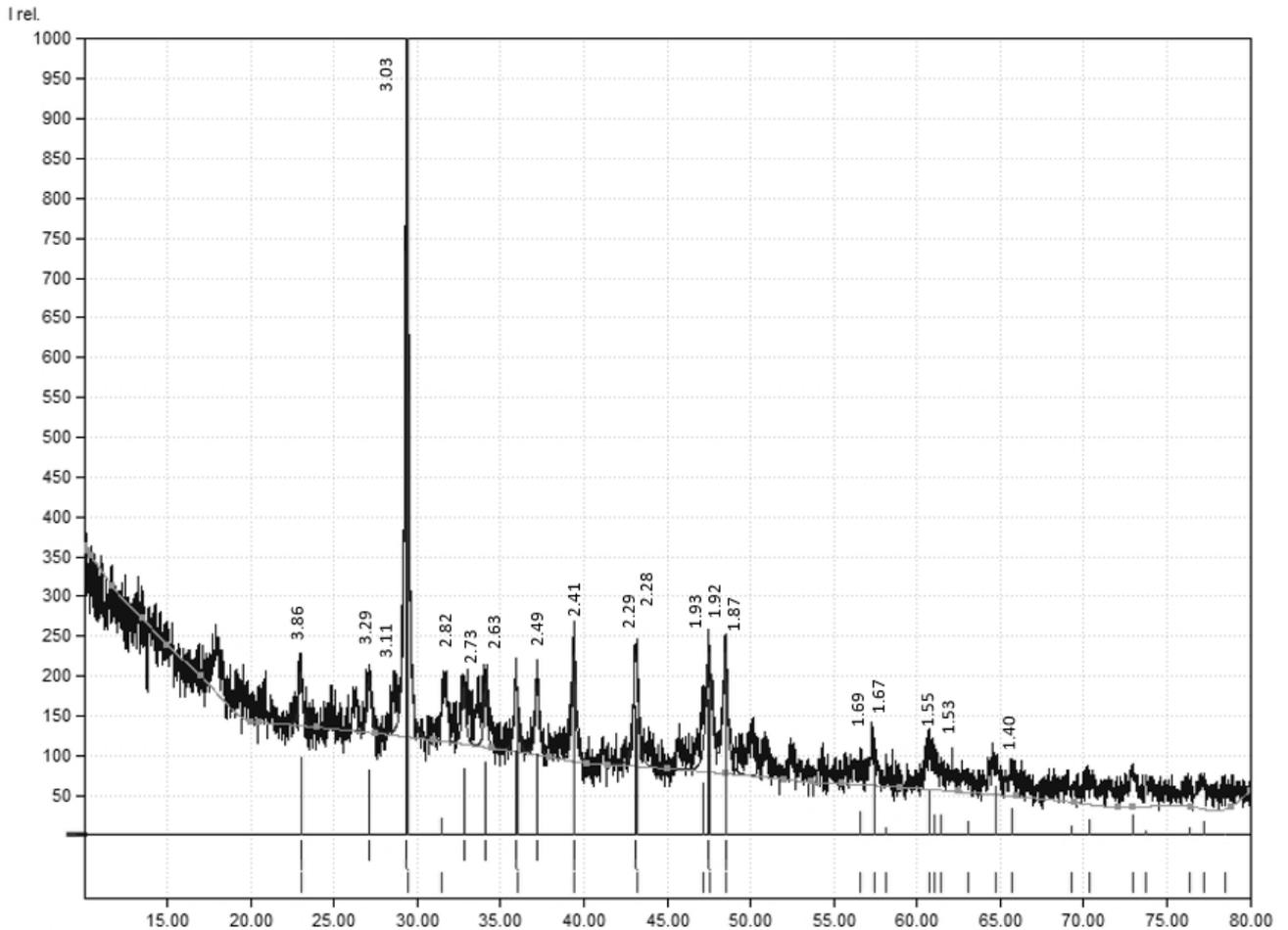


Рисунок 4.4 – Дифрактограмма известкового композита с добавкой полисиликатного раствора

При ДТА известкового композита с добавкой полисиликатного раствора установлено, что тепловой эффект при температуре 90-200 °С связан с удалением адсорбированной воды. Интенсивный эндоэффект на обеих термограммах в интервале 520– 650 °С связан с дегидратацией портландита. При сравнении термограмм выявлено, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита, у контрольных образцов больше и составляет $Q=73,641$ Дж (рисунок 4.5, кривая 1), что обусловлено большим содержанием в данных образцах портландита. Тепловой эффект в образцах на основе состава с добавкой полисиликатного раствора составляет $Q=21,41$ Дж (рисунок 4.5, кривая 2). Эндотермический эффект при температуре 800– 1000 °С является наложением экзотермического эф-

фекта, связанного с разложением гидросиликатов кальция-натрия, и эндотермических эффектов, характеризующих диссоциацию кальцита, а также переход C–S–H (I) в волластонит.

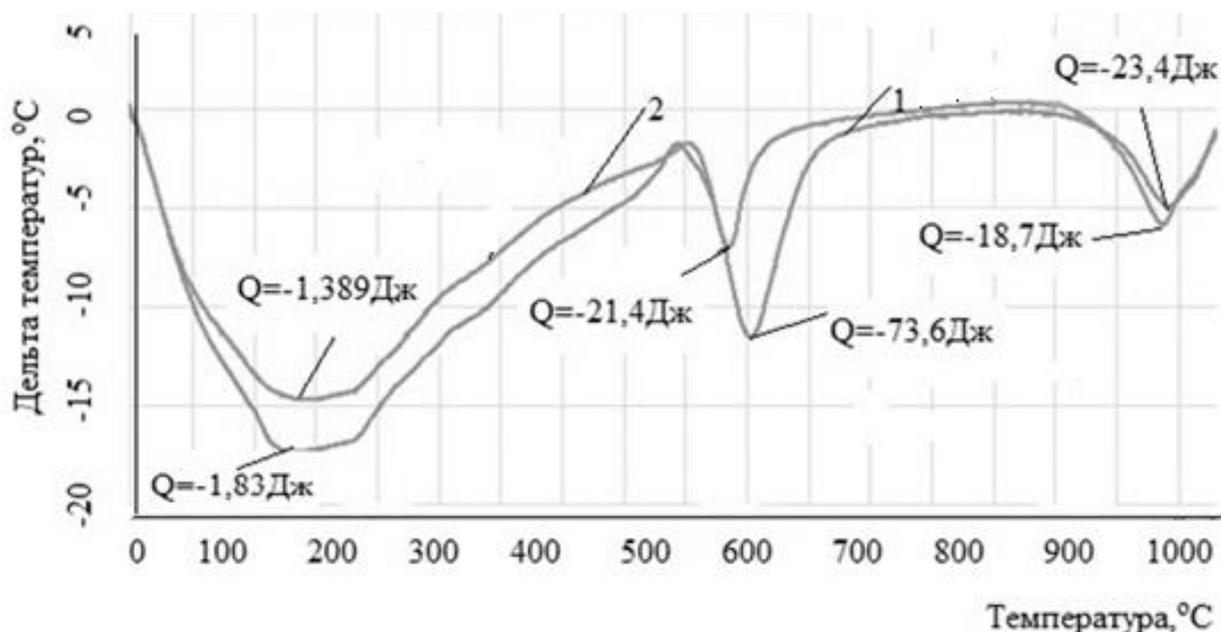


Рисунок 4.5 – Кривые дифференциально-термического анализа образцов: 1-контрольный образец; 2- образец с применением добавки полисиликатного раствора

Разные максимумы температуры эндотермических эффектов портландита в контрольных образцах и в образцах с добавкой полисиликатного раствора, очевидно, обусловлены, как уже отмечалось, большим содержанием в контрольных образцах портландита.

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

На рисунке 4.6 приведены данные о количестве $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в процессе твердения известкового композита. Выявлено, что количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в контрольном образце составляет 60%, а в образцах на основе состава с полисиликатным раствором – 49%.

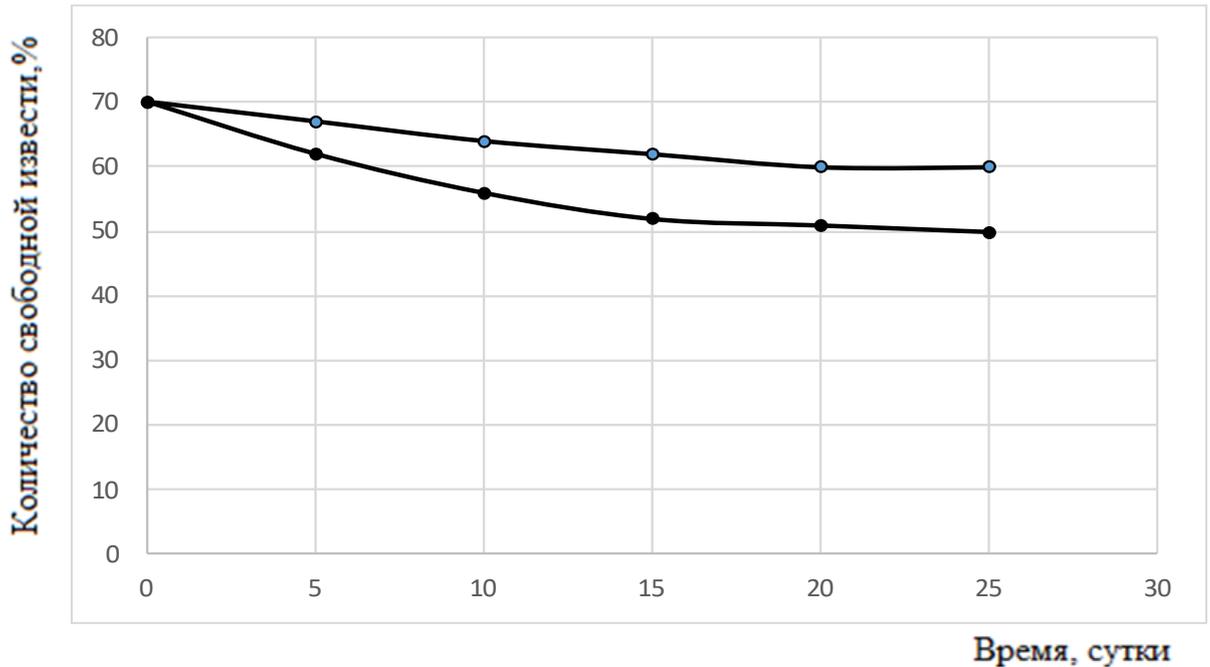


Рисунок 4.6 – Изменение содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в процессе твердения: 1 – контрольный состав; 2 – состав с применением добавки полисиликатного раствора.

Введение добавки полисиликатного раствора содействует увеличению теплоты структурообразования известкового композита (рисунок 4.7). Максимальная температура структурообразования, равная $65\text{ }^\circ\text{C}$, достигается спустя 60 минут.

На рисунке 4.8 приведена структура известкового камня, полученная с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 при увеличении в 10 000 раз. Хорошо видно, что структура известкового камня с добавкой полисиликатного раствора характеризуется наличием более мелких частиц размером от 1 до 2 нм, характерной для гидратных фаз, близких по химическому составу к гидросиликату кальция типа C–S–H (I), в то время как размер частичек известкового камня

на основе контрольного состава находится в диапазоне 2-3 нм. На поверхности скола видны хорошо сформировавшиеся кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Анализ микроструктуры образцов известкового камня с добавкой полисиликатного раствора показал, что они отличаются более плотной структурой.

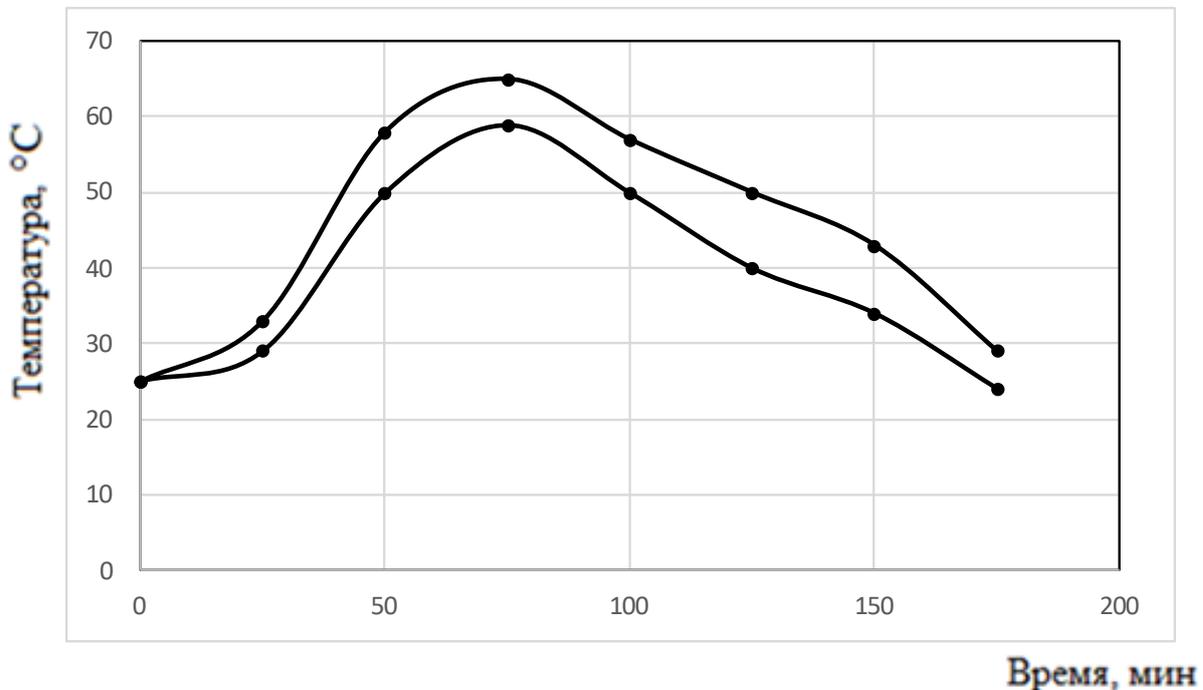
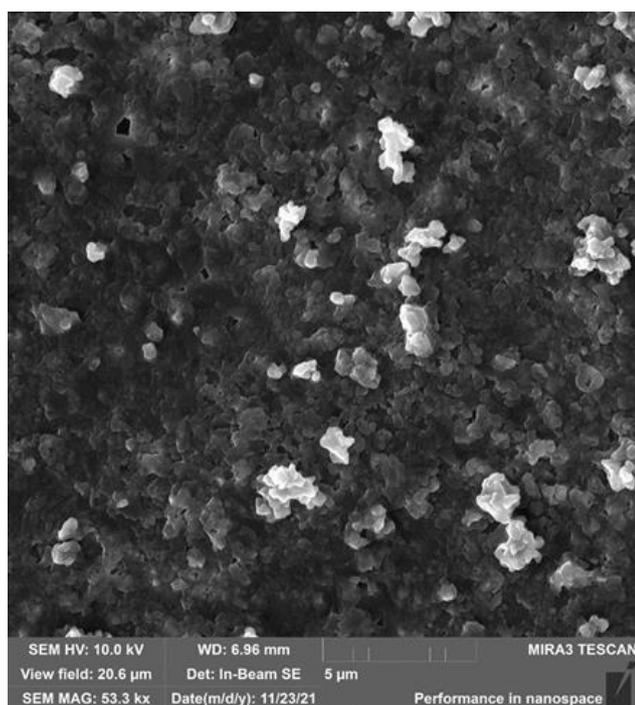


Рисунок 4.7 – Изменение температуры в процессе структурообразования известковой системы: 1 – известковый состав с добавкой полисиликатного раствора; 2 – контрольный состав

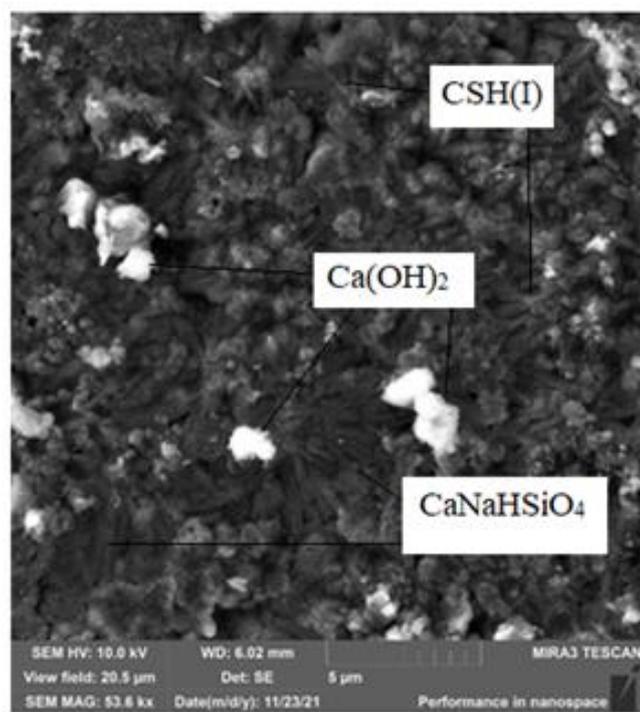
На поверхности модифицированного известкового камня идентифицируется портландит и игольчатая структура низкоосновных гидросиликатов кальция. Внешняя форма частиц натрий-кальциевого гидросиликата представляет собой скрученные волокна.

Был проведен топологический анализ формирования структуры покрытий, в связи с этим рассчитывали соотношение между частицами извести и полисиликатным раствором C в единице объема [35,64].

Принято, что частицы полисиликатного раствора и извести имеют форму шара. Число частиц рассчитывали по формуле:



а



б

Рисунок 4.8 – Структура известкового затвердевшего камня x 10000:
а – контрольный состав; б – с добавкой полисиликатного раствора

$$n = \frac{V_{\text{мат}}}{V_{\text{шара}}} \quad (4.1)$$

где $V_{\text{мат}}$ – объем материала;

$V_{\text{шара}}$ – объем частицы в форме шара.

Тогда число частиц извести равно:

$$n_u = \frac{6m_u}{\rho_u \pi d_u^3} \quad (4.2)$$

а число частиц полисиликатного раствора:

$$n_3 = \frac{6m_3}{\rho_3 \pi d_3^3}, \quad (4.3)$$

где m_u , m_3 – масса извести и полисиликатного раствора; n_u , n_3 – количества частиц извести и полисиликатного раствора; ρ_u , ρ_3 – плотности извести и полисиликатного раствора.

Соотношение C между частицами полисиликатного раствора и извести равно:

$$C = \frac{n_3}{n_u} = \frac{m_3 \rho_u d_u^3}{m_u \rho_3 d_3^3} E_c = \frac{(200N_{\text{NaOH}} - 8V_{\text{HCl}}N_{\text{HCl}})100}{g(100-W)}, \quad (4.4)$$

Соотношение между частицами извести и полисиликатного раствора было рассчитано для составов 1 : 0,01 (известь: полисиликатный раствор). По данным [2,66,63] радиус частиц полисиликатного раствора составляет 5–7 нм, извести – 4,87 мкм. Из результатов расчетов можно заключить, что для составов 1 : 0,01 на одну частицу извести приходится $5,29 \cdot 10^6$ частиц полисиликатного раствора. Исходя из этого можно предположить, что каждая частица извести в исследуемых составах окружена частицами полисиликатного раствора.

Элементарную кубическую ячейку с размером ребра A рассматривали для определения вероятного механизма формирования прочности системы «известь - полисиликатный раствор». Принимали, что в ячейке размещается одна шаровая частица извести. Эту частицу в виде шаровых секторов поместим в ячейку, по 1/4 части шара в каждом углу куба. Все частицы полисиликатного раствора размещали в свободном объеме ячейки, не заполненной данными шаровыми секторами извести. Полный объем элементарной ячейки складывается из суммарного

объема частиц полисиликатного раствора, размещенных с определенной степенью упаковки $K_{уп}$ (рисунок 4.9) и одной частицы извести.

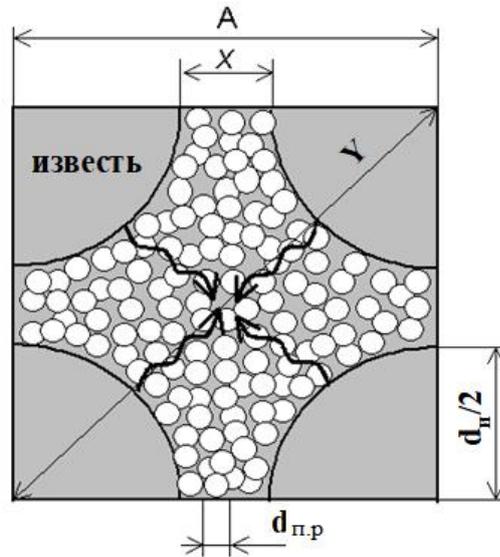


Рисунок 4.9 – Идеализированные топологии структуры известкового отделочного покрытия

С учетом $K_{уп}$ можно записать для полного объема $V_я$:

$$V_я = A^3 = \frac{\pi d_и^3}{6} + \frac{\pi d_з^3}{6} \cdot K_{уп} n_з \cdot E_c = \frac{(200N_{NaOH} - 8V_{HCl} N_{HCl}) 100}{g(100-W)}, \quad (4.5)$$

Откуда

$$A = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} (d_и^3 + d_з^3 K_{уп} n_з) E_c} = \frac{(200N_{NaOH} - 8V_{HCl} N_{HCl}) 100}{g(100-W)}, \quad (4.6)$$

Для принятых характеристик извести и полисиликатного раствора, вычисленного значения C и принятого $K_{уп} = 0,74$ получим для состава 1:0,01 $A = 0,807$ см = 8,07 мм. Расстояние X между поверхностями частиц полисиликатного раствора по ребру элементарной ячейки будет:

$$X = A - d_{ш} \quad (4.7)$$

Для составов 1:0,01 значение X равно 8,06 мм.

Если длина диагонали B грани кубической ячейки рассчитывается по формуле $\sqrt{2}A$, длина диагонали куба равна $L = \sqrt{3}A$, то расстояние между поверхностями частиц Y по диагонали грани можно рассчитать:

$$Y = \sqrt{2}A - d. \quad (4.8)$$

Для составов с соотношением «известь: полисиликатный раствор», равным 1:0,01, значение Y рассчитано равным 4,00726 мм. Расстояние между поверхностями частиц Z по диагонали куба равно

$$Z = \sqrt{3}A - d, \quad (4.9)$$

Соответственно для составов 1:0,01 значение Z равно 4,91026 мм.

Таким образом, для связывания полисиликатного раствора необходима миграция извести в зону контакта с полисиликатным раствором на расстояние до $Z/2$ и составляющим соответственно для составов 1:0,01 $Z/2 = 2,45513$ мм. Исходя из этого, наиболее вероятным механизмом формирования прочности является диффузионный перенос ионов извести и последующая реакция взаимодействия их с полисиликатным раствором.

В работе рассматривали влияние наполнителя на изменение прочности известковых композитов. Для изучения структурообразования известковых композитов изготавливали образцы, содержание полисиликатного раствора в них составляло 1–10% от массы извести. Для сравнения применяли добавки золя кремниевой кислоты Nanosil 20 и жидкого стекла. Образцы кубической формы размером 3,0x3,0x3,0 см твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С и относительной влажности воздуха 60–70% и испытывали в возрасте 28 суток. При оценке прочности при сжатии количество образцов для испытаний рассчитывалось с учетом рекомендаций, приведенных в главе 3. Результаты испытаний приведены в таблице 4.3.

В европейском стандарте DIN EN 998-1-2017 указано, что сопротивление внешним воздействиям и долговечность штукатурного состава обеспечиваются, когда раствор характеризуется значениями прочности при сжатии в интервале 0,4 ÷ 7,5 МПа. Растворы, имеющие подобные показатели прочности, способны приспосабливаться к незначительным деформациям и противодействовать образованию трещин.

Таблица 4.3 – Влияние наполнителя на прочность при сжатии известкового композита

Вид наполнителя	Содержание наполнителя	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент вариации, %	Среднеквадратическое отклонение, СКО, МПа
Песок фракции 0,315-0,630	1:3, В/И=1,26	1,09	10,3	0,112
Маршалит	1:1, В/И=1,26	1,53	7,4	0,113
	1:2, В/И=1,26	1,46	7,3	0,106
	1:3, В/И=1,26	1,39	7,2	0,100
Микрокальцит	1:1, В/И=1,26	1,83	6,3	0,115
	1:2, В/И=1,26	1,78	5,9	0,105
	1:3, В/И=1,26	1,69	5,4	0,091
Микрокальцит, добавка полисиликатного раствора 5% от массы извести	1:3, В/И=1,26	2,30	5,1	0,117
Микрокальцит, добавка полисиликатного раствора 1% от массы извести	1:3, В/И=1,26	2,60	5,0	0,105
Микрокальцит, добавка полисиликатного раствора 10% от массы извести	1:3, В/И=1,26	2,10	5,2	0,135

Микрокальцит, добавка золя кремниевой кислоты 1% от массы извести	1:3, В/И=1,26	1,85	5,2	0,096
Микрокальцит, добавка жидкого стекла 1% от массы извести	1:3, В/И=1,26	1,79	5,3	0,094

Установлено, что прочность при сжатии известковых композитов с применением в качестве наполнителя микрокальцита выше и составляет в зависимости от соотношения «известь: наполнитель» 1,69–1,83 МПа, в то время как с применением маршалита – 1,39–1,53 МПа, кварцевого песка – 1,09 МПа.

Введение полисиликатного раствора в известковый состав с микрокальцитом приводит к повышению прочности при сжатии, составляющей 2,6 МПа при содержании добавки 1,0% от массы извести.

Учитывая, что разрабатываемый состав предполагается применять при отделке и реставрации зданий, в том числе и известняковых поверхностей, руководствуясь принципом сродства структур, в дальнейшем в качестве наполнителя применяли только микрокальцит.

Следует отметить, что вариативность показателя прочности известкового композита с применением в качестве наполнителя маршалита или песка выше по сравнению с вариативностью прочности композита на микрокальцитовом наполнителе. Так, коэффициент вариации прочности композита на песке 10,3%, а на микрокальците 5–6,3%.

Учитывая, что требованиям DIN EN 998–1–2017 соответствуют только составы на микрокальците с добавкой полисиликатного раствора, в соответствии с формулой (3.8) была проанализирована достоверность определения прочности

известковых композитов только на основе этих составов. Результаты расчетов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Оценка достоверности контроля

Наименование состава	Допуск		Погрешность, %	Риски		Достоверность контроля
	нижний	верхний		производителя α	потребителя β_0	
Микрокальцит, добавка полисиликатного раствора в количестве 5% от массы извести	2,5	5	1%	0,0016	0,0008	0,9974
Микрокальцит, добавка полисиликатного раствора в количестве 1% от массы извести	2,5	5	1%	0,0225	0,0178	0,9596
Микрокальцит, добавка полисиликатного раствора в количестве 10% от массы извести	2,5	5	1%	0,00003	0,00001	0,9999

Результаты расчетов свидетельствуют, что достоверность контроля прочности композитов составляет 0,9596–0,9999.

Кроме того, микрокальцит также оказывает структурирующее действие на известковый композит. В работах [35] показано, что растворы и бетоны на основе известняка при твердении в нормальных условиях имеют прочность выше, чем растворы на кварцевом песке. Карбонатные породы обладают высокой реакционной способностью при их использовании в производстве строительных материалов, отмечается десятикратное увеличение прочности сцепления известняка с цементным камнем по сравнению с прочностью сцепления последнего с кварцем и гранитом. По данным [35] основными предполагаемыми механизмами повышения прочности известковых композитов в присутствии микрокальцита является образование:

- скоутита $6\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot \text{CaCO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\{\text{Ca}_7\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{CO}_3)_2\text{H}_2\text{O}\}$ за счет внедрения CaCO_3 в структуру гидросиликатов кальция;
- основных карбонатов кальция $\text{CaCO}_3\cdot \text{Ca}(\text{OH})_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$ в присутствии извести;
- гидрокальцита $\text{CaCO}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Рассматривая возможность химического взаимодействия карбоната кальция с известью и продуктами взаимодействия извести с полисиликатным раствором, следует иметь в виду чрезвычайно широкое разнообразие габитусов кристаллов кальцита (до нескольких десятков тысяч), что позволяет служить хорошей подложкой для наращивания на кристаллах CaCO_3 неорганических соединений.

Таким образом, возможны два основных процесса формирования прочности:

- за счет взаимодействия наполнителя с продуктами твердения, главным образом, в ионной форме;
- за счет эпитаксиального наращивания кристаллов на затравках кристаллизации тонкодисперсного наполнителя.

Для повышения прочности и водостойкости образцов предложено вводить в их состав белый цемент. Оптимальное содержание белого цемента определялось по показателям водостойкости, прочности при сжатии и паропроницаемости покрытий. Зависимость прочности при сжатии от процентного содержания белого цемента приведена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Влияние содержания белого цемента на прочность при сжатии известковых образцов

Содержание белого цемента, % от массы извести	Прочность при сжатии*, МПа
0	2,6
1	2,8
5	3,1
10	3,5

Примечание. *При проведении исследований количество образцов для испытаний рассчитывалось с учетом данных, приведенных в разделе 3.

Использование белого цемента способствует росту прочности известкового композита. Так, прочность при сжатии образцов после 28 суток воздушного твердения с применением белого цемента равна $R_{сж}=2,8-3,5$ МПа, прочность контрольного образца равна $R_{сж}=2,6$ МПа.

Добавление в рецептуру известкового состава добавки полисиликатного раствора способствует снижению усадочных деформаций (рисунок 4.10). Так, у контрольного состава после 10 суток твердения значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 0,0625\%$, в то время как у состава с добавкой полисиликатного раствора за тот же период усадка достигла лишь $\varepsilon = 0,0327\%$. Наиболее интенсивный рост усадочных деформаций образцов происходит в первые 4 суток твердения, после чего наблюдается заметная стабилизация. Так, у состава с добавкой полисиликатного раствора в течение 5 суток твердения усадочные деформации возросли до $\varepsilon = 0,0317\%$, а после 98 суток твердения усадка увеличилась лишь

на 8% и составила $\varepsilon = 0,0342\%$. Аналогичная закономерность наблюдается и у контрольного состава.

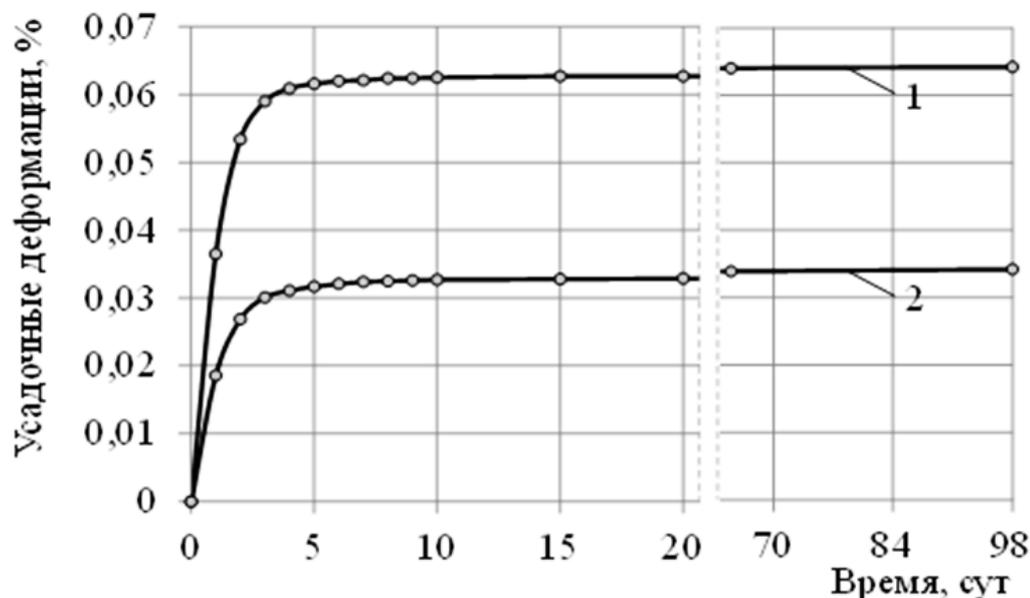


Рисунок 4.10 – Изменения усуточных деформаций в процессе твердения:

1 – контрольный состав; 2 – состав с добавкой полисиликатного раствора

Полученные данные свидетельствуют об усуточной трещиностойкости отделочного слоя на основе предлагаемой рецептуры

4.2 Закономерности изменения технологических и реологических свойств известковых композиций с добавкой полисиликатного раствора

В процессе проведения эксперимента исследовали влияние рецептуры смеси на реологические свойства составов. Реологические свойства оценивали по показателю пластической прочности, которую определяли с помощью конического пластометра КП-3. Для сравнения в работе применяли в качестве добавки жидкое стекло, золь кремниевой кислоты. Кривые кинетики набора пластической прочности приведены на рисунке 4.11.

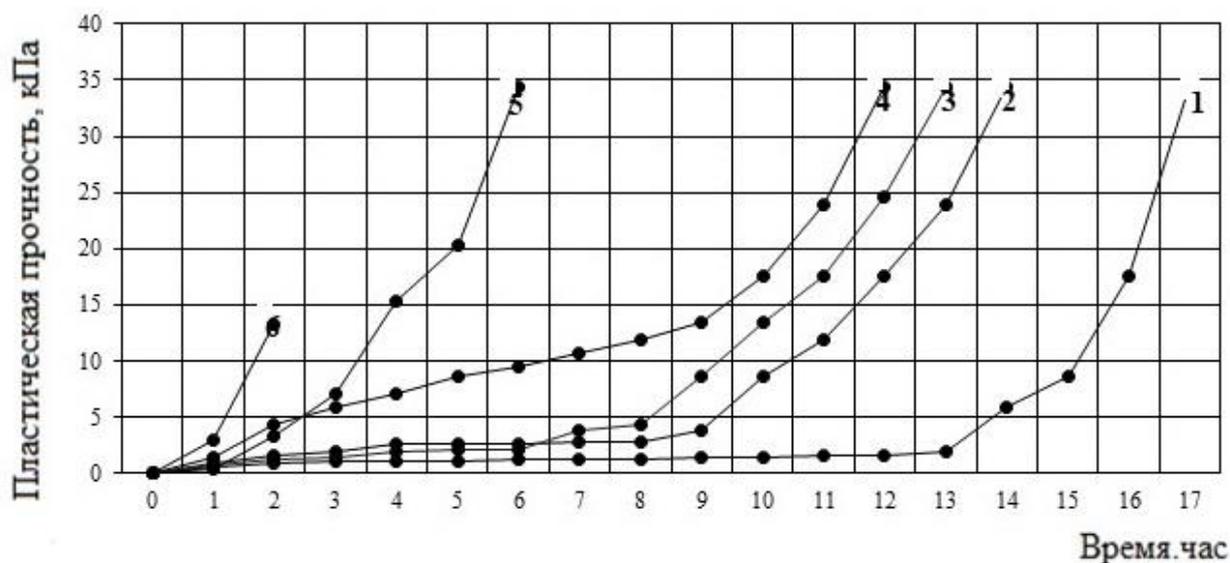


Рисунок 4.11 – Изменение пластической прочности известковой смеси: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав на известковом вяжущем с использованием золя кремниевой кислоты Nanosil 20 в количестве 1% от массы извести; 3 – состав на известковом вяжущем с использованием жидкого стекла в количестве 1% от массы извести; 4 – состав на известковом вяжущем с использованием полисиликатного раствора в количестве 1% от массы извести; 5 – состав на известковом вяжущем с использованием полисиликатного раствора в количестве 5% от массы извести; 6 – состав на известковом вяжущем с использованием полисиликатного раствора в количестве 10% от массы извести

Ускорение набора пластической прочности состава подтверждается анализом пластограмм, представленных на рисунке 4.11, и обеспечивается введением полисиликатного раствора. По прошествии шести часов после затворения исследуемого состава его пластическая прочность при содержании полисиликатного раствора 5% от массы извести составила $\tau=34,36$ кПа (рисунок 4.11, кривая 5). Пластическая прочность контрольного состава спустя шесть часов составила $\tau=1,17$ кПа (рисунок 4.11, кривая 1).

Введение полисиликатного раствора в количестве 10% от массы извести приводит к резкому набору пластической прочности известковой смеси. Это подтверждается показателем пластической прочности на уровне значения $\tau=7,6$ кПа спустя два часа после затворения (рисунок 4.11, кривая б). При введении полисиликатного раствора в количестве 1% от массы извести также наблюдается ускорение набора пластической прочности. Сравнительный анализ данных набора пластической прочности известковых составов с добавками жидкого стекла, золя кремниевой кислоты позволяет утверждать, что наблюдается синергетический эффект влияния полисиликатного раствора на структурообразование известковых отделочных составов, проявляющийся в ускорении набора пластической прочности. Так, спустя 9 часов с момента затворения пластическая прочность известкового состава с добавкой жидкого стекла составляла 8,59 кПа, с добавкой золя кремниевой кислоты – 3,81 кПа, а с добавкой полисиликатного раствора – 13,42 кПа.

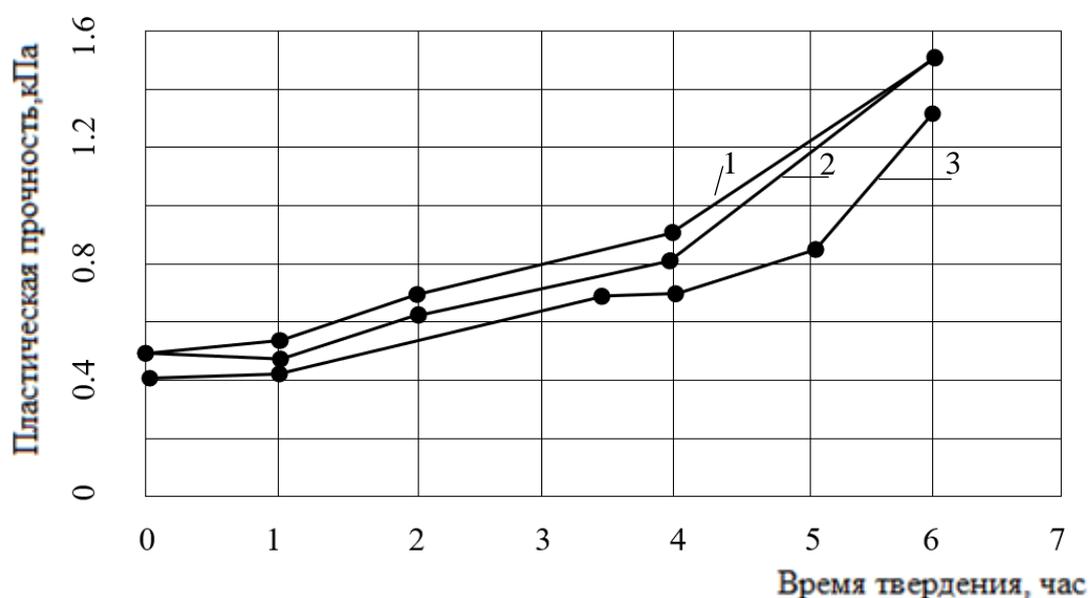


Рисунок 4.12 – Кинетика пластической прочности известковой смеси: 1 – добавка Хидетал П-4 в количестве 1% от массы извести; 2 – добавка Кратасол-ПФМ в количестве 1% от массы извести; 3 – добавка С-3 в количестве 1% от массы извести

Проводилось исследование различных пластификаторов (С-3, Кратасол-ПФМ, Хидетал П-4) с точки зрения влияния на скорость структурообразования известкового композита. Анализ пластограмм (рисунок 4.12) показывает, что использование пластифицирующих добавок приводит к уменьшению скорости структурообразования известкового композита. Спустя 6 часов с момента затворения пластическая прочность состава при добавлении пластификатора Кратасол-ПФМ в количестве 1% от массы извести составляет $\tau = 1,3$ кПа (рисунок 4.12, кривая 2). В возрасте 6 часов с момента затворения пластическая прочность контрольного состава (без добавок пластификатора) составляет $\tau = 27$ кПа.

В дополнение, оценивалась водоудерживающая способность отделочного состава. Результаты исследований приведены в таблице 4.6.

Установлено, что составы с добавкой полисиликатного раствора характеризуются несколько большей водоудерживающей способностью, составляющей 98%.

Таблица 4.6 – Водоудерживающая способность отделочных составов

№ состава	Состав смеси	Вид добавки	Водоудерживающая способность, %
1	Состав И:Н = 1:3 В/И = 1,26	–	92
2		1%-ный золь кремниевой кислоты	98
3		1%-ный полисиликатный раствор	98
4		5%-ный полисиликатный раствор	98
5		1%-ный раствор жидкого стекла	94
6		5%-ный полисиликатный раствор, добавка Хидетал П-4	98

Время и степень высыхания известковых составов определяли согласно ГОСТ 19007–73*. Метод заключается в определении времени, в течение которого отделочный слой превращается в слой с требуемой степенью высыхания. Оценку степени высыхания производили по пятибалльной шкале. В качестве контрольного принят состав известь:наполнитель (И:Н) =1:3, В/И = 1,26. В качестве наполнителя применяли микрокальцит.

Результаты исследований свидетельствуют, что известковые составы с добавкой 1%-ного полисиликатного раствора характеризуются замедленными сроками высыхания. Так, например, время высыхания до степени 3 на бетонной подложке составляет 15–20 мин, в то время как у контрольного состава (без добавки) – 7 мин.

Одна из проблем при выполнении штукатурных отделочных работ является сползание растворных смесей после их нанесения на вертикальные поверхности. В период сохранения пластических свойств раствора действие силы тяжести оказывает негативное влияние на слои раствора, заставляя их смещаться относительно друг друга. В результате этого воздействия происходит нарушение сплошности штукатурного покрытия [12,144,145]. Исходя из вышеизложенного, проблема повышения устойчивости к сползанию отделочного слоя является актуальной.

В настоящее время методы определения устойчивости к сползанию растворов изложены в стандарте DIN EN 1308. Согласно указанному стандарту, на бетонную плиту наносится слой раствора, к которому спустя 2 минуты прикладываются плитки размером 10×10 см с грузом весом 5 кг. Через 30 сек после нагружения груз снимается с поверхности раствора, и бетонная плита устанавливается в вертикальное положение на 20 минут. По истечении указанного промежутка времени бетонная плита вновь возвращается в горизонтальное положение и измеряется расстояние между жестко закрепленной линейкой и плитками. При этом сползание плиток должно быть не более 0,5 мм.

В российском стандарте ГОСТ 10277 приведена методика определения стекания раствора с вертикальной поверхности визуальным методом. Метод заключается в следующем: пластинку с нанесенным на ее поверхность раствором фиксируют в вертикальном положении (по длине пластинки) и выдерживают в течение 30 минут. Исследуемый раствор не должен стекать.

В настоящей работе устойчивость отделочного слоя к сползанию оценивалась визуальным методом. Для этого исследуемый раствор наносился на бетонную поверхность площадью 10×20 см с толщиной слоя от 5 до 20 мм и выдерживался в вертикальном положении в течение 5 минут, по истечении которого оценивалась устойчивость к сползанию. Результаты исследований приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Устойчивость отделочного слоя к сползанию

Состав	Предельное напряжение сдвига, τ_0 , кПа	Толщина слоя, мм					
		5	10	12	15	17	20
И:Н=1:3,В/И=1,26 (контрольный)	1,8	-	-	-	+	+	+
И:Н=1:4,В/И=1,26; добавка полисиликатного раствора в количестве 1% от массы вяжущего	9,1	-	-	-	-	-	-
И:Н=1:3,В/И=1,26;	27	-	-	-	-	-	-

добавка полисиликатного раствора в количестве 5% от массы вяжущего							
И:Н=1:3,В/И=1,26; добавка полисиликатного раствора в количестве 1% от массы вяжущего, добавка белого цемента в количества 10% от массы извести	20	-	-	-	-	-	-
И:Н=1:3,В/И=1,26; добавка золя кремниевой кислоты Nanosil 20 в количестве 1% от массы вяжущего	2,51	-	-	-	-	-	-
И:Н=1:3,В/И=1,26; добавка жидкого стекла в количестве 1% от массы вяжущего,	2,49	-	-	-	-	-	+

Установлено, что низкой устойчивостью к сползанию характеризуется контрольный состав. Отделочный слой на основе такого состава обладает устойчивостью к сползанию лишь при толщине до 12 мм. Известковый состав с добавкой полисиликатного раствора обладает устойчивостью к сползанию при толщине отделочного слоя до 20 мм.

Выводы по главе 4

1. Разработано научно обоснованное технологическое решение повышения эксплуатационных свойств известковых составов и покрытий на их основе за счет применения в рецептуре полисиликатного раствора, кремнийкислородные анионы (ККА) которого в мономерной форме взаимодействуют с известью с образованием дополнительно гидросиликатов кальция-натрия, гидратных фаз, близких по химическому составу к С-S-H (I). Установлено повышение прочности при сжатии известкового композита с увеличением содержания в полисиликатном растворе кремнийкислородных анионов в мономерной форме.

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

3. Определен механизм структурообразования известковых композитов с добавкой полисиликатного раствора, заключающийся в образовании мелкокристаллической структуры известкового камня путем формирования продуктов взаимодействия полисиликатного раствора с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализа определено, что продуктами твердения являются кальцит, портландит, гидросиликаты кальция-натрия, гидратные фазы, близкие по химическому составу к С-S-H (I).

4. Установлено, что количество удельной теплоты, выделившейся при смачивании извести полисиликатным раствором, составило 17,3 кДж/кг, а при смачивании извести водой – 10,6 кДж/кг, что обусловлено дополнительно выделившейся теплотой вследствие химического взаимодействия извести с полисиликатным раствором. Работа адгезии воды к извести составляет 116,61 мН/м, а полисиликатного раствора – 106,78 мН/м. Введение добавки Хидетал П-4 способствует повышению работы адгезии, составляющей 108,36 мН/м.

5. Установлены закономерности твердения известковых растворов с добавкой полисиликатного раствора и определена оптимальная концентрация добавки, которая составляет 1% от массы извести. Добавление к известковому составу полисиликатного раствора способствует увеличению значения предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения в 1,87 раз.

6. Определено, что введение в состав известкового композита добавки полисиликатного раствора способствует повышению устойчивости к сползанию отделочного слоя. Идентифицировано значение оптимальной толщины отделочного слоя на уровне 20 мм, при котором не происходит сползания с вертикальной поверхности.

7. Установлена корреляционная связь прочности известкового композита с составом полисиликатного раствора. Выявлено, что прочность зависит от содержания кремнийкислородных анионов в мономерной форме. Установлено оптимальное время созревания полисиликатного раствора, составляющее 1–4 час с момента приготовления, способствующее максимальному содержанию в составе полисиликатного растворов кремнийкислородных анионов в мономерной форме.

5 Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе известковой смеси

5.1 Оценка морозостойкости отделочного состава

Эксплуатационная стойкость известковых покрытий была оценена на морозостойкость путем проведения испытаний, включающих попеременное оттаивание и замораживание отделочного слоя. Штукатурное покрытие было нанесено на цементно-песчаное основание, воздушно-сухое твердение проходило в течение 28 суток. Анализ результата воздействия с точки зрения влияния на внешний вид покрытия был основан на ГОСТ 6992–68 «Покрытия лакокрасочные. Метод испытаний на стойкость в атмосферных условиях». В качестве «отказа» было принято состояние покрытия, соответствующее III.3 баллам.

Экспериментальным путем установлено, что покрытие на основе предложенного состава выдержало 40 циклов испытаний, спустя которые покрытие было оценено III.3 баллами. Данная оценка характеризуется состоянием покрытия, при котором наблюдается потеря блеска до 50% и значительное изменение цвета, появляется белесоватость и бронзировка, а также грязеудержание. В покрытии проявляется отслаивание верхнего слоя до 5% поверхности, трещины или поверхностные сетки, видимые невооруженным глазом, которые охватывают до 50% слоя. Марка по морозостойкости составила F 35 (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – 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

Дополнительно проводили оценку прочности сцепления покрытия с подложкой методом отрыва штампа. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Прочность сцепления контактной зоны с подложкой после циклов замораживания и оттаивания

Количество циклов	Оценка прочности сцепления покрытия с подложкой методом отрыва штампа
0	1,20/100,00
5	0,92/96,80
10	0,89/93,68
15	0,87/91,57
20	0,84/88,42
25	0,83/87,36
30	0,82/86,31
35	0,81/85,26
40	0,80/84,21

* Над чертой указана прочность сцепления отделочного состава (МПа), под чертой - прочность сцепления отделочного состава (%).

Анализ результатов, изложенных в таблицах 5.1 и 5.2, свидетельствует, что марка по морозостойкости контактной зоны покрытия равна $F_{кз}$ 35.

5.2 Обеспеченность стойкости к отслаиванию отделочного слоя

С целью оценки прочности сцепления отделочных покрытий использовали метод отрыва штампа и метод определения прочности сцепления на сдвиг, изложенный в разделе 2. В ходе экспериментальных исследований были выявлены как адгезионный и когезионный, так и смешанные механизмы разрушения.

В таблице 5.3 указаны значения прочности сцепления отделочных покрытий, наличие или отсутствие трещин в зависимости от состава. Установлено, что введение в рецептуру известковых композитов добавки полисиликатного раствора приводит к повышению адгезионных характеристик. А именно, прочность сцепления состава И:Н=1:3, В/И=1,26 составляет 0,32 МПа, а при введении в состав полисиликатного раствора в количестве 1%–0,85 МПа, добавки золя кремниевой кислоты – 0,62 МПа, добавки жидкого стекла – 0,5 МПа.

Таблица 5.3 – Адгезионные свойства известковых отделочных покрытий

Состав	Прочность сцепления, МПа*	Наличие трещин в покрытии
1	2	3
И:Н=1:3, В/И = 1,26,	0,32	Имеется сетка мелких трещин
И:Н=1:3, В/И = 1,26, полисиликатный раствор 1% от массы извести	0,85	нет
И:Н=1:3, В/И = 1,26, полисиликатный раствор 1% от массы извести, добавка белого цемента в количестве 10% от массы извести, добавка Хидетал-П-4	1,2	нет
И:Н=1:3, В/И = 1,26, полисиликатный раствор 1% от массы извести, добавка Хидетал-П-4	0,95	нет
И:Н=1:3, В/И = 1,26, золь кремниевой кислоты 1% от массы извести	0,62	нет
И:Н=1:3, В/И = 1,26, жидкое стекло 1% от массы извести	0,50	нет

Примечание.* Прочность сцепления определялась методом отрыва шайб.

В работе проанализирована обеспеченность стойкости к отслаиванию отделочного слоя. Как известно, отслаивание отделочного слоя возникает, когда внутренние касательные напряжения достигают значения прочности сцепления на сдвиг, а именно:

$$\tau = R_{\text{сд}}, \quad (5.1)$$

где: τ – внутренние касательные напряжения;

$R_{\text{сд}}$ – прочность сцепления.

Есть четыре ключевых способа увеличения обеспечения стойкости к отслаиванию покрытия:

1. Повысить прочность сцепления.
2. Снизить напряжение.
3. Уменьшить вариацию напряжения
4. Уменьшить вариацию прочности сцепления.

Процесс отверждения отделочного покрытия сопровождается повышением внутренних напряжений [16]. Коэффициент запаса прочности n является соотношением значений прочности (Y) и напряжения (X). Ввиду того, что Y и X представляют собой случайные величины, одним из определений коэффициента безопасности является выражение

$$n = \frac{R}{\tau} \quad (5.2)$$

Представленная выше зависимость (5.2) была использована для анализа обеспеченности стойкости отделочного покрытия к отслаиванию. Прочность сцепления на сдвиг определялась по методике, описанной в разделе 2, в результате испытаний 9 образцов. Касательные напряжения определяли расчетно-экспериментальным методом в соответствии с формулами Г.И. Горчакова [17]. Результаты расчетов приведены в таблице 5.4.

Анализ данных, приведенных в таблице 5.4, указывает на то, что прочность сцепления при данных значениях вариабельности прочности сцепления и касательных напряжений обеспечивает стойкость к отслаиванию отделочного слоя в процессе отверждения. Коэффициент запаса прочности сцепления составляет

4,49–6,25 в зависимости от вида применяемой подложки. Об этом свидетельствуют и результаты испытаний на морозостойкость, приведенные в таблице 5.2. После 35 циклов испытания на морозостойкость снижение прочности сцепления составляет всего лишь 14,74%.

Таблица 5.4 – Коэффициент запаса прочности сцепления отделочного слоя

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

5.3 Гидрофизические свойства покрытий на основе отделочных составов

Штукатурным составам, в основу которых легли предложенные рецептуры, свойственна капиллярно-пористая структура, характеристики которой

легли в основу взаимодействия материала с влагой в условиях его нахождения в воздушно-влажной среде или непосредственном контакте с водой [149].

Результатом подобного взаимодействия является изменение физико-механических свойств отделочного покрытия. Исходя из вышесказанного, требуется исследование особенностей взаимодействия влаги и разрабатываемых отделочных покрытий в ходе их эксплуатации. С целью анализа гигроскопичных свойств отделочного слоя в его состав были введены предложенные компоненты и исследованы с точки зрения особенностей водопоглощения и паропроницаемости. Результаты расчета приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Паропроницаемость отделочных покрытий

Наименование состава	Толщина отделочного слоя δ , м	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Сопротивление паропроницанию R_{Π} , м ² ·ч Па/мг
Соотношение известь: наполнитель = 1:3, В/И = 1,26	0,005	0,065	0,076
То же, полисиликатный раствор 1% от массы извести	0,005	0,062	0,080
То же, полисиликатный раствор 1% от массы извести, добавка Хидетал- П-4, добавка цемента 10% от массы извести	0,005	0,061	0,0819

Экспериментальным путем установлено повышение сопротивлению паропроницаемости отделочного покрытия, в состав которого введен полисиликатный раствор, в сравнении с составом, где полисиликатный раствор отсутствует. Это выражается изменением значения сопротивления паропроницанию отделочного состава с 0,0819 до 0,076 м²·ч Па/мг. Повышение сопротивления паропроницанию обусловлено более плотной структурой отделочного слоя в связи с химическим взаимодействием полисиликатного раствора с известью и образованием дополнительно гидросиликатов кальция-натрия, гидратных фаз, близких по химическому составу к С-S-H (I). Наличие в рецептуре известкового отделочного состава белого цемента способствует по данным [40,43] уменьшению контракции в первые сутки твердения цемента в присутствии добавки полисиликата и образованию значительно более плотной структуры, что также способствует снижению коэффициента паропроницаемости.

В ходе анализа кинетики водопоглощения выявлено, что интенсивное

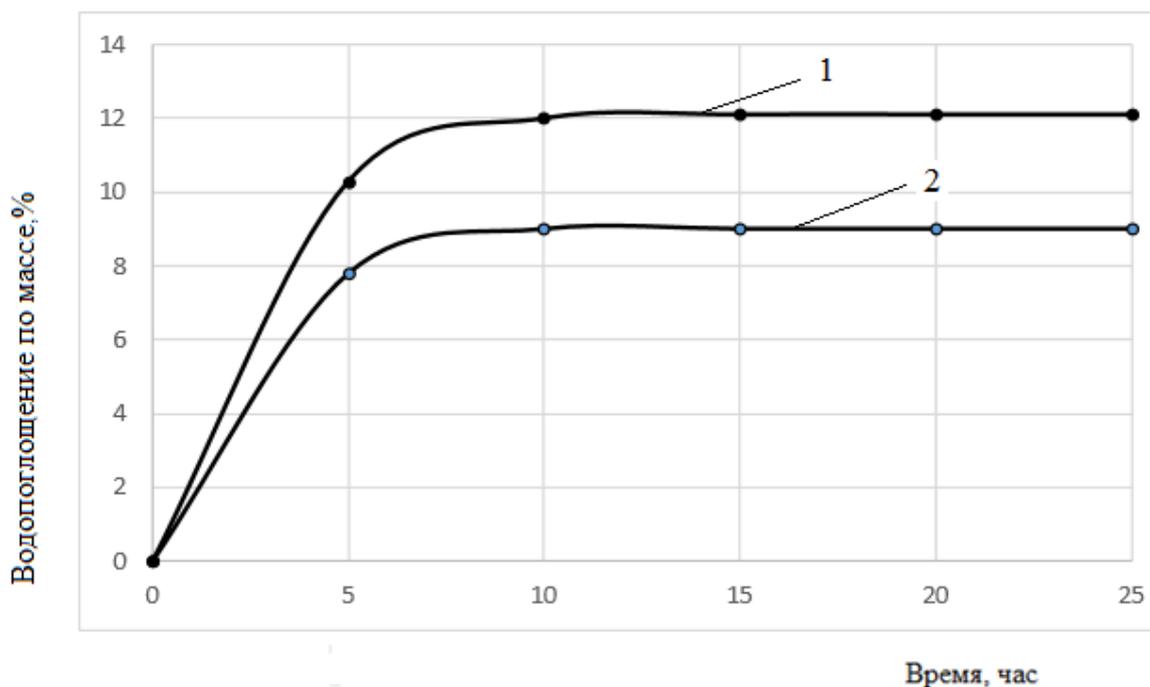


Рисунок 5.1 – Кинетика водопоглощения известковых образцов:

1 – контрольный состав; 2 – состав с добавкой полисиликатного раствора

увеличение значения водопоглощения по массе W_m протекало в первые четыре часа наблюдения (рисунок 5.1).

Значение водопоглощения W_m образцов покрытия на основе контрольного состава (рисунок 5.1, кривая 1) спустя 4 часа водонасыщения было на уровне $W_m = 10,7\%$, а при добавлении в его рецептуру полисиликатного раствора снизилось до $W_m = 7,6\%$ (рисунок 5.1, кривая 2). Спустя 5 часов значения водопоглощения стабилизируются. После 24 часов водонасыщения водопоглощение контрольных образцов составило $W_m = 12,4\%$, а образцов с введением добавки полисиликатного раствора – $W_m = 9,2\%$ (рисунок 5.1).

Исследовали водостойкость известковых образцов, результаты приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Водостойкость известковых образцов

Состав	Коэффициент размягчения
Контрольный (известь)	0,35
Известь+полисиликатный раствор 1%	0,54
Известь+ полисиликатный раствор 1%+ добавка Хидетал П-4	0,62
Известь+ полисиликатный раствор 1%+ добавка Хидетал П-4+ белый цемент	0,81

Результаты исследований свидетельствуют о водостойкости покрытий, коэффициент размягчения составил 0,81.

5.4 Влияние пигментов на свойства покрытий на основе известкового отделочного состава

В целях улучшения декоративных свойств и увеличения цветовой палитры рецептуру смеси дополняли минеральными и органическими пигментами. Было исследовано влияние пигментов на изменение прочности при сжатии отделочных составов (таблица 5.7).

Анализ результатов экспериментов показывает, что с повышением содержания пигмента в составе, происходит понижение показателя предела прочности при сжатии $R_{сж}$. А именно, прочность при сжатии контрольного состава равна $R_{сж} = 3,5$ МПа. Введение в состав голубого фталоцианинового пигмента β -модификации марки Б в количестве 1% от массы извести понизило значение прочности $R_{сж}$ до уровня до 3,46 МПа, а в количестве 2% – до 3,38 МПа. Наиболее значительное влияние на прочностные характеристики демонстрировал состав, в рецептуру которого был введен красный пигмент «Ж». Так, при содержании красного пигмента в количестве 1% прочность при сжатии образцов равна 3,39 МПа, а при повышении содержания пигмента до 3% прочность при сжатии снизилась до $R_{сж} = 3,12$ МПа.

Таблица 5.7 – Влияние пигмента на изменение прочностных показателей отделочного материала

Вид пигмента	Содержание пигмента, %	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа
-	-	3,5
Голубой фталоцианиновый β -модификации марки Б	0,5	3,49
	1	3,46
	2	3,38
Зеленый марки Б	1	3,44
	2	3,33
	3	3,30
Красный «Ж»	1	3,39
	2	3,27
	3	3,12
Охра	1	3,15
	2	2,97

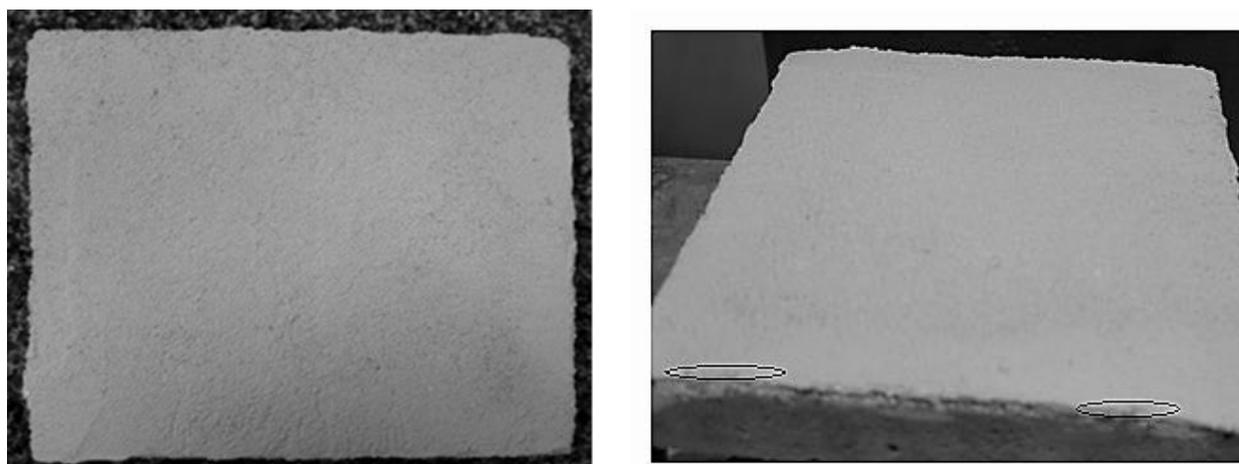
Анализ данных таблицы 5.7 показывает, что введение пигмента способствует снижению прочности при сжатии, наиболее значительное при введении охры в количестве 2%. Снижение прочности при сжатии составляет 15%. Однако составы с применением пигмента выдержали испытание на морозостойкость.

В таблице 5.8 приведена оценка устойчивости декоративного вида покрытия и оценка защитных свойств в процесс замораживания-оттаивания. В качестве пигмента применялась охра в количестве 1% от массы извести.

Таблица 5.8 – Качество внешнего вида покрытия

Кол-во циклов	Баллы
до испытания	V. 8
5	V. 8
10	V. 8
15	V. 7
20	IV. 6
25	IV. 5
30	IV. 4
35	III. 3

«Отказ» покрытия наступил после 35 циклов испытаний. Изменение цветового оттенка хорошо заметно (рисунок 5.2). При трении тканью об окрашенную поверхность хорошо видны частицы пигмента. Имеется разрушение внешнего слоя, видимое невооруженным глазом.



а

б

Рисунок 5.2 – Фотографии образцов при испытании на морозостойкость: а – до испытания; б – после 35 циклов испытаний

Марка по морозостойкости покрытия на основе известкового состава с пигментом также составляет $F_{кз} 35$.

В таблице 5.9 изложены основные эксплуатационные и технологические свойства предложенного состава для отделки и покрытий на его основе в сравнении с прототипами.

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

Таблица 5.9 – Технологические и эксплуатационные свойства разработанного состава и покрытий на его основе в сравнении с прототипами.

	Разработанная рецептура	Реноарт	Бирсс	Holvi	Rockgidro
Прочность при сжатии, МПа	3,5	2,0	2,5	-	4
Прочность сцепления, МПа	1,2	0,6	0,6	0,8-1,0	0,3

Когезионная прочность, МПа	2,385	-	-	1,50- 1,70	-
Морозостойкость, марка	F35	F25	F25	F25	F35
Удобнонаносимость	хор	хор	хор	хор	хор
Наличие трещин вследствие усадки	нет	нет	нет	нет	нет
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м-ч-Па)	0,061	0,100	0,047	0,051	0,063
Водоудерживающая способность, %	98	96	96	98	97
Жизнеспособность, час	5-7	1	5	6-8	4
Стойкость к статическому воздействию воды при $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, час	Более 72	24	24	24	24
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	5-10	5...20	до 20	1-5	10-40
Расход отделочного состава при толщине слоя-10 мм, кг/м ²	0,5	1,6	1,2-1,7	0,5-1	1,6
Температура применения, $^\circ\text{C}$	от +5 до +30	от +5 до +30	от +5 до +35	от +5 до +30	+5 до +25

5.5 Технико-экономические показатели и технологическая схема производства разработанного отделочного состава

Технологическая линия производства разработанного отделочного состава включает следующие блоки:

- блок хранения сырья;
- смесительный блок;

- блок упаковки и выдачи готовой продукции.

Схема технологической линии производства разработанных отделочных составов показана на рисунке 5.3.

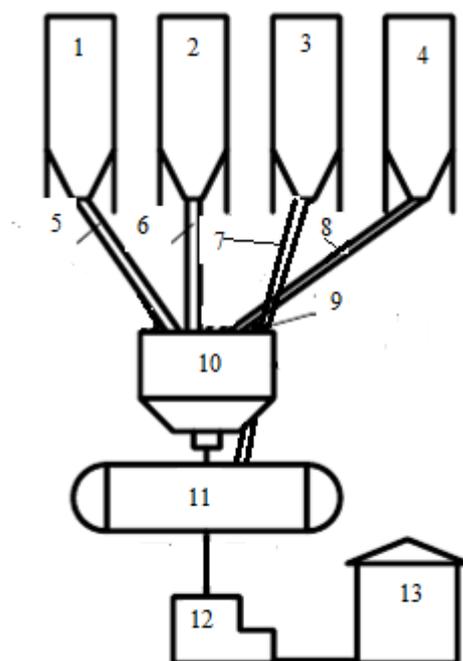


Рисунок 5.3 – Технологическая схема производства разработанного отделочного состава: 1 – силос гашеной извести; 2 – силос микрокальцита; 3 – дозатор воды; 4 – дозатор цемента; 5, 6, 8 – винтовой конвейер; 7 – трубопровод; 9 – приемник добавок; 10 – дозатор групповой; 11 – смеситель; 12 – упаковка готовой продукции в тару; 13 – склад готовой продукции все правильно

Технологический процесс производства состава для реставрации может быть описан в соответствие с приведенной ниже последовательностью. Нумерация производственного оборудования соответствует рисунку 5.3.

Известь из силоса (1) подается винтовым конвейером (5) в многокомпонентный дозатор (10). Микрокальцит из силоса (2) подается посредством винтового конвейера (6) в многокомпонентный дозатор (10). Цемент из силоса (4) подается винтовым конвейером (9) в многокомпонентный дозатор (10). Подача

прекращается после достижения заданного веса. После отвешивания материалы поступают в смеситель 11, где осуществляют перемешивание исходных компонентов до получения однородной массы. Подготовка полисиликатного раствора осуществляется в цехе перемешиванием жидкого стекла и золя кремниевой кислоты. Время хранения полисиликатного раствора не более 1-4 час. Полисиликатный раствор, пластифицирующая добавка подаются вручную в дозатор (3). На следующем этапе вода с полисиликатным раствором и пластифицирующей добавкой добавляются в смеситель (11), где происходит процесс смешивания компонентов отделочного состава до получения однородной массы. По завершении смешивания компонентов отделочного состава производится упаковка готового отделочного состава в тару (закрытые ведра). Заполненная тара по ленточному конвейеру поступает на склад (13), где хранится на поддонах. Хранение и транспортировка полученного состава осуществляется в условиях положительных температур и относительной влажности воздуха не более 70%.

Была проведена оценка капитальных и операционных издержек, которые характерны производству разработанного отделочного состава. Произведённый расчет капитальных затрат, связанных с приобретением оборудования (производственной линии), показал, что издержки на данном этапе составят более 2,5 млн. руб. Операционные издержки для производства 1 тонны разработанного состава, куда включены затраты на сырье, электроэнергию, аренду помещения, фонд оплаты труда составили чуть менее 12 млн.руб. При этом более 80% операционных издержек связаны с приобретением компонентов сырья, а именно микрокальцита. Учитывая доступность данного компонента на рынке и его локальное производство данное соотношение издержек не является высокорисковым. Фонд оплаты труда рассчитывался исходя из производственных потребностей в квалифицированном персонале на основе актуальной на момент расчета ситуации с уровнем заработных плат в регионе по профессии в рамках требований трудового законодательства. Была получена рыночная стоимость, сформированная с учетом наценки на уровне 30% от себестоимости, она составила 15,6

руб/кг. В сравнении с аналогичными по целевому назначению составами, представленными на рынке на момент анализа, рыночная стоимость разработанного состава оказалась ниже в более чем 1,5 раза относительно состава, ближайшего по уровню рыночной стоимости. Кроме того, принимая во внимание заявленный срок службы разработанного состава на уровне 5 лет, общая стоимость владения и обслуживания объекта реставрации также окажется ниже при использовании разработанного состава в сравнении с аналогами, представленными на рынке. Таким образом, оценка экономической эффективности была проведена посредством сравнения рыночной стоимости разработанной рецептуры и аналогов известных производителей по состоянию на первый квартал 2021 года.

Результаты исследований, рекомендуемый состав прошли апробацию в промышленных условиях на предприятии ООО НПК «Коломенские краски» при реставрации здания исторической застройки в г. Коломне Московской области по ул.3-го Интернационала, д.4 (рисунок 5.4). Перед началом работы был проведен осмотр состояния штукатурки. Для этого был применен метод простукивания с выявлением зон отслаивания и разуплотнения («бухчения»). Были установлены следующие признаки износа: общее грязе-пылевое загрязнение; шелушение, утраты окраски; волосяные трещины, глубокие трещины, сколы местами, бухтение. Степень износа составляла около 70%. Было принято решение: удалить ослабленные слои штукатурки с последующим восстановлением штукатурной облицовки стен.

Деструктированная, и «бухтящая» штукатурка была удалена с помощью фрезерной машины с пылеулавливателем, а также с помощью ручных инструментов (скарпель, молоток).

Удаление деструктированных, слабо держащихся лакокрасочных слоев проводилось с помощью химических смывок. Для этого смывка «Димет®» (компании «Менделеев») наносилась на поверхность кистью и равномерно распределялась по очищаемой поверхности.

Время, необходимое для растворения верхних слоев краски, подбиралось опытным путем на пробном участке. Степень растворения красочного слоя и возможность его снятия с помощью шпателей проверялась через каждые 5 минут. Смывка вместе с разбухшей краской, потерявшей связь с основой, удалялась шпателями.

Для укрепления реставрируемой штукатурки применяли полисиликатный раствор. Препарат наносился на сухую впитывающую поверхность валиком.

После проведения всех подготовительных работ по расчистке штукатурки готовилось гнездо для вставки нового штукатурного слоя. Воссоздание штукатурки проводилось фрагментарно. Реставрационная штукатурка наносилась только на поверхность кладки.

Проводилась обработка кромок старой штукатурки полисиликатным раствором 5%-ной концентрации кистью. Спустя 8 часов после грунтования проводилась укладка слоя реставрационной штукатурки состава известь : песок кварцевый 1:3. Применялся песок фракции 0,14-1,25 мм. Рецепт реставрационной штукатурки содержала до 10% от массы извести белого цемента. Технология нанесения реставрационного раствора включала в себя следующие операции: набрызг, наброска раствора, нанесение накрывочного слоя и затирка.

Набрызг проводился на поверхность, предварительно смоченную водой, кельмой. Второй слой раствора наносился после затвердения слоя набрызга. Подвижность растворной смеси составляла 10 см. Толщина второго слоя штукатурки составляла 1 см. После начала схватывания раствора проводилось выравнивание поверхности металлической рейкой.

Отделочный декоративный слой на основе разработанного состава подвижностью 8 см наносился толщиной 5 мм ручным способом после высыхания второго слоя штукатурки.

В процессе работ осуществлялся технический и авторский надзор в соответствии со Сводом правил СП 71.13330.2017 «Изоляционные и отделочные по-

крытия». При проведении ремонтно-реставрационных работ контролировали качество штукатурного раствора (подвижность); толщину нанесенного слоя разработанного состава; вертикальность, горизонтальность оштукатуренных поверхностей; качество поверхности штукатурки.

При приемке выполненных работ был проведен контроль прочности сцепления декоративной штукатурки с основанием методом простукивания; качество оштукатуренной поверхности; наличие усадочных трещин – визуально.

Контроль качества штукатурной поверхности проводился с помощью линейки-правила размером 2,5 метра, для чего линейку прикладывали к оштукатуренной поверхности. Определяли величину зазора до поверхности. Для проверки вертикальности стен применяли уровень.

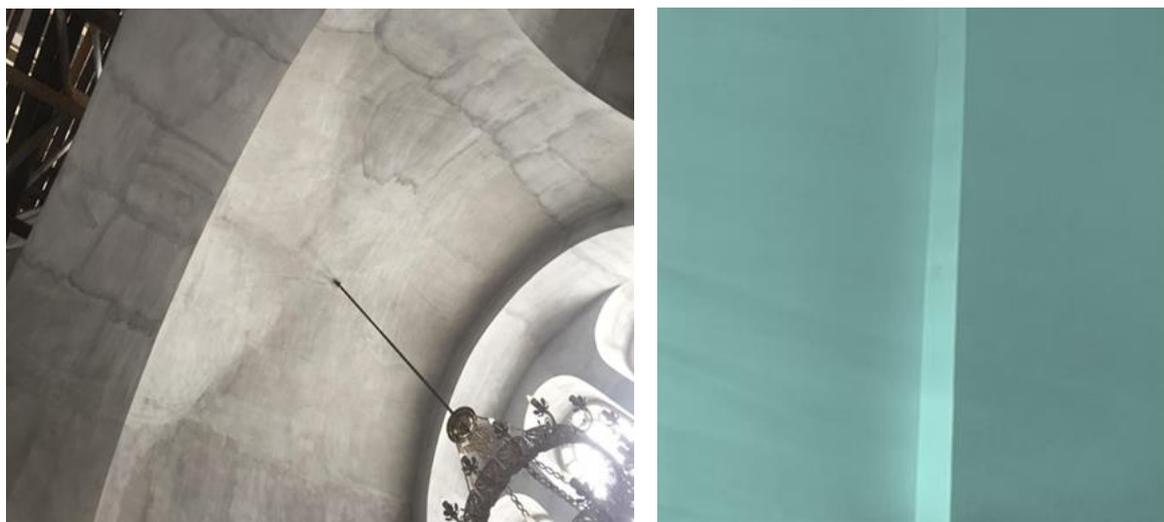
Акт опытно-производственного апробирования разработанного состава приведен в Приложении А.



а



б



в

г

Рисунок 5.4 – Общий вид объектов реставрации: а – в процессе реставрации; б – после 1 года эксплуатации; в – вид стены до реставрации; г – вид стены после реставрации

Выводы по главе 5

1. Разработан состав известковой строительной смеси с применением добавки полисиликатного раствора, предназначенной для наружных отделочных работ, а также реставрации и содержащей известь-пушонку, микрокальцит, добавку полисиликатного раствора, белый цемент, пластификатор. Отделочный слой на основе разработанного состава характеризуется следующими показателями: прочность сцепления 1,2 МПа, прочность при сжатии 3,5 МПа, коэффициент паропроницаемости 0,061 мг/(м·ч·Па), водопоглощение по массе $W = 9,2\%$, усадочные деформации $\varepsilon = 0,0342\%$, морозостойкость F35.

2. Оценена стойкость к отслаиванию отделочных слоев на основе разработанного состава с добавкой полисиликатного раствора. Определено, что показатели прочности сцепления при данных значениях вариабельности прочности сцепления и касательных напряжений обеспечивают стойкость к отслаиванию отделочного слоя. Коэффициент запаса прочности сцепления составляет 4,49–6,25 в зависимости от вида применяемой подложки.

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

Заключение

Итоги выполненного исследования

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

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

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

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

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

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

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

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

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований могут быть рекомендованы для внедрения в учебный

процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

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

Список литературы

1. Адлер Ю.П. Оперативное статистическое управление качеством./ Ю.П.Адлер, Розовский. – М.: Знание, 1984. – 102 с.
2. Айлер, Р. Химия кремнезема/ Р. Айлер. – Москва: Мир, 1982. – 416 с.
3. Атанов, А.Н. Стандартные образцы как основа метрологического обеспечения контроля безопасности и качества продукции / А.Н. Атанов // Контроль качества продукции. – 2014. – №12. – С. 27–31.
4. Ахрамович, И.Л. Контроль продукции в процессе ее разработки и производства / И.Л. Ахрамович, С.Ф. Жулинский, В.П. Киселевич // Контроль качества продукции. – 2013. – №7. – С. 39–42.
5. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей/ Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 60–62.
6. Берлин, А.А., Основы адгезии полимеров / А.А. Берлин, В.Е. Басин. – Москва: Химия, 1969. – 320 с.
7. Бессонов, Ю.С. Обеспечение метрологических требований в методиках качественного анализа/ Ю.С. Бессонов, А.С. Степанов // Контроль качества продукции. – 2012. – №1. – С. 4–9.
8. Большаков, Э. Л. Сухие смеси для отделочных работ/ Э. Л. Большаков // Строительные материалы. – 1997. – №7. – С. 8–9.
9. Большаков, Э.Л. Систематизация сухих строительных смесей (к проекту государственного стандарта «Смеси сухие строительные. Классификация») / Э.Л.Большаков, Т.Н.Тюрина // Современные технологии сухих строительных смесей в строительстве «MixBuild»: сборник научных статей. Санкт-Петербург. – 2001. – С. 7–13.
10. Брагинская, Т.А. Контроль и испытания как формы оценки качества продукции/ Т.А. Брагинская, В.А. Орехов // Вестник Волжской Государственной академии водного транспорта. – 2015. – №43. – С. 69–75.

11. Брюханов, В.А. Законодательная метрология на страже достоверности результатов измерений/ В.А. Брюханов // Контроль качества продукции. – 2010. – №1. – С. 12.
12. Василик, П.Г. Трещины в штукатурках/ П.Г Василик, И.В. Голубев // Строительные материалы. – 2003. – №4. – С. 14–16.
13. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 1998. – 482 с.
14. Голубев, В.И. Новые продукты на рынке добавок для сухих строительных смесей и бетонов/ В.И. Голубев, П.Г. Василик //Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 24–25.
15. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ/ Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 8–10.
16. Горчаков Г.И. Орендлихер Л.П., Лифанов И.И. Повышение трещиностойкости и водостойкости легких бетонов / Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер, И.И. Лифанов. – Москва: Стройиздат, 1971. – 587 с.
17. ГОСТ 13078–2021 Стекло натриевое жидкое. Технические условия. – Москва: Изд-во стандартов, 2021. – 16 с.
18. ГОСТ 14759–69 Клеи. Метод определения прочности при сдвиге. – Москва: Изд-во стандартов, 1970. –14 с.
19. ГОСТ 18299–72 Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. – Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
20. ГОСТ 19007–73* Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
21. ГОСТ 23732–2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия (EN 206–1:2000; EN 1008:2002). – Москва: Стандартинформ, 2012. –16 с.

22. ГОСТ 31189–2015. Смеси сухие строительные. Классификация. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 6 с.
23. ГОСТ 50779.21–2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
24. ГОСТ Р 58767–2019 Растворы строительные. Методы испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 14 с.
25. Гринюк, О.Н. Методы оценки контроля качества продукции и технологического процесса / О.Н Гринюк, О.В. Алексашина // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, Экология, Экономика. – 2016. – №1. – С. 124–130.
26. Гродзенский, С.Я. Количественная оценка параметров качества продукции с использованием современных инструментов контроля / С.Я. Гродзенский, Я.С. Гродзенский, Ю.С. Полякова // Метрология. – 2012. – №4. – С. 36–41.
27. Данилевич, С.Б. Многопараметрический контроль качества / С.Б. Данилевич, К.С. Данилевич // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 12. – С. 22–25.
28. Данилевич, С.Б. О легитимизации показателей достоверности результатов контроля и испытаний продукции / С.Б. Данилевич // Компетентность. – 2012. – №6(97). – С. 49–51.
29. Данилевич, С.Б. О показателях качества допускового контроля / С.Б. Данилевич // Методы оценки соответствия. – 2013. – № 12. – С. 20–21.
30. Данилевич, С.Б. Разработка и метрологический анализ методик выполнения измерений и методик выполнения контроля / С.Б. Данилевич // Измерительная техника. – 2001. – № 4. – С. 5–18.
31. Данилевич, С.Б. Разработка эффективных методик контроля и испытаний продукции / С.Б. Данилевич. – Новосибирск: Новосибирский филиал АСМС. Изд-во НГТУ, 2011. – 120 с.

32. Данилевич, С.Б. Оценка достоверности результатов измерительного многопараметрического контроля / С.Б. Данилевич, Т.М. Соловьева // Главный метролог. – 2009. – № 5. – С. 43–46.
33. Зайцева, М.В. Управление качеством создания отделочных покрытий цементных бетонов / М.В. Зайцева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – №3(48). – С. 78-81.
34. Запевалова, М.В. Обзор рынка сухих строительных смесей [Электронный ресурс] / М.В Запевалова // Строительные материалы и услуги: электрон. научн. журн.– 2022. – №6. Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/articles/strm5.htm>. (дата обращения 2022.06)
35. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов / В. И. Калашников, В. Т. Ерофеев, М.Н. Мороз, И. Ю. Троянов, В. М. Володин, О. В. Суздальцев // Строительные материалы. – 2014. – № 5. – С. 88–91.
36. Каприелов, С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов / С.С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 1995. – №4. – С. 16–20.
37. Козлов, В. В. Сухие строительные смеси / Козлов, В. В. – Москва: Изд-во АСВ, 2000. – 96 с.
38. Комохов, П.Г. Золь-гель как концепция нанотехнологии цементного композита / П.Г. Комохов // Строительные материалы. – 2006. – №9. – С. 14–15.
39. Комохов, П.Г. Нанотехнология радиационностойкого бетона / П.Г. Комохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 5. – С. 22–23.
40. Копаница, Н. О. Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей / Н.О. Копаница, Ю.С. Саркисов, О.В. Демьяненко // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 5. – С. 140-146.
41. Королев, Е. В. Оценка концентрации первичных наноматериалов для модифицирования строительных композитов / Е.В. Королев // Нанотехнологии в строительстве. – 2014. – № 6. – С. 31–34.

42. Коротких, Д. Н. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов / Д.Н. Коротких, О.В. Артамонова, Е.М. Чернышов // Технологии бетонов. – 2009. – № 9–10. – С. 86–88.
43. Красиникова, Н.М. Влияние полисиликата на структурообразование цементного камня / Н.М. Красиникова, З.Ф. Иксанова // Известия КГАСУ. – 2019. – №4. – С. 347–352.
44. Кузнецов, Л.А. Оценка достоверности контроля рамочной технологии / Л.А. Кузнецов // Методы менеджмента качества. – 2007. – № 8. – С. 28–32.
45. Лесовик В. С., Чулкова И. Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Монография / В.С. Лесовик, И.Л. Чулкова. – Омск: СибАДИ, 2011. – 420 с.
46. Логанина, В.И. Известковые составы для реставрации и отделки стен зданий/ В.И Логанина, М.В. Зайцева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – №4 (49). – С. 36-41.
47. Логанина, В.И. Обеспечение стойкости к отслаиванию отделочного слоя с учетом вариабельности показателей качества / В.И. Логанина, М.В. Зайцева // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2021. – № 2(13). – С. 64-68.
48. Логанина, В.И. Применение статистических методов к оценке качества сухих строительных смесей / В.И Логанина, М.В. Зайцева // Сухие строительные смеси. – 2021. – №3. – С. 24-27 .
49. Логанина, В.И. Организация статистического приемочного контроля качества строительных изделий и конструкций / В.И. Логанина // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 98–99.
50. Логанина, В.И. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий / В.И Логанина, А.Н. Круглова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2014. – №2. – С. 16-18.

51. Логанина, В.И. Достоверность контроля с учетом стабильности технологического процесса производства/ В.И. Логанина, А.Н. Круглова, О.А. Давыдова // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – №5. – С. 22–24.
52. Логанина, В.И. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – №4. – С. 32–34.
53. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками / В.И. Логанина, Л. В. Макарова, Р. В. Тарасов, О. А. Давыдова // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – 2. – С. 53–57.
54. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, О.А. Давыдова // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 2. – С. 53–57.
55. Логанина, В.И. Оценка достоверности контроля строительных материалов и изделий с учетом стабильности технологического процесса производства/ В.И. Логанина, А.Н. Круглова, О.А. Давыдова // Известия вузов. Строительство. – 2013. – №7. – С.77–83.
56. Логанина, В.И. Оценка погрешности средств измерений в зависимости от риска производителя / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Строительные материалы, оборудование и технологии 21 века. – 2014. – №5. – С. 26–28.
57. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов// Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 3 (627). – С. 20–23.
58. Логанина, В.И. К вопросу о контроле качества бетона / В.И. Логанина, М.В. Зайцева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2021. – № 4. – С. 8–12.

59. Логанина, В.И. Обеспеченность качества сухих строительных смесей / В.И. Логанина, М.В. Зайцева // Alitinform: цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2020. – №4. – С. 63–67.
60. Логанина, В.И. Репрезентативность выборки при оценке качества строительных материалов / В.И. Логанина, М.В. Зайцева // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 1 (270). – С. 67–70.
61. Логанина, В.И. Структурообразование известковых композиций с добавкой полисиликатного раствора / В.И. Логанина, М.В. Зайцева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – №4(49). – С. 42–47.
62. Оценка качества сухих строительных смесей с учетом вариабельности сырья / В.И. Логанина, М.В. Зайцева, Е. И. Куимова, Д. К. Галкина // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 74–77.
63. Логанина, В.И. Разработка рецептуры золь-силикатной краски / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3. – С. 51-53.
64. Известковые отделочные составы с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, И.В. Жерновский, М. А. Садовникова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 55–57.
65. Логанина, В.И. Разработка рецептуры золь-силикатной краски / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3. – С. 51–53.
66. Логанина, В.И. Свойства жидкого стекла с добавкой золя кремниевой кислоты / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 8 (704). – С. 74–79.
67. Логанина, В.И. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 16–18.

68. Логанина, В.И. Оценка достоверности контроля производства сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Е.И. Куимова, М.В. Зайцева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – №1(44). – С. 54–63.
69. Логанина, В.И. Штукатурные смеси для реставрационных работ с применением окрашенных наполнителей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – № 1. – С. 38–40.
70. Логанина, В.И. Повышение водостойкости известковых составов / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2012. – №1. – С. 42–46.
71. 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(31). – С. 167–169.
72. Логанина, В.И. Применение статистических методов управления качеством строительных материалов: Монография / В.И. Логанина, Л.П. Орендлихер, А.А. Федосеев. – Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 104 с.
73. Логанина, В.И. Золь гель технология для синтеза кремнийсодержащей добавки известковых отделочных составов / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. – 2009. – №7. – С. 48–49.
74. Логанина, В.И. Оценка риска при производстве сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Т.В. Учаева, М.В. Зайцева // Технологии бетонов. – 2022. – № 1 (180). – С. 69–72.
75. Логанина, В.И. Статистическая оценка риска причинения вреда при несоответствии качества лакокрасочных покрытий / В.И. Логанина, Т.В. Учаева // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. Вып. 11. – С. 1449–1455.
76. Логанина, В.И. Оценка затрат на повышение качества при производстве сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Т.В. Учаева, М.В. Зайцева // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 69–73.

77. Логанина, В.И. Организация статистического приемочного контроля качества строительных изделий и конструкций / В.И. Логанина // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 98–99.
78. Известковые отделочные составы с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, И.В. Жерновский, М. А. Садовникова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 55–57.
79. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, В.С. Демьянова, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4 (33). – С. 17–23.
80. Маевский, С.М. Анализ достоверности контроля / С.М. Маевский // Методы и приборы контроля качества. – 2005. – №. 13. – С. 29–32.
81. Маевский, С.М. Относительная достоверность – объективная оценка качества контроля / С.М. Маевский // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – №2. – С. 24-27.
82. Митрейкин, Н.А. Надежность и испытания / Н.А. Митрейкин, А.И.Озерский. – Москва: Радио и связь. – 1981. – 271с.
83. Миттаг, Х.Й. Статистические методы обеспечения качества / Х.Й. Миттаг, Х. Ринне. – Москва: Машиностроение. – 1995. – 616 с.
84. Влияние термоактивированных глин и карбонатных пород на фазовый состав и свойства модифицированного цементного камня/ Т.А Низина, А.С. Балыков, В.В. Володин, В.М. Кяшкин, А.А. Ерофеева// Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 8 (728). – С. 45–55.
85. Получение и применение гидрозолей кремнезема. /Под ред. проф. Фролова Ю. Г. – Москва: Труды МХТИ им. Менделеева. – 1979. – 37 с.
86. 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.

87. РД 52.24.433–2005 Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. МВИ фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислотой. – Москва: ГУ ГХИ. – 2005. – 13 с.
88. Рубичев, Н.А. Достоверность допускового контроля качества / Н.А. Рубичев, В.Д. Фрумкин. – Москва: Изд-во стандартов. – 1990. – 172 с.
89. Селяев В.П., Куприяшкина Л.И. Влияние структуры цеолитсодержащих композитов на долговечность бетона/ В.П.Селяев, Л.И.Куприяшкина //Современные проблемы строительного материаловедения: сборник статей V академических чтений Рос. акад. Архитектуры и строит. наук. – Воронеж. – 1999. – С. 394–398
90. Серых, В.И. Многопараметрический контроль продукции: достоверность и затраты / В.И.Серых // Методы менеджмента качества. – 2010. – №5. – С. 48–52.
91. Соловьева, Т.М. Об оценке эффективности методик выборочного контроля качества продукции / Соловьева Т.М // Компетентность. – 2012. – №4(95). – С. 42–43.
92. Фролов, В.Я. Экспериментальное определение оценки достоверности контроля изделий / В.Я. Фролов, В.В. Стаднюк // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2011. – №53. – С. 118–121.
93. Хозин, В.Г. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов / В.Г. Хозин, Л.А. Абдрахманова, Р.К. Низамов // Строительные материалы. – 2015. – № 2. – С. 25–33.
94. Чулкова, И.Л. Известково-реставрационные композиты / И.Л. Чулкова // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 5. – С. 71–77.
95. Чулкова, И.Л. Структурообразование строительных композитов на основе принципа сродства структур / И.Л. Чулкова // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 6. – С. 83–88.
96. Чулкова, И.Л. Твердение и свойства водных суспензий цементных минералов под влиянием суперпластификаторов / И.Л.Чулкова, В.С.Лесовик,

Г.И. Бердов // Всероссийская конференция «Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов» НГАСУ (СИБСТРИН), посвященная 100-летию юбилею профессора Г. И. Книгиной и 80-летию юбилею профессора В.М. Хрулева: сборник научных статей. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). – 2009. – С. 46–49.

97. Чулкова, И.Л. Возможность использования сухих смесей для реставрации и реконструкции объектов старины из известняка на основе закона сродства структур / И.Л. Чулкова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2013. – №6(34). – С. 66–69.

98. Шаевич, А.Б. Измерение и нормирование химического состава веществ. – Москва: Стандарты. – 1971. – 280 с.

99. Шаевич, А. Б. Стандартные образцы для аналитических целей/ А.Б. Шаевич. – Москва: Химия. – 1987. – 184 с.

100. Шиндловский, Э. Статистические методы управления качеством / Э. Шиндловский, О. Щюрц. – Москва: Мир. – 1976. – 598 с.

101. Adams, F. W. Effect of particle size on the hydration of lime / F. W. Adams // *Industrial and engineering chemistry*. – 1997. – № 5. – P. 589-591.

102. Allen, W. Lime as a building material / W.Allen, I.I.Allen, L.A.McDonald // *The structural engineer*. – 2003. – № 17. – P.317.

103. An-Peng, T. A theory for polymerization of silica acid / T. A An-Peng // *Scientia Sinica*. – 1963. – Vol.9. – P. 1311–1320.

104. Ashurst, J. The technology and use of hydraulic lime / J. Ashurst // *Lime news*. – 1997. – №5. – P. 51–58.

105. Bakolas, A. Evaluation of pozzolanic activity and physico-mechanical characteristics in ceramic powder-lime pastes / A. Bakolas, E. Aggelakopoulou, A.Moropoulou // *J. Therm. Anal. Calorim.* – 2008. – Vol.92 (1). – P. 34–351.

106. Chemico-physical interactions among the constituents of historical walls in Venice / A. Bakolas, Biscontin, G., Glisenti, A., Moropoulou, A., Tondello, E.,

Zendri, E. In: Druzik, J.R., Vandiver, P.B. (Eds.), *Materials Issues in Art and Archaeology IV*. Mat. Res. Soc. Pittsburgh. – 1995. – P. 771–777.

107. Bergna, H.E. *Colloidal Silica. Fundamentals and Applications* / H.E.Bergna, W.O.Roberts. – Taylor and Francis. – 2006. – 884 p.

108. Bokan Bosiljkov V. The use of industrial and traditional limes for lime mortars. In: Lourenco, P.B., Roca, P. (Eds.), *Historical Constructions/ V.Bokan Bosiljkov*. – University of Minho: Guimaraes. – 2001. – P. 343–352.

109. British standard BS 4551:2005 Mortar – methods of test for mortar – Chemical analysis and physical testing. – BSI 22. – 2005. – 4 p.

110. BS EN 1015: Methods of test for mortar for masonry. – BSI 2019-11-20. – 2019 – 6 p.

111. BS EN 998-1:2010 Specification for mortar for masonry. Rendering and plastering mortar. – European committee for standardization. – 2011. – 25 p.

112. Cabrera, J. Mechanism of hydration of the metakaolin–lime–water system / J. Cabrera, M. Frias // *Cement and Concrete Research*. – 2001. – 31 (2). – P. 177–182.

113. 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. – 24. – P. 71–78.

114. Carman, P.C. Constitution of colloidal silica / P.C.Carman // *Transactions Faraday Society*. – 1940. – 36. – P. 964–973.

115. Lime-based Materials and Practices for Surface Refitting of Cultural Heritage / S. Dai, J. Wang, Y.Hu and D. Zhang // *Advanced Materials Research*. – 2010. – Vol.133-134. – P.124–124.

116. Danilov, V. Practical application of the similarity law of structures in the reconstruction of the surface layer of bricks / V. Danilov, A. Ayzenshtadt, M. Frolova // *Materials Science Forum*. – 2021. – Vol.1017. – P. 21-30.

117. Degryse, P. Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation / P. Degryse, J. Elsen, M. Waelkens // *Cement and Concrete Research*. – 2002. – №32(1457). – P. 63.
118. DIN 18550-2-2015 Планирование, подготовка и применение штукатурки для наружных и внутренних работ. Часть 2. Дополнительные требования к DIN EN 3914–2 для внутренней штукатурки. – Москва: Росстандарт, 2022. – 20 р.
119. DIN EN 998-1:2017 Растворы строительные для каменной кладки. Технические условия. Часть 1. Строительный раствор для нанесения обрызга и штукатурки. – Berlin: Beuth publishing, 2017. – 13 р.
120. Duncan, A. J. *Quality Control and Industrial Statistics*. Fifth Edition / A.J.Duncan.– Irwin: Home Wood. – 1986. – 1123 p.
121. English Heritage / *Mortars, Renders and Plasters, Practical Building Conservation*. Farnham: Ashgate Publishing Ltd. – 2011. – 643 p.
122. English Heritage / *Timber, Practical Building Conservation*. Farnham: Ashgate Publishing Ltd, 2012. – 498 p.
123. Evans, J. R. *The Management and Control of Quality*. 11th Edition / J.R.Evans and M. L.William. – Cengage Learning. – 2019.– 752 p.
124. Evaluation of pozzolanic activity and physico-mechanical characteristics in metakaolin–lime pastes / A. Bakolas, E. Aggelakopoulou, S. Anagnostopoulou, A. Moropoulou // *J. Therm. Anal. Calorim.* – 2006. – Vol.84 (1). – P. 157–163.
125. Figovsky, O. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials / O. Figovsky, Yu. Borisov, D. Beilin // *J. Scientific Israel–Technological Advantages*. – 2012. – №14(1). – P. 7–12.
126. Figovsky, O.L. Conductive Coatings Based on Quaternary Ammonium Silicates / O.L. Figovsky, V. Karchevsky, F. Romm // *Organic-Inorganic Hybrids II. Science, Technology, Applications*. University of Surrey. – 2002. – №8(3). – P. 16-48.

127. 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. – №28(5). – P. 458–467.

128. Frías Rojas, M. Influence of metastable hydrated phases on the pore size distribution and degree of hydration of MK-blended cements cured at 60 °C / M. Frías Rojas, M.I. Sánchez de Rojas // *Cement and Concrete Composites*. – 2005. – №35 (7). – P. 1292–1298.

129. Frias, M. Pore size distribution and degree of hydration of metakaolin cement pastes / M. Frias, J. Cabrera // *Cement and Concrete Research*. – 2000. – Vol.30 (4). – P. 561–569.

130. Frias, M. Influence of MK on the reaction kinetics in MK/Lime and MK-Blended cement systems at 20 °C / M. Frias, J. Cabrera // *Cement and Concrete Research*. – 2001. – Vol.31 (4). – P. 519–527.

131. Genestar, C. Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterization / C. Genestar, C. Pons // *Journal of Cultural Heritage*. – 2002. – №4. – P. 291–298.

132. Grant, E. L. *Statistical Quality Control. Seventh Edition* / E.L. Grant and R.S. Leaven. – New York: Mc Graw-Hill. – 1996. – 764 p.

133. Grasshoff, K. On the determination of silica in seawater / K.Grasshoff // *Deep-Sea Res.* – 1964. – №11(4). – P. 74–81.

134. Hay, J. N. Preparation of Inorganic Oxides via a Non-Hydrolytic Sol-Gel Route / J.N. Hay, H.M. Raval, J.N. Hay, H.M. Raval // *Sol-Gel Sci. Tech.* – 1998. – №13. – P.109.

135. ISO 12491:2011 «Статистические методы контроля качества строительных материалов и изделий». – Washington: ANSI publisher. – 1997. – 7 p.

136. ISO 9001 «Система менеджмента качества». – Birmingham: Multiple publishers. – 2015. – 18 p.

137. Jude, I.E. Statistics and Quantitative Methods for Construction and Business Managers. First Edition./ I.E. Jude, E.O. Micah and N.J. Edith. – Nigeria: Nigerian Institute of Building Press. – 2005. – 44 p.
138. Killman, E. The stability of silica-aerosyl-hydrosols under the influence of polymer adsorption. The effect of polymers on dispersion properties. / E. Killman, J. Eisenlauer. – London: Academic Press. –1982. – 414 p.
139. Kruskall, W. Representative sampling / W. Kruskall, F. Mosteller // Int. Stat. Rev. – 1979. – Vol.47. – P. 13–24.
140. Kudryavtsev, P.G. Alkoxides of chemical elements - promising class of chemical compounds wich are raw materials for Hi-Tech industries / P.G. Kudryavtsev // Journal "Scientific Israel - Technological Advantages". – 2014. – Vol.16(2). – P.147–170.
141. Larson, H. J. Introduction to Probability Theory and Statistical Inference. Third Edition. / H.J. Larson. – New York: John Wiley and Sons, 1991. – 656 p.
142. Lin, M. Research commentary: Too big to fail large samples and the p-value problem / M. Lin, H.C. Lucas, G. Shmieli // Inform. Syst. Res. – 2013. – №24. – P. 906–917.
143. Loganina, V.I. The issue of quality control dry mixes / V.I.Loganina // Ponte Journal. – 2016. – Vol.72(12). – P. 424–427.
144. Loganina, V.I. Compositions for Limestone Restoration / V.I.Loganina, M.V.Zaytseva // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol.909. – P. 177–183.
145. Loganina, Valentina I. Quality Assurance for the Appearance of Paint Coatings / Valentina I. Loganina, Maria V. Zaytseva, Georgy A. Fokin // Key Engineering Materials. – 2022. – Vol.910. – P. 598–603.
146. Loganina, V.I. Estimating the Cost of Improving Quality in Production Dry Building Mixtures / V.I. Loganina, T.V. Uhaeva M.V. Zaytseva // Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. Materials Research Forum. – 2022. – P. 13–17.

147. Loganina, V.I. Lime compounds for restoration and decoration of building walls / V.I. Loganina, M.V. Zaytseva, T.V. Uhaeva // *Journal of Physics: Conference Series (Advanced Trends in Civil Engineering 21.* – 2021. – P. 23–28.
148. Modular inspection equipment design for modular structured mechatronic products – model-based systems engineering approach for an integrative product and production system development / Meinolf Lukei, Bassem Hassan, Roman Dumitrescu, Thorsten Sigges, Viktor Derksen // *Procedia Technology.* – 2016. – Vol.26. – P. 455–464.
149. Maile, T. A method to compare simulated and measured data to assess building energy performance / T. Maile, V. Bazjanac, V. Fischer // *Building and Environment.* – 2012. – Vol.56. – P. 241–251.
150. *Manual to the Building Regulations. A code of practice for use in England.* HM Government. – London: Crown copyright publish. – 2020. – 6 p.
151. Migiey H.G. in *International Seminary on Calcium Aluminates* (eds M. Murat et al.) / H.G.Migiey. – Turin: Politecnico di Torino. – 1982. – 51 p.
152. Montgomery, D.C. *Applied statistics and probability for engineers.* 6th ed. / D.C. Montgomery, G.C.Runger. – New York: Wiley. – 2013. – 832 p.
153. Moropoulou, A. Range of acceptability limits of physical, chemical and mechanical characteristics deriving from the evaluation of historic mortars. In: Biscontin, G., Moropoulou, A., Erdik, M., Delgado Rodrigues, J.D. (Eds.) / A. Moropoulou, A. Bakolas // *Compatible Materials for the Restoration of European Cultural Heritage, Part 56.* – 1998. – P. 165–178.
154. Morozova, M.V. Surface activity of the fine disperse systems on the basis of construction sands / M.V. Morozova, M.V. , M.A. Frolova // *Lecture Notes in Civil Engineering.* – 2021. – Vol.95. – P. 206–212.
155. Mullin, J.B. The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural water / J.B. Mullin, J.P. Riley // *Analyt. Chim. Acta.* – 1955. – Vol.12(2). – P. 162–176.

156. 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. – P. 161–166.

157. Filled epoxy composites based on polyfraction microcalcite / T.A. Nizina, J.A Sokolova, A.N. Chernov, D.R. Nizin, A.I. Popova, N.S. Kanaeva // *Magazine of Civil Engineering*. – 2018. – №7(83). – P. 84–92.

158. Omair, A. Sample size estimation and sampling techniques for selecting a representative sample / Omair // *J. Health Spec.* – 2014. – Vol.2. – P. 142–147.

159. Our Products : website / Saythermoplast . – McSherrystown. – URL:<http://www.saythermoplast.in/products.html> (дата обращения: 22.05.2021).

160. Pat. 4289653 US, B01J21/12; B01J23/85; C10G45/08; (IPC1-7): B01J21/12. Co-gel catalyst manufacture / Jaffe, Joseph (CA), assignee Chevron Research Company (CA).

161. Pat. 4499197 US, 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).

162. Pat. 4988659 US, B01J21/12; C10G11/04; (IPC1-7): B01J21/12. Silica/alumina cogel catalysts / Pecoraro, Theresa A. (CA), assignee Chevron Research Company (CA).

163. Poraver-x : website / Poraver. – Koeln. – URL:<http://www.poraver.com/poraver-x/> (дата обращения: 22.05.2022).

164. Ramsey, C.A. A methodology for assessing sample representativeness. Scandinavian / C.A. Ramsey, A.D. Hewitt // *Journal of Statistics*. – 2014. – №2. – P. 277–290.

165. Rao, I.V. Phase behavior of mixtures of sterically stabilized colloidal dispersions and free polymer / I.V. Rao, E. Ruckenstein // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 1985. 108(2). – №2. – P. 389–402.

166. Rao, S. Experimental study of the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with nano materials (SiO_2 and TiO_2) / S. Rao, P. Silva, J. De Brito // *Construction and Building Materials*. – 2015. – Vol.96. – P. 508–517.
167. Roberts, L. The role of microsilica in sustainable concrete/ L. Roberts// *MATEC Web of Conferences* 120:02011. – 2017. – 18 p.
168. Rajgelj, S. Cohesion Aspects in rheological behaviour of fresh cement mortars / S. Rajgelj // *Mater. et constr.* – 1985. – Vol.104. – P. 109–114.
169. Ross, H. *Praxis-Handbuch Putz F.* / H.Ross. – Stahl – Koln, 2006. – 300 p.
170. Sakata Syrah. *A practical guide to the quality. Translation Management.* the 4th edition of the Japanese S.I. Myshkinoy // Ed. V.I. Gostyaeva. – Moscow: Mechanical engineering. – 1980. – 215 p.
171. Shindovsky E., Schyurts O. *Statistical quality management* / E.Shindovsky, O. Schyurts. – Moscow: Peace. –1976. – 598 p.
172. Slovenski standard SIST EN 934-3:2009+A1:2012. Brussels: CEN publisher. – 2012. – 7 p.
173. Song, P.S. Assessment of statistical variations in impact resistance of highstrength concrete and highstrength steel fiberreinforced concrete / P.S. Song, J.C. Wu, S. Hwang, B.C. Sheu // *Cement and Concrete Research*. – 2005. – Vol.35(2). – P. 393– 399.
174. Taguchi G., Jugulum R. *The Mahalanobis-Taguchi Strategy. A Pattern Technology System* / G. Taguchi, R. Jugulum. – New York: John Wiley & Sons. – 2002. – 235 p.
175. *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.* Bruxelles: European Committee for Standardization. – 2007. – 10 p.

176. 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. Bruxelles: European Committee for Standardization. – 2006. – 15 p.

177. 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. Bruxelles: European Committee for Standardization. – 2007. – 23 p.

178. The European Standard EN 1745:2012-07, Methods for Determining Design Thermal Values. Bruxelles: European Committee for Standardization. – 2012. – 25 p.

179. The European Standard EN 998-1:2017 Specification for Mortar for Masonry–Rendering and Plastering Mortar. Bruxelles: European Committee for Standardization. – 2017. – 18 p.

180. Torraca, Giorgio. Porous building materials: materials science for architectural conservation / Giorgio Torraca. – Rome: ICCROM. – 2005. – 111 p.

181. Wang, K. BUsing Profile Monitoring Techniques for a data-rich environment with huge sample size / K.B.Wang, F.Tsung // Quality and Reliability Engineering International. – 2005. – Vol.21. – P. 677–688.

182. Xie, M. Statistical techniques for quality / M. Xie, T.N.Goh // The TQM Magazine. – 1999. – Vol.11(4). – P.238–242.

183. Zoubir, Mehdi Sbarta. Concrete properties evaluation by statistical fusion of NDT techniques / Mehdi Sbarta Zoubir, S.Laurens, S.Elachachi, C.Payan // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol.37. – P. 943–950.

Приложение А. Акт опытно-производственного апробирования

Утверждаю
Генеральный директор
ООО НПК «Коломенские краски»
В.В.Бураков
марта 2022г



АКТ

опытно-производственного апробирования

состава для реставрации «Известковые строительные смеси с применением добавки полисиликатного раствора»

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО НПК «Коломенские краски» В.В.Бураков, инженер-технолог ООО НПК «Коломенские краски» Е.Н.Федоренко, профессор Пензенского государственного университета архитектуры и строительства В.И.Логанина, соискатель Пензенского государственного университета архитектуры и строительства М.В.Зайцева, составили настоящий акт о том, что нами было произведено опытно-производственное апробирование состава для реставрации двухэтажного кирпичного здания по адресу: г. Коломна, ул. 3-его Интернационала дом 4.

Состав готовили перемешивание всех компонентов с последующим нанесением состава на поверхности стен из кирпича.

Перед нанесением поверхность грунтовали полисиликатным раствором вязкостью 16-18 сек по ВЗ-4. Состав наносился ручным способом в два слоя. Общая площадь отделанной поверхности составила 1500м². При визуальном осмотре не зафиксировано наличие отслоений и растрескивание отделочного слоя.

Генеральный директор
ООО НПК «Коломенские краски»
В.В. Бураков

Инженер-технолог
ООО НПК «Коломенские краски»
Е.Н. Федоренко

Профессор Пензенского государственного
университета архитектуры и строительства
В.И. Логанина

Соискатель Пензенского государственного
университета архитектуры и строительства
М.В. Зайцева

Приложение Б. Проект СТО. Технические условия

Проект СТО

Российская Федерация
Общество с ограниченной ответственностью
НПК «Коломенские краски»

Утверждаю

Генеральный директор

ООО НПК «Коломенские краски»

В.В.Бураков

марта 2022года



ИЗВЕСТКОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ ПОЛИСИЛИКАТНОГО РАСТВОРА

Технические условия

Коломна 2022

Проект СТО

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Обществом с ограниченной ответственностью НПК «Коломенские краски». В разработке стандарта принимали участие генеральный директор В.В. Бураков, ведущий инженер-технолог Е.Н. Федоренко Н.П. и соискатель ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» М.В. Зайцева.

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Генерального директора ООО НПК «Коломенские краски» № _____ от « _____ » _____

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Назначение и область применения.....	156
2 Нормативные ссылки	156
3 Термины и определения, обозначения и сокращения.....	158
4 Общие положения	159
5 Технические требования	159
5.1 Требования к материалам.....	159
5.2 Характеристики смеси.....	160
6 Характеристика исходного сырья и материалов	161
7 Технология изготовления известковой строительной смеси.....	163
7.1 Рецептúra известковой строительной смеси на основе извести	163
7.2 Технология изготовления строительной смеси на основе извести....	163
8 Контроль производства.....	164
9 Методы испытаний.....	166
10 Правила приемки.....	168
11 Требования безопасности и охраны окружающей среды.....	170
12 Упаковка.....	172
13 Маркировка.....	172
14 Транспортирование и хранение.....	173
15 Гарантии изготовителя.....	174
Ключевые слова.....	174

Проект СТО

Введение

В настоящем стандарте приведены рекомендуемые области применения известковых строительных смесей с применением добавки полисиликатного раствора.

Протоколы испытаний известковых строительных смесей с применением добавки полисиликатного раствора находятся у разработчика настоящего стандарта ООО НПК «Коломенские краски».

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ИЗВЕСТКОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ ПОЛИСИЛИКАТНОГО РАСТВОРА

ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ

Технические условия

1 Назначение и область применения

Настоящий стандарт устанавливает организацию, порядок и контроль производства известковой строительной смеси (далее смеси) с применением добавки полисиликатного раствора.

Стандарт распространяется на штукатурные составы, применяемые для реставрации и 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;

Проект СТО

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 18958-71 Стекло натриево жидкое. Технические условия;

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

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

ГОСТ 25951-83 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия;

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

СП 82-101 - 98 Приготовление и применение растворов строительных

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официаль-

ном 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.

Проект СТО

3.5 модифицирующие добавки (функциональные добавки): Полимеры, органические и минеральные вещества, входящие в рецептуру сухой смеси и оказывающие влияние на физико-механические свойства растворов 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 растворная смесь: Смесь тщательно перемешанных вяжущего, мелкого заполнителя, необходимых добавок и воды для затворения, готовая к применению.

4 Общие положения

4.1 Состав представляет собой строительную смесь, состоящую из извести, микрокальцита, добавки полисиликатного раствора, пластификатора.

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

5 Технические требования

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:

- известь гидратная (пушонка) по ГОСТ 9179;
- микрокальцит КМ2 (ГОСТ 56775-2015);
- полисиликатный раствор;
- добавка Хидетал -П-5 (ТУ 5745-005-57330160-05)

5.1.2 Материалы, применяемые для производства смесей, должны быть разрешены к применению органами Госсанэпидслужбы.

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.

5.2 Характеристики смеси

5.2.1 Свойства смеси должны характеризоваться показателями качества смесей, готовых для применения (растворных смесей).

5.2.2 Основные технические характеристики теплоизоляционных смесей с применением в рецептуре синтетической добавки должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Нормы и требования, предъявляемые к строительным смесям, готовым к применению, и покрытиям на их основе

Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1 Прочность при сжатии после 28 суток воздушного твердения	Не менее 0,5 МПа	DIN EN 1015-11
3 Морозостойкость отделочного слоя	Не менее F35	ГОСТ 31356

Проект СТО

Окончание таблицы 2.

4 Водопоглощение при капиллярном подсосе	Не более 0,4кг/м ² ·ч ^{0,5}	DIN EN1015-18
5 Водоудерживающая способность	Не менее 97 %	ГОСТ 5802
6 Деформация усадки	Не более 0,4 мм/м	ГОСТ 24544

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 известковых смесей с добавкой полисиликатного раствора должно соответствовать предъявляемым требованиям согласно таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Характеристика исходного сырья

Наименование сырья	Нормативный документ	Показатели, необходимые для приемки партии перед использованием
Известь-пушонка	ГОСТ 9179-77	Активность Температура и время гашения Содержание непогасившихся зерен Тонкость помола
Белый цемент	ГОСТ 965-89	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут. Коэффициент отражения света. Равномерность изменения объема Сроки схватывания Тонкость помола
Полисиликатный раствор		Силикатный модуль. Содержание кремнезема. Вязкость. рН

Окончание таблицы 3.

Микрокальцит КМ2	ГОСТ 56775-2015	Массовая доля CaCO_3 , % Массовая доля MgCO_3 , % Массовая доля Fe_2O_3 , % Твердость по шкале Мооса Размер средней частицы, мкм Белизна, % Влажность, % Значение pH Насыпная плотность, ($\text{кг}/\text{м}^3$) Истинная плотность, ($\text{кг}/\text{м}^3$) Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$
Пластификатор Хидетал -П-4	Принимается по паспорту поставщика Агрегатное состояние: кристаллический порошок Цвет: от светло-желтого до темно-коричневого pH-показатель, ед., не менее 5,5 Массовая доля сухих веществ, %: 96 ± 4 Содержание Cl^- , %, не более 0,1 Температура хранения, °C: от -30 до +40	Агрегатное состояние: кристаллический порошок Цвет: от светло-желтого до темно-коричневого pH-показатель, ед., не менее 5,5 Массовая доля сухих веществ, %: 96 ± 4 Содержание Cl^- , %, не более 0,1 Температура хранения, °C: от -30 до +40
Вода	ГОСТ 23732	Водородный показатель pH. Окисляемость Грубодисперсные примеси в воде Максимально допустимое содержание ионов SO_4

Проект СТО

7 Технология изготовления строительной смеси

7.1 Рецептúra известковой строительной смеси на основе извести.

Рецептура строительной смеси на основе извести содержит такие компоненты как известь гашеную, белый цемент, добавку полисиликатного раствора, микрокальцит, Хидетал -П-5, указанных в таблице 4.

Т а б л и ц а 4 – Рецептúra строительной смеси на основе извести

Наименование компонентов	Состав, массовая доля, %
Белый цемент	1,859
Известь-пушонка	18,58
Полисиликатный раствор	0,186
Микрокальцит	55,79
Пластифицирующая добавка Хидеталь-П-5	0,185
Вода	23,4
Итого	100

7.2 Технология изготовления строительной смеси на основе извести

7.2.1 Известь-пушонка из силосов поступает в смеситель.

7.2.2 Белый цемент установленной маркой по прочности из силосов поступает в смеситель.

7.2.3 Подача добавок пластификатора, полисиликатного раствора к дозаторам осуществляется вручную.

7.2.4 Добавки поступают в цех со склада и подаются с помощью погрузчика или гидравлических тележек.

7.2.5 Подача пластификатора, полисиликатного раствора к дозаторам осуществляется вручную.

7.3.6 Процесс приготовления составов заключается в совместном смешивании отдозированных компонентов и воды в смесительном модуле. Для смешивания применяют смесители циклического действия.

7.2.7 Перед фасовкой смесь проверяется на соответствие нормативным документам.

7.2.8 При несоответствии отдельных показателей смеси требованиям настоящего стандарта производится постановка смеси на коррекцию состава с обязательным последующим перемешиванием.

7.2.9 Готовая строительная смесь, соответствующая требованиям стандарта ООО НПК «Коломенские краски», направляют на фасовку. Фасовка строительной смеси предусмотрена как в крупную, так и в мелкую тару.

7.2.10 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. Смесь упаковывается в плотно закрытую тару. Упакованная продукция на тележках отправляется на склад готовой продукции.

8 Методы испытаний

8.1 Материалы для приготовления строительных смесей испытывают в соответствии с требованиями нормативных или технических документов на эти материалы.

8.2 Методы испытаний материалов, применяемых для приготовления смесей, должны быть указаны в технологической документации на приготовление смеси.

8.3 Пробы смесей для проведения испытаний отбирают в соответствии с ГОСТ 31356.

Проект СТО

8.5 Водоудерживающую способность растворяемых смесей определяют по ГОСТ 5802 путем испытания уложенной на промокательную бумагу растворной смеси толщиной 12 мм.

8.6 Водопоглощение при капиллярном подсосе затвердевших растворяемых смесей определяют по ГОСТ 31356.

8.7 Морозостойкость затвердевших растворов определяют по ГОСТ по ГОСТ 31356.

8.8 Эффективность применяемых добавок определяют по ГОСТ 30459.

8.9 Прочность сцепления покрытия после выдерживания в воздушно-сухой среде определяют по ГОСТ 15140-78.

8.10 Деформация усадки определяется по ГОСТ 24544.

8.11 Количество образцов для испытаний следует выбирать с учетом данных таблицы 5

Т а б л и ц а 5 – Количество образцов для испытаний

Уровень дефектности NQL	Риск поставщика $\alpha_0=0,05$ при риске потребителя β_0		
	0,1	0,25	0,5
Определение прочности при сжатии			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2
Определение прочности сцепления			
1	42	27	14
2	17	10	5

Окончание таблицы 5.

3	10	7	3
Определение средней плотности			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2
Определение подвижности			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	17	5	2
Определение водоудерживающей способности			
1	42	27	14
2	16	10	5
3	10	7	3
Определение капиллярного водопоглощения			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2

9 Контроль производства

9.1 Методы контроля производства строительной смеси представлены в таблице 6.

Проект СТО

Таблица 6 – Контроль производства 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
Все оборудование перед началом работы. Место осмотра - цех.	Состояние и чистота оборудования	Перед загрузкой сырья	Должно быть чистым, исправным, герметичным	Визуально	Инженер по качеству
Загрузка сырья в смеситель	Точность дозирования загружаемого сырья; время перемешивания;	Периодически, до полного смешивания	Согласно нормам технологического режима	Визуально	Инженер по качеству
Тара	Чистота и исправность	Каждая партия	Должна быть чистой и исправной	Визуально	Бригадир

Окончание таблицы 6.

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 Строительная смесь должна приниматься техническим контролером или лицом, ответственным за качество, предприятия-изготовителя.

Проект СТО

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

10.3 Приемку 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 смесей: прочность, водопоглощение, прочность сцепления следует осуществлять по результатам приемо-сдаточных испытаний один раз в смену от каждой партии.

Проект СТО

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.

10.9 Периодичность испытаний по показателям:

- время переработки растворной смеси – один раз в квартал
- водопоглощение – один раз в шесть месяцев;
- морозостойкость, трещиностойкость – один раз в год.

Перечисленные показатели должны определяться при смене сырья и материалов, состава смесей, технологии изготовления.

10.10 Результаты периодических испытаний по величине удельной эффективности активности естественных радионуклидов и прочности сцепления с основанием распространяются на все произведенные партии до получения новых результатов периодических испытаний.

10.11 Радиационно- и санитарно-гигиеническую оценку смесей подтверждают наличием санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора, которое необходимо возобновлять по истечению срока его действия или при изменении качества исходных материалов, состава смеси и технологии изготовления.

10.12 Радиационно-гигиеническую оценку смесей допускается проводить на основании паспортных данных предприятий-поставщиков сырья и материалов, применяемых для изготовления смесей, о содержании естественных радионуклидов в этих материалах.

10.13 Потребитель имеет право проводить контрольную проверку качества смесей в соответствии с требованиями и методами, установленными в настоящем стандарте.

10.14. Мониторинг качества готовой продукции должен проводиться с учетом достоверности контроля.

10.15 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 строительная смесь;
- уровень дефектности продукции.

10.16 При экспортно-импортных операциях содержание документа о качестве уточняется в договоре на поставку смеси.

11 Требования безопасности и охраны окружающей среды

11.1 Известковые составы 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 известковые смеси, должно быть оснащено приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, в соответствии со СНиП 2.04-05-91 и ГОСТ 12.4.021.

Проект СТО

11.3 Работники, занятые в производстве смесей, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.034 (ЕН 133), в соответствии с «Типовыми отраслевыми нормами выдачи средств индивидуальной защиты работникам промышленности строительных материалов».

11.4 Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005 и составлять не более 4мг/м^3 .

11.5 Санитарно- и радиационно-гигиеническую безопасность применения смесей устанавливают на основании санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора и оценивают по безопасности смесей или их составляющих.

11.6 Безопасность минеральных составляющих смесей 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 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, 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 плотно закрытую тару.

12.2 Упаковочная тара должна соответствовать требованиям нормативной документации на конкретные виды тары.

12.3 Отделочные смеси в упаковочной таре укладываются на деревянные поддоны ровными рядами общим весом не более 1500 кг на один поддон. Поддоны должны соответствовать требованиям ГОСТ 9078.

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:

Проект СТО

- 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 смеси перевозят транспортными пакетами автомобильным, железнодорожным и другими видам транспорта в соответствии с правилами перевозки и крепления грузов, действующими на транспорте конкретного вида, и инструкцией предприятия-изготовителя.

14.2 Применяемые средства транспортирования смесей должны исключать возможность попадания атмосферных осадков, а также обеспечивать защиту упаковки от механического повреждения и нарушения целостности.

14.3 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 смесей требованиям настоящего стандарта при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения и применения.

15.2 Гарантийный срок хранения смесей составляет 11 месяцев со дня изготовления.

15.3 По истечении гарантийного срока хранения смесь должна быть проверена на соответствие требованиям настоящего стандарта. В случае соответствия требованиям стандарта смесь может быть использована по назначению

Ключевые слова: известковые строительные смеси, наполнитель, правила приемки, технология производства, методы контроля, приемка, упаковка, маркировка, транспортирование, хранение.
