

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)»

На правах рукописи



Туляганов Александр Константинович

**СМЕСИ СУХИЕ ЦЕМЕНТНЫЕ НАПОЛЬНЫЕ
С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Специальность 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Ильина Лилия Владимировна

Новосибирск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1	Повышение эффективности сухих строительных смесей на цементной основе (аналитический обзор).....	14
1.1	Требования к сухим строительным смесям.....	14
1.2	Возможность применения оксида и гидроксида алюминия в качестве ускорителя схватывания и твердения в сухие смеси на цементной основе.....	19
1.3	Полимерные добавки для сухих смесей.....	23
1.3.1	Редиспергированные полимерные порошки.....	25
1.3.2	Полимерные эфиры целлюлозы.....	27
1.4	Причины возникновения трещин в результате пластической усадки в цементных растворах.....	30
1.5	Волокнистые добавки в сухие смеси.....	31
1.5.1	Целлюлозное волокно.....	31
1.5.2	Полиакрилонитрильные волокна.....	33
1.5.3	Базальтовая фибра.....	35
	Выводы по главе 1. Цель и задачи исследования.....	37
Глава 2	Методы исследования. Характеристика сырьевых материалов.....	40
2.1	Методы исследования.....	40
2.1.1	Методы испытания портландцемента.....	40
2.1.2	Методы испытаний сухой растворной смеси.....	42
2.1.3	Методы испытаний гидратной извести.....	43
2.1.4	Комплексный термический анализ.....	43
2.1.5	Рентгенофазовый анализ.....	43
2.1.6	Лазерная гранулометрия.....	44
2.1.7	Электронная микроскопия.....	44
2.1.8	Ртутная порометрия	45
2.1.9	Метод определения растворимости полимера.....	45
2.1.10	Электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО).....	46

2.2	Характеристика используемых материалов.....	47
2.2.1	Портландцемент.....	47
2.2.2	Мелкий заполнитель.....	50
2.2.3	Алюминий содержащие добавки.....	51
2.2.4	Микроармирующие добавки.....	51
2.2.5	Пластифицирующая добавка.....	57
2.2.6	Водорастворимые и водонабухаемые порошковые полимеры.....	57
2.2.7	Вода затворения.....	59
Глава 3	Влияние добавок на технологические свойства растворных смесей и эксплуатационные свойства растворов.....	60
3.1	Влияние крупности песка на прочность раствора	60
3.2	Влияние загрязняющих примесей в песке на прочность раствора..	62
3.3	Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на свойства растворной смеси и раствора.....	64
3.4	Влияние вида и количества алюминий содержащих добавок на свойства цементного теста и камня.....	69
3.4.1	Обоснование выбора алюминий содержащих добавок.....	69
3.4.2	Влияние вида и количества алюминий содержащих добавок на свойства цементного теста.....	70
3.4.3	Влияние вида и количества алюминий содержащих добавок на свойства цементного камня.....	70
3.4.4	Результаты комплексного термического анализа цементного камня.....	73
3.4.5	Исследование цементного камня методом электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО).....	76
3.4.6	Исследование структуры цементного камня.....	79
3.5	Влияние порошковых полимеров на свойства растворной смеси и раствора.....	83
3.5.1	Влияние метилцеллюлозы на свойства растворной смеси.....	84

3.5.2	Влияние содержания порошковых полимеров на свойства раствора.....	90
3.5.3	Влияние содержания порошковых полимеров на стойкость к образованию трещин.....	98
3.6	Влияние волокнистых наполнителей на свойства раствора.....	99
	Выводы по главе 3.....	104
Глава 4	Разработка составов сухих напольных смесей.....	107
4.1	Улучшение составов сухих смесей.....	107
4.2	Исследование морозостойкости смесей.....	119
	Выводы по главе 4.....	121
Глава 5	Практическое применение сухих смесей.....	123
5.1	Технология изготовления сухих смесей.....	123
5.2	Оценка технико-экономической эффективности результатов работы.....	126
5.3	Опытно-промышленная проверка результатов экспериментально-теоретических исследований. Реализация в учебном процессе.....	127
	Выводы по главе 5.....	129
	Заключение.....	130
	Список литературы.....	134
	Приложение 1 Акт опытно-промышленных испытаний.....	150
	Приложение 2 Технические условия	152
	Приложение 3 Акт выполненных работ.....	153
	Приложение 4 Справка о внедрении результатов.....	154

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Современное строительство широко использует сухие строительные смеси (ССС). Они характеризуются стабильностью свойств и, как следствие, их применение способствует повышению качества строительных работ, производительности труда, снижению затрат на транспортирование и хранение, уменьшению потерь при выполнении работ. Эти и другие показатели выгодно отличают СССР от традиционных растворов и бетонов, применяемых в строительстве. Разработка и внедрение новых эффективных СССР, обладающих высокими физико-механическими характеристиками, является актуальной задачей современного материаловедения. Созданная обширная нормативная база внедрения сухих строительных смесей свидетельствует о возрастающем значении развития их производства и применения.

При производстве отечественных СССР используются модифицирующие добавки, которые поступают из-за рубежа. На долю модифицирующих добавок приходится около 60% в себестоимости отечественных СССР. Это ведет к удорожанию их стоимости и делает более зависимыми от импортных поставок. Поэтому разработка рецептуры и технологии приготовления отечественных СССР с модифицирующими добавками отечественного производства является актуальной, так как она может помочь решить проблему по импортозамещению и налаживанию выпуска отечественных высококачественных СССР, которые будут обладать улучшенными характеристиками растворных смесей и эксплуатационными свойствами растворов.

Работа проведена согласно тематического плана НГАСУ (Сибстрин) по направлению № 7 «Разработка новых строительных материалов и ресурсосберегающих технологий их производства» по темам: «Технологические и рецептурные параметры получения мелкозернистых и ячеистых бетонов с пониженным количеством воды затворения», «Закономерности формирования наноструктур композиционных материалов», «Оптимизация структуры и свойств тяжелых бетонов на активированных цементных вяжущих».

Степень разработанности темы

Улучшением свойств растворов путем ведения полимерных добавок смешанного действия занимались Боженков П.И., Мешков П.И., Мокин В.А., Новицкий А.Г., Ефремов М.В. и др. Однако возможность управления технологическими и эксплуатационными показателями сухих строительных смесей при введении таких добавок до конца не изучена. Сегодня высококачественная сухая смесь для строительства в России состоит из российских неорганических вяжущих и наполнителей, а также порошковых multifunctional полимерных добавок и редуцированного полимера иностранного производства, что ведет к значительному удорожанию ССС. Из этого следует, что приоритетной задачей является замещение импортных полимерных добавок на отечественные аналоги. В качестве отечественной полимерной добавки возможно использовать эфиры целлюлозы. Но в то же время происходит увеличение водоцементного отношения, что приводит к уменьшению прочности при растяжении, изгибе и сжатии. Помимо этого, происходит дополнительное вовлечение воздуха и замедляется процесс схватывания и твердения, что может быть не всегда уместным. Поэтому следует рассмотреть возможность разработки способов, которые будут направлены на снижение этих негативных факторов.

Некоторые отечественные ученые внесли значительный вклад в создание и внедрение в производство строительных смесей, которые обладают повышенными эксплуатационными свойствами, такие как Калашников В.И., Комохов П.Г., Трещев А.А., Шангина Н.Н., Акулова М.В., Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Хозин В.Г., Пустовгар А.П., Рахимбаев Ш.М., Пичугин А.П., Ерофеев В.Т., Козлова В.К. и др., а также ряд зарубежных исследователей. Изданные труды послужили основой для разработки основных принципов конструирования. Рецептура ССС состоит из выбора компонентов и топологии структуры. Однако до сих пор получение сухих напольных смесей на основе портландцемента с модифицирующими отечественными добавками изучено недостаточно.

Над проблемой снижения трещинообразования в растворных смесях путем армирования цементного камня различными волокнистыми материалами как ор-

ганического, так и неорганического происхождения работали Василик П.Г., Голубев И.В., Мешков П.И. и др. Но влияние вида дисперсного волокна и его количества на увеличение прочности на растяжение при изгибе, снижение пластических деформаций и повышение долговечности изучено недостаточно. Поэтому следует изучить влияние вида и количества волокнистых добавок на эксплуатационные свойства растворов.

Цель работы и задачи исследований

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение и оптимизацию сухих напольных смесей с улучшенными технологическими свойствами растворных смесей и эксплуатационными свойствами растворов на основе портландцемента с помощью добавления модифицирующих добавок.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи исследований**:

провести анализ воздействия вида и количества алюминий-содержащих добавок (оксид и гидроксид алюминия) на ускорение и упрочнение цементных систем путем изменения фазового состава и микроструктуры цементного камня;

- определить изменения технологических свойств растворных смесей и эксплуатационных свойств раствора от вида и содержания модифицирующих добавок (упрочняющих, армирующих, пластифицирующих, водоредуцирующих и водоудерживающих) в составе сухой смеси напольной (ССН);

- установить механизм формирования структуры цементных систем с использованием модифицирующих добавок;

- разработать технологические решения, обеспечивающие получение ССН на основе портландцемента с улучшенными эксплуатационными характеристиками;

- разработать составы напольных ССС с улучшенными характеристиками и повышенной экономической эффективностью с разработкой нормативно-технической документацией для промышленного производства;

- провести проверку результатов исследования в опытно-промышленных

условиях.

Научной гипотезой стало предположение о том, что возможность устройства напольных слоев с повышенными прочностными показателями может быть обеспечена за счет введения добавок, влияющих на процесс гидратации цемента, изменяющих фазовый состав и поровую структуру цементной системы.

Научная новизна:

1. Научно обосновано и экспериментально доказана возможность получения сухой смеси напольной (СН) на основе портландцемента с повышенными показателями прочности и трещиностойкости за счет ускоряющего процесса действия добавок в начальные сроки твердения и ускорением гидратации трехкальциевого силиката, а также уплотнением структуры цементной матрицы.

2. Предложен механизм структурообразования цементных систем на основе модифицированного вяжущего, связанный с рецептурно-технологическими параметрами (технология модифицирования вяжущего, количество и вид алюминий-содержащей добавки). Модифицирование цемента 1 % гидроксида алюминия приводит к его гидратации, ускорению процесса схватывания цементного теста (начало схватывания – на 38 %, конец – на 27 %) и повышению прочности при сжатии цементных систем. Упрочнение обусловлено уплотнением структуры цементной матрицы, снижением общего объема пор в ней на 10,5 %, размером пор более 15,4 мкм до 50 % и увеличение объема пор размером до 1,2 мкм на 22 %, при этом наибольшее количество пор (более 44 %) имеют диаметр менее 50 нм. Увеличивается морозостойкость полученных составов с F15 до F75.

3. Установлены закономерности влияния рецептурно-технологических факторов изготовления сухой смеси на формирование структуры цементной системы и ее свойства:

- способа модифицирования вяжущего введением алюминий-содержащих добавок, количества и вида этих добавок на образование нового кристаллогидрата (гидрогеленита), обуславливающего более быструю гидратацию системы;

- количества РПП – на повышение прочности при отрыве от основания (бетон тяжелый) в результате изменения характера адгезии на отрыв с адгезион-

ного на смешанный (адгезионно-когезионный) вследствие дополнительного образования полимерных связей механического скрепления на границе раствора и основания;

- способа введения МЦ, количества МЦ и РПП – на увеличение водоудерживающей способности смеси до 99 % за счет уменьшения содержания свободной воды (на 7 %) в композиционной системе вследствие интенсивного набухания полимера в смеси;

- количества и вида волокнистых добавок – на повышение прочности при изгибе в 1,9 раза и получения трещиностойкого раствора вследствие химического взаимодействия контактной зоны базальтового волокна и продуктов гидратации цемента, и компонентов с упруго-вязкими свойствами (РПП).

Полученные закономерности позволяют рационализировать технологию производства ССН в соответствии с требуемыми характеристиками.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что:

- были уточнены процессы взаимодействия наполнителя, вяжущего и добавок в составе сухих смесей, что привело к повышению технологических свойств и эксплуатационных характеристик растворных смесей;

- теоретически обоснована возможность использования алюминий-содержащих добавок в качестве дополнительных компонентов для более глубокой гидратации цемента с образованием новых кристаллогидратов (гидрогеленита);

- научно подтверждена целесообразность применения водоредуцирующих и водоудерживающих (МЦ и РПП) полимерных добавок для улучшения технологических свойств растворных смесей и эксплуатационных свойств растворов;

- предложен научно-обоснованный подход к дисперсному армированию ССН, определено оптимальное количество и вид армирующих волокон.

Практическая значимость работы определена тем, что:

- составлены уравнения регрессии (на основе экспериментальных данных, полученных с использованием многофакторного планирования эксперимента и их

математической обработки), с помощью которых возможно моделировать состав ССН в зависимости от требуемых показателей. При этом соотношение «вяжущее : песок» остается неизменным, по объему оно составляет 1:3,2. Количество добавок варьируется в следующих пределах (% мас.): алюминий-содержащая добавка 0,5–1,5 от цемента; МЦ – 0,2–0,4 от ССН; РПП – 0,3–0,5 от ССН; волокнистые добавки – 0,4–0,8 от ССН; гидратная известь 15–25 от цемента;

- установлены технологические и рецептурные параметры производства ССН (патент на изобретение № 2729634 «Сухая строительная смесь») и получены растворная смесь и раствор, обладающие следующими характеристиками: вододерживающая способность – 99 %, подвижность – 9 см, период сохранения подвижности – 6 ч, расслаиваемость – 0,1 %. Раствор, полученный из такой смеси будет иметь: прочность при сжатии – 26 МПа, прочность при изгибе – 4,6 МПа, стойкость к образованию трещин – 5 ч, прочность при отрыве от бетонного основания – 1,6 МПа, время начала хождения – 24 часа;

- разработаны компонентные составы смесей сухих напольных подвижностью 10-18 см, класса по прочности при растяжении при изгибе Btb1,6 - Btb3,2, классов по прочности при сжатии B5 - B20, прочности сцепления с основанием 0,8 - 1,6 МПа, марки по морозостойкости F75;

- При разработке ССН на цементном вяжущем были разработаны нормативные и технологические документы. Была выпущена экспериментальная партия сухой смеси, а также выполнены работы по устройству стяжки. Выделены технико-экономические показатели, позволяющие производить ССН.

Методология и методы диссертационного исследования

Методология выполнения работы основана на теоретических и прикладных исследованиях по ССС, в частности на новых концепциях о структуре и физико-механических характеристиках цементных систем и методах повышения их эксплуатационных характеристик. Методические основы диссертационной работы основаны на применении методов количественного и качественного анализа данных, физико-химические и физико-механические методы, методы оптической микроскопии, комплексного термического анализа, рентгенофазового анализа,

ртутной порометрии.

Положения, выносимые на защиту

- теоретическое и практическое обоснование позволяющее подтвердить получение ССН с повышенными технологическими и эксплуатационными характеристиками путем использования модифицирующих добавок (гидроксид алюминия, гидратная известь, МЦ, РПП, базальтовые волокна);
- принципы формирования структуры цементных систем с введением алюминий-содержащих добавок в процессе твердения, обусловленные особенностями их структуры;
- особенности влияния количества вводимых пластифицирующих (гидратная известь), водоудерживающих и водоредуцирующих добавок (МЦ, РПП), вида и количества волокнистых добавок на технологические свойства растворной смеси и эксплуатационные свойства растворов;
- технологическое решение производства ССН, заключающееся в предварительном модифицировании цемента алюминий-содержащими добавками (оксид и гидроксид алюминия) совместным помолом и добавлением гидратной извести, последующем смешивании вяжущего с предварительно распушенной МЦ, РПП, волокнистыми добавками и предварительно высушенным заполнителем;
- результаты апробации ССН, модифицированных отечественными добавками с расчетом экономической эффективности предложенных решений.

Достоверность проведения исследований в аккредитованной лаборатории и получение достоверных результатов подтверждается результатами экспериментов, сопоставлением результатов эксперимента с производственным опытом и их взаимной корреляцией. Выводы, которые были сделаны из лабораторных данных, были подтверждены положительными результатами испытаний на промышленных объектах.

Внедрение результатов исследований. По итогу исследования были разработаны технология изготовления и рецептуры ССН. Предложенные в работе составы были апробированы на ООО «Авангард» (г. Новосибирск). ССН, выпущенная на данном предприятии, использовалась для стяжки при выполнении работ ООО

«СтройтехТСК». Разработаны и утверждены нормативные и технологические документы на предложенные ССН и процессы при их изготовлении. При подготовке студентов, обучающихся по строительным специальностям на кафедре СМСС ФГБОУ ВО НГАСУ (Сибстрин), были использованы основные положения диссертационного исследования.

Апробация результатов

В ходе работы были представлены и доложены основные результаты, которые были показаны и обсуждены на международных и всероссийских научно-технических конференциях по проблемам архитектуры и строительства (г. Новосибирск: НГАСУ, НГАУ 2005-2009 и 2018-2020 г.), Международной научно-практической конференции «Строительство-2017», Ростов-на-Дону, 2017 г.; Международной молодежной научной конференции «Молодежь и XXI век - 2018» Юго-Зап. гос. ун-т., Курск, 2018 г.; VII Международном симпозиуме «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE 2018)» (г. Новосибирск, 2018 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Качество. Технологии. Инновации», НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск, 2019 - 2024 г.

Публикации

Результаты научно-исследовательской работы освещены в 20 работах, включая рекомендованных ВАК РФ - 7 публикации в журналах, цитируемых в международных базах Web of Science и Scopus - 3 публикации, защищены патентом на изобретение РФ.

Личный вклад автора состоит в теоретическом анализе информации по теме исследования, определении цели и задач исследования, формировании научной гипотезы, в планировании и реализации эксперимента, формулировке выводов, анализе результатов исследований, разработке прикладных решений, проведении внедрения результатов работы.

Область исследования специальности 2.1.5: п. 1. Разработка и развитие теоретических и методологических основ получения строительных материалов неорганической и органической природы с заданным комплексом эксплуатацион-

ных свойств, в том числе специальных и экологически чистых; п. 9. Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных строительных материалов и изделий с использованием местного сырья и отходов промышленности, в том числе повторного использования материалов от разборки зданий и сооружений; п. 15. Развитие теоретических основ и технологии получения вяжущих композиций и сухих строительных смесей различного назначения.

Структура и объем работы

В работе 154 страниц основного текста, включающего в себя введение, пять глав, заключение и список литературы, насчитывающий 185 наименований, включающий 41 рисунок, 4 приложения и 51 таблицу.

ГЛАВА 1 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

1.1 Требования к сухим строительным смесям

Выполнение отделочных работ составляет в среднем 35 – 40 % от затрат, которые необходимы для возведения зданий и сооружений. Следовательно, необходимо совершенствование данного вида строительных работ и освоение новейших отделочных материалов. С целью уменьшения трудоемкости технологических операций по отделочным работам, необходимо использование передовых технологий.[1]

Для того чтобы это осуществить, необходимо иметь в наличии высококачественные строительные материалы. На сегодняшний день не представляется возможным проведение как нового строительства, так и реконструкции или ремонта зданий без использования модифицированных сухих строительных смесей (ССС) [1].

Номенклатура выпускаемых сухих строительных смесей обширна (рис.1.1). Это ровнители, штукатурные, кладочные смеси, клеи и прочие материалы.

Все сухие смеси объединяют 2 фактора: они сыпучи и работают только после разведения растворителем или водой. Состав каждой сухой строительной смеси четко определяется производителем, оптимально подобран для того чтобы выполнять конкретную поставленную задачу, и каждый компонент, входящий в состав смеси, придает специальные свойства материалу.

Сухие строительные смеси - это особый состав, который включает в себя компоненты, которые необходимы для производственного процесса. В соответствии с технологической картой, они строго дозированы и предназначены для выполнения определенного вида ремонтных и строительных работ.

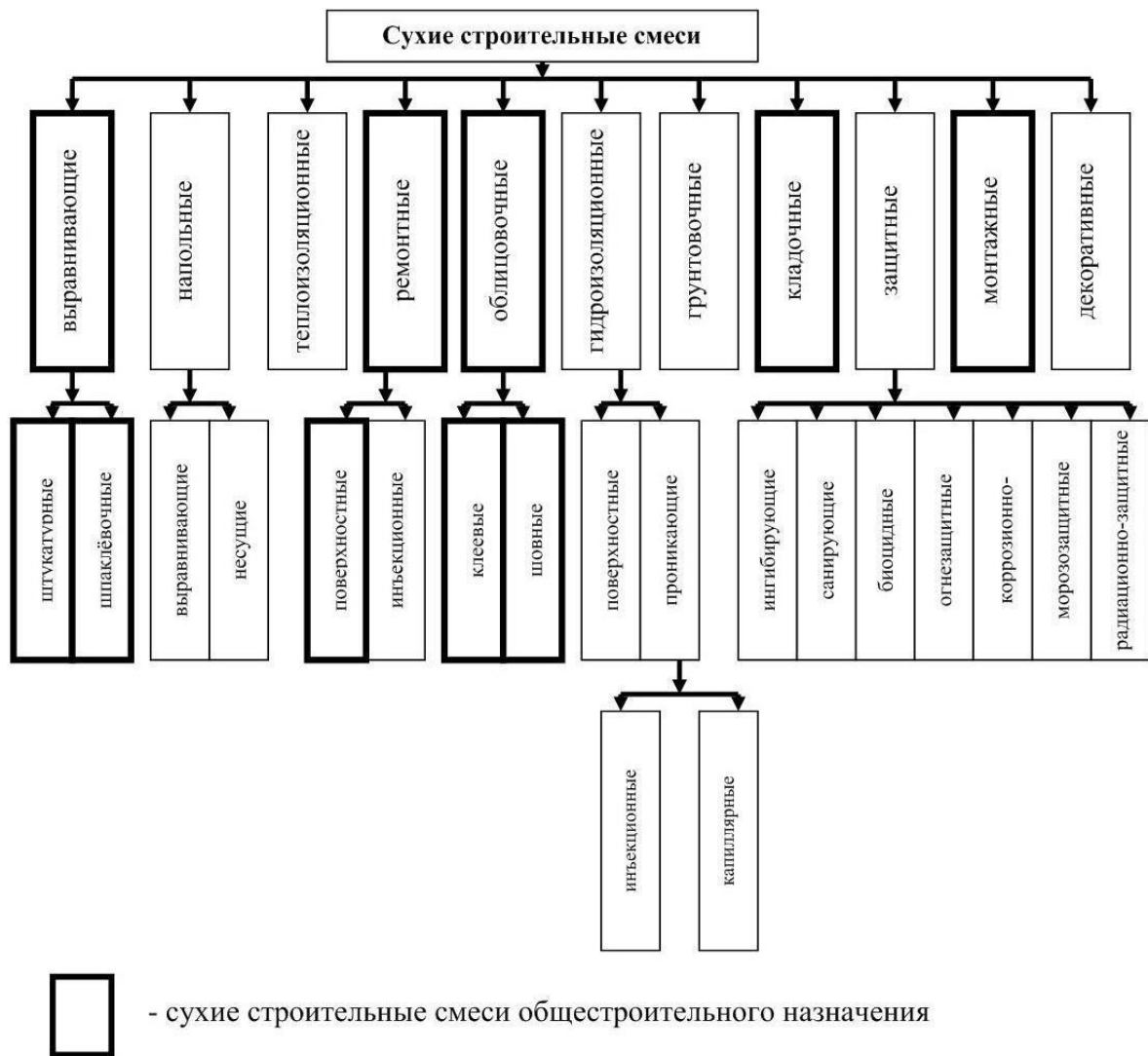


Рисунок 1.1 – Классификация сухих смесей по назначению

Сегодня составе сухих строительных растворов содержится больше компонентов по сравнению с теми смесями, которые применялись на строительной площадке ранее. Наиболее простыми по составу являются строительные смеси: растворы для кладки кирпича и низкокачественные клеевые составы для керамической плитки. При этом современные улучшенные и высококачественные сухие строительные растворы, включая смеси для самонивелирующихся стяжек и декоративных штукатурок, могут содержать до 20 и более компонентов [2].

Существует ряд особенностей технологии, которые исключают возможность использования в составе ССС жидких компонентов и веществ, которые обладают гигроскопичностью. Ключевые требования к добавкам: они должны быть легкорастворимыми или быстро редиспергируемыми (в период не превышающий

10 минут), равномерно распределяться в сухих и растворенных смесях, обладать гидрофобностью и не вступать в реакцию с другими компонентами [2, 3, 4, 5].

К сожалению добавки российского производства не соответствуют вышеперечисленным требованиям, более того, водоудерживающие и водоредуцирующие добавки, которые являются наиболее востребованными, либо неконкурентоспособные по качеству, либо их производство затруднено из-за отсутствия отечественных производителей [5].

Физические и химические свойства, а также диапазон концентрации наиболее распространенных на рынке функциональных добавок для ССС представлены в таблице 1.1 [2, 3, 4, 5].

Из литературных данных известно, что миграция воды через основание и испарение ее в атмосферу происходит при нанесении рядовых растворов на пористые основания. Причиной этого является неравномерное протекание гидратации по толщине раствора. Это приводит к значительному снижению прочности и образования трещин, а также к формированию внутренних напряжений в структуре материала. В течение 45 минут, которые характерны для схватывания обычных портландцементов (обычно это 1,5-2,5 часа), вода частично испаряется и уходит в основание. Эти факторы исключают использование технологии нанесения растворных смесей с помощью тонких слоев [6, 7, 8].

В связи с этим, особенно важно обеспечить высокую прочность при отрыве от основания, особенно гладкого, вибрирующего в процессе эксплуатации, полимерного, волокнистого и т.д.

Таблица 1.1 – Характеристика добавок для ССС

Назначение	Фазово-химический состав	Применение	Концентрация, мас. %
1	2	3	4
Редиспергируемые полимерные порошки (РПП)	Гомо- и сополимеры винилацетата, этилена, виниллаурата, винилверсатата, стирол-акрилаты, полиакрилаты, смеси поливинилацетата с сополимером винилацетата с этиленом и винилхлоридом	Клеи для плитки и для систем теплоизоляции, ремонтные составы, самонивелирующиеся полы, шпатлевки, штукатурки, кладочные растворы для монтажа газобетонных блоков, сухие краски, гидроизоляционные покрытия, затирки	0,5-8,0
Водоудерживающие	Гидратная известь. Модифицированные эфиры целлюлозы: - метилгидроксиэтилцеллюлозы; - метилгидроксипропилцеллюлозы; - этилгидроксиэтилцеллюлозы; - карбоксиметилцеллюлоза и др.	Все виды ССС для пористых оснований и для тонкослойного нанесения	0,2-0,4
Водоредуцирующие пластификаторы, суперпластификаторы, гиперпластификаторы	Соли сульфонированных меламина-формальдегидных (СМФ) или нафталин-формальдегидных (СНФ) полимеров. В отношении гиперпластификаторов информация о составе отсутствует. Известно, что это химические продукты высокой степени очистки	Самонивелирующиеся полы, инъекционные растворные смеси, ремонтные растворы, гидроизоляционные материалы	0,3-3,0
Загущающие и технологические (уменьшающие липкость к инструменту)	Модифицированные бентониты (на основе магнетитного монтмориллонита гекторита). Производные крахмала	Высококачественные клеи, затирки, шпатлевки, штукатурки	0,01-0,15

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
Воздухововлекающие	Поверхностно-активные вещества неионогенного и ионогенного действия: органические сульфокислоты и их соли, алкиларил сульфонаты, нейтрализованная винсоловая смола, смоляные мыла, полигликолевые эфиры	Смеси для морозостойких растворов и бетонов, кладочные и штукатурные растворы	0,05-0,1
Пеногасители	Жидкие углеводороды и полигликоли (диолы) на инертном носителе (аморфном кремнеземе)	Самонивелирующиеся полы, ремонтные растворы, клеи для теплоизоляции, клеи для плиток, сухие краски	0,05-0,1
Коалесценты (способствуют слиянию диспергированных в воде частиц полимерного порошка в сплошную пленку)	Смеси диолов на носителе (аморфном кремнеземе)	Сухие краски, самонивелирующиеся полы	0,1-5,0
Ускорители и замедлители схватывания	Алюминат натрия, гидросиликат натрия, карбонат лития, поташ, формиат кальция. Полисахариды, глюконат натрия, лимонная и винная кислоты и их соли, фосфат натрия	Инъекционные ремонтные составы, составы для торкрет - и набрызгбетона, гидропломбы, самонивелирующиеся полы	0,5-1,5
Ускорители твердения и упрочнители	Формиат кальция, тиосульфат натрия, роданид кальция, микрокремнезем, микрокальцит.	Смеси для высокопрочных быстротвердеющих растворов и бетонов, для работы при пониженных и отрицательных температурах, самонивелирующиеся полы	0,5-3,0
Гидрофобизирующие	Стеараты кальция, магния, цинка, олеат натрия, силиконовые смолы на твердых носителях	Фасадные штукатурки, шпатлевки, гидроизоляционные смеси	0,2-2,0

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
Противоусадочные, расширяющиеся	Глиноземистые и высокоглиноземистые цементы, активные гидраты глинозема, смеси диолов на аморфном кремнеземе	Гидроизоляционные смеси, стяжки, шпатлевки, ремонтные растворы и бетоны и др.	0,1-3,0
Противоморозные (проведение работ при температуре меньше 0 градусов по С)	Формиат кальция, тиосульфат натрия, поташ, мочевины	Штукатурные смеси для фасадных работ, кладочные растворы, ремонтные растворы и бетоны	3,0-7,0
Биоциды (обеспечение биостабильности)	Пиритион цинка	Штукатурки, клеи для плитки, самонивелирующиеся полы	0,2-0,5

Растворы, которые будут наноситься тонкими слоями, особенно при эксплуатации в отрицательных температурах должны обладать повышенными эксплуатационными показателями. Обеспечить эти требования можно с помощью модифицирующих добавок для сухих строительных смесей [9, 10, 11, 14].

Такие добавки для ССС могут быстро растворяться или редуцироваться (в период не превышающий 10 минут), равномерно распределяться в сухих и растворных смесях, а также обладать гидрофобностью и не вступать в реакцию с другими компонентами смеси. Несмотря на это, отечественные добавки не являются конкурентоспособными в плане качества и требований к ним. В большинстве случаев требования к качеству отечественных добавок для цементных систем не полностью соблюдаются. В связи с этим, актуальной является задача разработки новых модифицирующих добавок в области материаловедения.

1.2 Возможность применения оксида и гидроксида алюминия в качестве ускорителя схватывания и твердения в сухие смеси на цементной основе

С целью сокращения сроков набора прочности и начала эксплуатации стя-

жек, выравнивающих слоев и покрытий целесообразно вводить ускорители схватывания и твердения.

При создании ускорителей схватывания и твердения используют различные химические компоненты [26, 27]. Некоторые ученые [28, 29], согласно механизму влияния добавок модификаторов на процессы структурообразования цемента, предложили деление добавок, по которой химические добавки были классифицированы на 4 группы.

В первой группе добавок были добавлены вещества, которые изменяют растворимость неорганических вяжущих веществ и их гидратных новообразований, но при этом химически с ними не взаимодействуют.

Вторая категория включает в себя химические вещества, которые вступают в реакцию с минеральными веществами или продуктами их гидратации.

Добавки, относящиеся к 1 и 2-й группе, это электролиты. Вместе с тем добавки, модифицирующие основные силикатные фазы портландцемента (алит и белит) являются модификаторами 1-й группы, а модификации алюмоферритной и алюминатной фаз делают их модификаторами 2-й группы.

Для того чтобы ускорить процесс твердения, добавками третьей группы можно воспользоваться в двух вариантах: если твердение ограничено стадией кристаллизации новообразований, которая является более медленной, и если с их помощью удастся значительно уменьшить образование пленок, которые экранируют зерна вяжущих.

Четвертая группа добавок - поверхностно-активные вещества. Эти добавки могут связываться с частицами вяжущего вещества и новыми гидратными образованиями, что увеличивает подвижность цементного теста. Чаще всего они применяются как замедлители схватывания и твердения, а также помогают дополнительно вовлекать воздух.

Одним из применений нейтральных добавок является использование их в качестве ускорителей схватывания портландцемента. Для этого применяются порошкообразные продукты на основе аморфного мелкодисперсного гидроксида алюминия.

Среди полиморфных разновидностей оксида алюминия, наиболее изученными являются α - Al_2O_3 , γ - Al_2O_3 и β - Al_2O_3 .

Об этом говорится в патенте, опубликованном в [30, 31] и в научной литературе, опубликованной в [32, 33].

На свойства портландцементов различных производителей оказало влияние использование ускорителя, разработанного компанией Rhodia (Франция), который имеет название Rhoximat SA 502. Основой ускорителя Rhoximat SA 502 является оксид алюминия (γ - Al_2O_3), имеющий высокую дисперсность (удельная поверхность составляет 270–340 м²/г). Он обладает аморфной структурой.

Таблица – Влияние добавки Rhoximat SA 502 на схватывание цементных растворов [33]

Вид цемента	Сроки схватывания мин, при содержании добавки %					
	Без добавки		3		5	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
52,5(Lafarge)	170	290	80	205	50	80
52,5(Calcia)	225	340	70	140	40	110

Экспериментальные данные показали, что введение γ - Al_2O_3 в количестве 3 и 5 % в составе портландцемента СЕМ I 52,5 (Lafarge, Франция) и СЕМ I 52,5 "Calcia" (Франция), способствует уменьшению времени, необходимого для схватывания цементов.

При сопоставлении влияния добавки на основе γ - Al_2O_3 с формиатом кальция обнаружилось, что добавка Rhoximat SA502 имеет наилучший результат ускорения схватывания портландцемента через 1 сут. При гидратации цементной системы с данной добавкой происходит ее упрочнение по сравнению с системой контрольного состава и составом, в котором отсутствует формиат кальция.

Использование ускорителей схватывания и твердения портландцемента без содержания хлора и щелочи важно в разных областях строительной отрасли: при производстве бетонных и железобетонных конструкций; для цементных растворов и бетонов, применяемых при температуре ниже нуля и выше нуля; для ре-

монтажных составов; при создании торкретбетонов в строительстве туннелей; для составления рецептур сухих строительных смесей разного назначения.

Точное происхождение природного γ - Al_2O_3 остается неизвестным. Этот материал можно получить путем нагревания до температуры 500°C , при этом происходит удаление воды из гидроксидов алюминия. Следует отметить, что кристаллизировать его нужно в кубической форме. В настоящее время ведутся работы по созданию низкотемпературного γ - Al_2O_3 . Получить его можно при дегидратации всех форм $\text{Al}(\text{OH})_3$. Способ получения низкотемпературного γ - Al_2O_3 позволяет эффективно взаимодействовать с растворами щелочей и кислот, по скорости реакции лишь немного уступая трехводному гидроксиду алюминия.

α -модификация оксида алюминия является его самой стабильной формой. В природе – это минерал корунда. Его можно получить путем термического воздействия на оксиды и гидроксиды алюминия при высоких температурах (около 1200 – 1300°C). Корунд природный тригональной структуры, он химически инертен.

β -модификация оксида алюминия не является чистым оксидом, это химическое соединение Al_2O_3 со щелочными или щелочноземельными элементами, которое встречается в природе. Например, $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ в природе не существует. Этот продукт получают путем медленного охлаждения расплавленного глинозема. Структура β -модификации оксида алюминия похожа на структуру шпинели. При термическом воздействии β -модификации превращается в корунд.

Существуют трехводные оксиды алюминия - гиббсит (гидраргиллит), байерит и нордстрандит и одноводные оксиды алюминия, такие как диаспор, который является гидроксидом алюминия. Если создать условия, позволяющие этим соединениям реагировать между собой, они могут образовать одно вещество. Габер [34] предложил две серии гидроксидов:

- вариант первого порядка, γ -модификации: $\text{Al}(\text{OH})_3$ (гиббсит, гидраргиллит), AlOOH (бемит), γ - Al_2O_3 ;
- вариант второго порядка, α – модификации: $\text{Al}(\text{OH})_3$ (байерит), AlOOH (диаспор), α - Al_2O_3 (корунд).

Необходимо отметить, что внутри каждого ряда модификации переходят

одна в другую гораздо легче.

В результате разложения растворов алюмината (бокситов) образуется гидраргиллит $\text{Al}(\text{OH})_3$. Его структура состоит из моноклинной структуры с $N_1 = 1,587$ и $N_2 = 1,566$ данный оксид легко вступает в химическое взаимодействие с щелочами и кислотами, хотя при этом он хорошо кристаллизованный слабо активен.

Байерит $\text{Al}(\text{OH})_3$ имеет моноклинную структуру. Обычные условия не позволяют ему существовать в природе, поэтому он не встречается в природе. Он образуется в результате старения аморфного гидроксида алюминия, а также при длительном контакте углекислого газа с раствором алюмината.

Структуре гидроксида алюминия моноклинная, где N_1 и N_2 равны 1,596 и 1,580 соответственно. Удаление воды из его структуры происходит при температуре 200°C с переходом в глинозем, который является природным минералом.

При гидролизе щелочных алюминатов при pH ниже 7 и при низких температурах может образоваться аморфный гидроксид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$. Он появляется в виде студенистого осадка, содержащего много воды.

В состав одноводных гидроксидов входят: бемит AlOOH , имеющий ромбическую структуру, который образуется при нагреве гиббсита. Диаспор AlOOH часто встречается в природе и является основой для диаспоровых и диаспор-бемитовых бокситов.

Таким образом, различные модификации оксидов и гидроксидов алюминия являются основным компонентом в составе природных бокситов и в продуктах их обработки при различных температурах. Поэтому целесообразно изучить их воздействие на процессы гидролиза и гидратации цементных систем, и определить условия их использования как ускорителя процесса образования кристаллогидратов.

1.3 Полимерные добавки для сухих смесей

Тонкодисперсные полимерные добавки могут быть в виде редиспергируемых полимерных дисперсий, поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимер-

ных эфиров целлюлозы, эфиров крахмала и др. Номенклатура водорастворимых и водонабухаемых порошковых полимеров очень разнообразна, многие из них изменяют свойства растворных смесей (расслаиваемость, подвижность, способность сохранять подвижность с течением времени, водоудерживающую способность) или растворов (прочность при сжатии, изгибе, степень сцепления при отрыве от основания, стойкость к трещинообразованию) изменяя структуру и характер искусственного конгломерата [14].

Для того, чтобы повысить водонепроницаемость и морозостойкость затвердевшего раствора, а также обеспечить его нормальное твердение при отрицательных температурах, были использованы полимерные модификаторы. [6, 53, 54, 57].

Существует две категории порошковых полимерных модификаторов, которые классифицируются В.И. Корнеевым и Л.А. Крашенинниковой [57]:

1. Добавки, влияющие на технологические свойства минеральных смесей должны быть:

- влагоудерживающими;
- регулируемыми реологические показатели: пластификаторы и суперпластификаторы, загущающие и придающие тиксотропность растворам;
- регулируемыми воздухововлечени;
- регулируемыми процесс гидролиза;
- улучшающими прочность сцепления с основанием.

2. Добавки, изменяющие эксплуатационные свойства материала должны:

- снижать усадку растворов при твердении
- улучшать прочностные характеристики (сопротивление сдвигу, прочность на сжатие и изгиб и т.д.);
- повышающие устойчивость к атмосферным воздействиям и морозам;
- изменяющие пористость цементного камня;
- придающие материалу гидрофобные свойства;
- усиливающие адгезию.

В настоящий момент известно множество полимеров и мономеров. При выборе исходных компонентов производители разделяют полимеры на несколько

групп: полимеры с виниловым эфиром и другими мономерами, служащими основой для производства; полимеры с акриловым спиртом, этиленом, винилхлоридом, акрилатом и прочими компонентами. Это стало возможным благодаря тому, что этилен обладает низкой температурой стеклования в сочетании с винилацетатом. Именно эта комбинация дает возможность получать эластичные, гибкие и долговечные сополимеры, которые устойчивы к омылению в среде цементных составов [4, 6, 53, 54, 55, 56, 57, 59].

Кроме того, есть целый ряд полимерных добавок с комплексным действием, которые могут одновременно воздействовать на технологические и эксплуатационные характеристики. ССС с такими добавками, например сложные эфиры целлюлозы или редиспергируемые порошки, являются достаточно распространенными [6]. Данный способ позволяет контролировать технологические и эксплуатационные характеристики сухих строительных смесей путем взаимного порошковых полимерных загустителей (эфиров целлюлозы, поливиниловых спиртов) и редиспергируемых порошков.

На сегодняшний день, в России производится высококачественная сухая строительная смесь. Она включает в себя российские неорганические вяжущие и наполнители, а также полимерные порошковые добавки, которые являются многофункциональными и имеют различные виды использования. Также, в ее состав входит редуцированный полимер из зарубежной поставки.

Замещение полимерных высокотехнологичных добавок зарубежного производства на отечественные представляет собой первоочередную задачу.

1.3.1 Редиспергированные полимерные порошки

Полимерные сухие порошки, которые при смешивании с водой образуют водные дисперсии называются редиспергируемыми полимерными материалами (РПП). При введении РПП совместно в неорганические вяжущие вещества, которые гидратируются и изменяют свои свойства, можно получить сухие строительные (растворные) смеси. При этом основным показателем РПП выступает их воз-

можность быстрого диспергирования в воде. Придать смеси требуемые в процессе эксплуатации свойства необходимые в зависимости от ее назначения и области использования возможно за счет присоединения диспергированных частиц к единой полимерной пленке при гидролизе и гидратации цементных систем [14].

Из-за быстрого редуцирования дисперсных порошков в процессе затворения сухой смеси водой, непосредственно перед тем, как масса выйдет из сопла, их использование в качестве добавок может быть оправдано для использования в составе различного назначения [63, 65].

На сегодняшний день на российском рынке преобладают импортные редиспергируемые порошки, так как качество российских РПП оставляет желать лучшего. Следовательно, российским производителям сухой смеси приходится выбирать между использованием отечественных эфиров целлюлозы низкого качества и приобретением дорогих продуктов тонкой химической промышленности от иностранных производителей. В России цена полимерных загустителей и редиспергируемых порошков, которые используются для создания сухих смесей, составляет 7-10 EUR/кг и 3-4 EUR/ кг соответственно [14].

Как заявляют производители сухих смесей, которые используют полимерные добавки для создания сухих смесей: редиспергируемый порошок является наиболее предпочтительным вариантом.

1. Способствует повышению водоудерживающей способности растворной смеси.
2. Способствует уменьшению испарения с помощью образования пленки.
3. Дополнительное органическое связующее в растворе способствует его упрочнению [14].

Вода, прошедшая через процесс редисперсии порошка, затем поступает на гидратацию минерального вяжущего. При этом она не должна терять свою часть, которая может быть поглощена или впитана основанием. С помощью редиспергируемых порошков можно повысить адгезию и когезию клеев и шпаклевочных материалов, а также их прочность при изгибающих нагрузках. Также они способствуют повышению износостойкости и пластичности материала [53, 54, 59, 60].

По причине наличия у многих строительных материалов пористых поверхностей, которые имеют высокую степень водопоглощения, растворная смесь с добавленным редиспергированным порошком может проникнуть в саму подложку, что позволит обеспечить механическую анкеровку. Таким образом происходит соединение минерального вяжущего с подложкой, в результате чего новообразования внедряются в поры материала [62, 63, 84].

При модифицировании цементных систем эфирами целлюлозы или диспергируемым порошком необходимо обращать внимание на то, что введенная вода будет израсходована на:

- редиспергирование самого порошка;
- для компенсации увеличения вязкости системы.

1.3.2 Полимерные эфиры целлюлозы

Важным компонентом ССС являются сложные гидратированные эфиры целлюлозы, которые являются водоудерживающими добавками. При этом основными свойствами эфиров целлюлозы являются их способность к иммобилизации воды, то есть снижению подвижности свободных молекул воды. При этом можно снизить испарение воды и снизить количество воды, поглощаемое отсасывающим основанием. Это будет повышать степень гидратации цементных систем и увеличивать прочность их сцепления с основанием. Благодаря эфирам целлюлозы улучшаются реологические характеристики растворных смесей, удлиняется жизнеспособность растворных смесей и открытое время работы (промежуток времени между моментом нанесения растворной смеси и образованием на ней корки). Без добавления эфиров целлюлозы в цементно-известково-песчаные растворные смеси сложно достичь их водоудерживающей способности на уровне требуемом стандартом (как правило она ниже 80-85 %), тогда как высококачественные ССС достигают уровня 95-98 %[2, 3, 4].

Однако, при введении эфиров целлюлозы, помимо положительных свойств, могут быть нежелательные эффекты: увеличение необходимого количества воды

затворения, что снижает прочностные показатели цементного композита, приводит к дополнительному воздухововлечению и замедляет процессы гидролиза и гидратации цементных систем [2, 3, 4, 5].

Использование водоудерживающих добавок особенно необходимо при нанесении растворных систем на пористые подложки (например, клеи для плиток, кладочные растворы для монтажа газобетонных блоков, штукатурные растворы и т.д.) и при работе с тонкослойными материалами, которые быстро высыхают (тонкослойные штукатурки, шпаклевки, затирки). Чтобы сохранить влагу в твердеющей системе, рекомендуется применять эфиры целлюлозы с умеренной вязкостью (не более 5500 мПа*с) при создании самовыравнивающихся составов для наливных полов [4].

Сложные эфиры целлюлозы, входящие в состав модифицированных растворов, способны удерживать воду благодаря взаимодействию с межмолекулярными связями. Именно это даёт возможность обеспечить равномерную и полную гидратацию минеральных вяжущих [54, 55, 56]. Соединения целлюлозы имеют способность играть роль скользящего покрытия для воды, в результате чего происходит уменьшение внутреннего трения и сопротивление сдвигу. В результате этого раствор становится более удобным в использовании, особенно если он имеет тонкие слои [53].

При увеличении значения вязкости метилцеллюлозы возрастает и ее способность удерживать воду. Степень дисперсионности влияет на степень растворимости. Как говорят производители компании «Геркулес», в составе добавок метилцеллюлозы содержится достаточная водоудерживающая способность, позволяющая удерживать воду в напольных и плиточных покрытиях, а также в других видах растворных смесях. При этом они уменьшают возможность проникновения воды в основание, на которое нанесена растворная смесь. В связи с высокой устойчивостью к сползанию, добавление большего количества воды в композицию способствует сокращению расхода растворной смеси [2, 5, 54, 55, 66, 67, 14].

Сложные эфиры целлюлозы обладают высокой вязкостно-тиксотропной характеристикой и биологической безвредностью. Улучшение технологических

свойств и использование производных целлюлозы является эффективным способом борьбы с седиментацией, расслоением частиц различной конфигурации и плотности [76, 77].

Тем не менее следует учитывать, что при этом расход воды на затворение может возрасти в 2 раза. Повышение водоцементного отношения приводит к снижению прочности затвердевшего раствора при сжатии. Не исключено, что в меньшей степени будет снижена адгезионная прочность. По факту потери прочности в случае применения минимальных дозировок составляют около нескольких процентов. Высокая прочность при сжатии для большинства растворов не является обязательной, поэтому ее можно сократить с целью минимизации влияния адгезионной прочности на прочность цемента и его использование возможно в тонком слое и на высокопористых подложках [54, 59, 76, 77, 78, 14].

Таким образом:

- сложные эфиры целлюлозы позволяют обеспечить нормальное твердение тонкослойных цементных систем («внутренний уход» в процессе гидратации), особенно при контакте с пористой поверхностью, за счет иммобилизации воды,
- однако за счет высокой водоудерживающей способности МЦ требуется повышенное количество воды, что в свою очередь может привести к снижению прочностных показателей,
- растворная смесь с введенным редиспергированным порошком может проникнуть в саму подложку, так как многие строительные материалы имеют пористую поверхность и обладают при этом высоким водопоглощением, обеспечивая при этом механическую анкеровку,
- для управления технологическими и эксплуатационными показателями сухих строительных смесей возможно совместное применение полимерных загустителей (эфиров целлюлозы, поливиниловых спиртов) и редиспергируемых порошков.

1.4 Причины возникновения трещин в результате пластической усадки в цементных растворах

Первостепенным качеством, которым характеризуется цементная система с армирующими добавками, является их повышенная стойкость к атмосферным воздействиям. Тем не менее, невозможно полностью предотвратить образование микротрещин, поскольку одной из причин является уменьшение количества воды (примерно две трети от общего объема) на начальных этапах схватывания, что ведет к усадке.

По мнению Василик П.Г., Голубева И.В. цементное вяжущее, обладая высокой прочностью на сжатие, имеет сравнительно низкую прочность на растяжение и на изгиб. Для исправления этого недостатка используется много различных способов, одним из которых является армирование цементного камня различными волокнистыми материалами как органического, так и неорганического происхождения [93]. При добавлении в цементную систему армирующего волокна, то возникает множество локальных микроконтактов взаимодействия между волокнами и цементной матрицей, и, таким образом, связующий механизм волокон уменьшает тенденцию к образованию трещин и увеличивает срок службы системы [89, 92].

Наибольшая пластическая усадка происходит в течение первых часов после начала схватывания, что вызывает появление микро- и макротрещин, снижающих прочность раствора. Если в момент эксплуатации произошло повреждение раствора, что привело к образованию трещин, которые являются основными каналами для воздействия атмосферного и химического характера, а также началом его разрушения.

Если поверхность раствора большая, то в результате его пластической усадки могут образовываться трещины. Это может произойти при выполнении работ по созданию самонивелирующихся полов, напольных слоев, а также ремонте.

Повышается прочность и устойчивость сухих строительных смесей, благодаря использованию в качестве связующего волокна [94].

1.5 Волокнистые добавки в сухие смеси

Существует несколько важных моментов при выборе армирующего компонента:

- полиакриловые волокна имеют схожую структуру со стекловолокном, они также могут увеличивать эластичность и прочность композиций. Однако в меньшей степени это происходит с полиэфирными и целлюлозными волокнами. При повышенных температурах (40 °С) полиакриловые волокна имеют преимущество перед стекловолокном, полиэстером и целлюлозой в отношении стойкости к непрерывным деформациям. Только целлюлозные волокна могут помочь в процессе шлифования шпатлевки;
- в процессе приготовления раствора, в котором используются полипропиленовые волокна, происходит их расслоение, что может привести к недостаточной морозостойкости;
- целлюлозные и полиамидные волокна имеют выраженные гидрофильные свойства. Также, полиакриловые волокна имеют некоторые недостатки: они не только обладают небольшой гигроскопичностью, но также имеют свето- и атмосфероустойчивость, уменьшают усталостную прочность, а также имеют высокое сродство с такими материалами как гидрофобные и гидрофильные.

1.5.1 Целлюлозное волокно

Современные технологии позволяют получить из возобновляемого растительного сырья целлюлозное волокно. Данное волокно изготавливают длиной порядка двух мм. После обработки первичные целлюлозные волокна преобразуются в сырье для получения вторичного целлюлозного волокна (или макулатурного волокна) [94, 95, 96, 97, 98].

Вторичное целлюлозное волокно обладает аналогичными свойствами, что и первичное волокно в целом. Самым распространенным методом получения вторичного волокна выступает сухой роспуск вторичного сырья различных сортов

макулатуры. Длина вторичных волокон целлюлозы может быть до 2000 мкм. Диаметр данного волокна изменяется от 0,03 до 0,16 мкм. Эти волокна удерживают и поглощают жидкость. При этом оно не только нерастворимы в воде, кислотах, щелочах и органических веществах, но и обладают высокой устойчивостью к температурам до 225°C. Вода в пространстве между волокнами из целлюлозы не замерзает при температуре до минус 80°C [106, 107, 108, 109, 112].

Целлюлозные волокна TECHNOCEL® – улучшают и оптимизируют:

1. Реологические свойства конечного продукта: вязкость уменьшается по мере увеличения скорости сдвига (закачивание, размешивание, нанесение). И наоборот уменьшение скорости сдвига приводит к повышению вязкости. В состоянии покоя исходное значение вязкости восстанавливается. Загустевание системы зависит от длины волокон: чем больше длина применяемых волокон TECHNOCEL®, тем заметнее эффект загустевания.

2. Однородность конечного продукта: образование межмолекулярных связей системы путем построения волокнистой трехмерной структуры и, в связи с этим, более высокая устойчивость и стабильность системы. Их используют как армирующую добавку при заполнении стыков и щелей (ликвидации зазоров), для заполнения трещин и препятствование их образованию - волокна TECHNOCEL® во многих материалах предотвращают образование микротрещин.

3. Регулярное постоянное выделение влаги в подложку и окружающую среду: меньшее пленкообразование из-за более длительного времени открытой выдержки. Они имеют отличные эксплуатационные характеристики на прочных хорошо поглощающих участках. Пластическое сжатие снижено благодаря регулярному выделению влаги, поэтому уменьшаются такие отрицательные эффекты, как образование усадочных трещин.

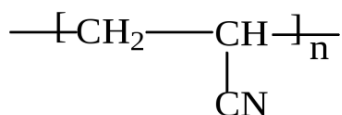
4. Морозостойкость: остаточная влага при помощи TECHNOCEL® связывается в капиллярах волокон, что понижает точку замерзания до –70 °C [113, 114].

В качестве реологической, армирующей и водоудерживающей добавки, абсорбента и наполнителя в различных отраслях используется макулатурное волокно.

1.5.2 Полиакрилонитрильные волокна

Когда нужно создать материалы с минимальными размерами волокон, предпочтительно использовать целлюлозные волокна. Полиакриловые волокна применяются при производстве высокопрочных материалов, таких как технологические напольные покрытия. Эти волокна нашли применение в различных отраслях, например, при производстве ССС, для производства битумных дорожных покрытий, а также при строительстве трасс «Формулы-1» и т.д. [106-112].

Полимер акрилонитрила $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CN})-)_n$, является одним из наиболее распространенных полимеров в промышленности. Его молекулярная масса составляет 30-100 кДа, а плотность составляет 1140-1170 кг/м³. Температура стеклования составляет 85-90 °С, а температура разложения составляет 250 °С. [85, 88, 89].



Продуктами полиакрилонитрильной промышленности являются волокна нитрон (в России), Orlon (DuPont), Dralon (Dralon GmbH) и другие. Их производят из полиакрилоновых волокон, которые содержат в себе акрилонитрил или его сополимеры с другими виниловыми мономерами (метакрилатом, винилацетатом и т.д.). Волокна получают путем смешивания раствора с водой или сухим способом. Нитрон производится в виде штапельного волокна. [86, 88, 90].

При достаточно высокой прочности (разрывное напряжение 250-400 МПа), достигаемой при дополнительном растягивании, и сравнительно большой растяжимости (22-35%) полиакрилонитрильные волокна обладают достаточной прочностью. Эти свойства остаются неизменными во влажном состоянии благодаря низкой гигроскопичности [85, 86, 87, 91]. В связи с высокой светостойкостью, волокна ПАН имеют возможность использоваться в атмосферных условиях. Гидратцеллюлозные волокна полностью разрушаются в результате воздействия солнечных лучей или дыма, а полиакрилонитрильные волокна теряют прочность только на 15%. Наряду с этим, эти волокна обладают высокой термостойкостью. В течение длительного времени при температурах в 120-130 °С они не теряют

своих свойств и не подвергаются деформации [88, 89].

Введение ПАН позволяет:

- снижение выделения воды и отделения наполнителя связано с тем, что трехмерная структура волокон препятствует вертикальным движениям частиц воды и твердого тела в бетоне в свежем состоянии. Также при перемещении волокна способствуют уменьшению вибрации бетона. Это приводит к тому, что у штукатурных материалов значительно снижается риск воздействия атмосферных факторов;
- увеличение тиксотропности, уменьшение водопоглощения и повышение адгезии к вертикальной поверхности особенно важны для шпаклевок, штукатурок и ремонтных растворов [88, 89].

Недостатками полиакрилонитрильных волокон является их низкая гигроскопичность, относительно большая жёсткость и недостаточная устойчивость к истиранию. Природные волокна, входящие в состав волокон ПАН имеют шерстоподобный вид и низкую теплопроводность, которая близка к показателям теплоотдачи шерсти.

Различные способы модификации, такие как синтез сополимеров, соединение привитых сополимерных комплексов или формование из смеси полимеров, используются для изменения свойств волокон. По результатам модификации увеличивается гидрофильность, эластичность волокон и их устойчивость к истиранию, а также многократным деформациям [85, 86, 87, 91].

Физические свойства волокон приведены в таблице 1.2. Анализ таблицы показывает высокую эффективность полиакрилонитрильных волокон, которые предотвращают появление трещин возникающих при усадочных деформациях в штукатурке при относительной влажности 39 %, температуре около 45 °С и скорости ветра 40 км/ч [92].

Таблица 1.2 – Физические свойства волокон (по литературным данным)

Наименование волокна	Средняя плотность, кг/м ³	Диаметр, мкм	Модуль упругости, ГПа	Прочность, МПа	Коэффици- ент удлине- ния, %	Точка плавлe- ния, °C/°F	Температура стеклования, °C/°F
Полиакрилонит- рильное волокно	1180	16	20,0	900	10,0	330/626	110/230
Стекловолокно	2550	50	88,0	2000-3500	3,0	1000/1832	500/932
Целлюлозное во- локно	500-1500	100	1,8-4,3	20-200	0,8-4,0	200/392	20/68
Нейлоновое во- локно	1230	30	0,6-5,5	300-700	5,0-70,0	215/419	40/104
Стальная фибра	7800	1000	200,0	2000	1,5	1550/2822	-
Асбестовое во- локно	2500	800	160,0	3000	0,5	1450/2642	-

1.5.3. Базальтовая фибра

В составе строительных материалов, которые основаны на цементной основе, используется базальтовая фибра, представляющая собой короткие фрагменты волокон, которые используются для создания дисперсного армирования. Волокно выпускается длиной, в зависимости от его диаметра, до 600 мкм. Базальтовая фибра изготавливается путем вытягивания ее из расплава базальтовых горных пород, который получается при нагревании до температуры более 1500 °C [99, 105].

Получение базальтовых волокон осуществляется через плавление базальта в плавильных печах и свободный выход расплава из них с использованием устройств, выполненных из платины или жаростойкого металла.

В качестве исходного сырья для этих волокон используются базальтовые горные породы, средний химический состав которых следующий (% по массе): SiO₂ 47,5-55,0; TiO₂ 1,36-2,0; Al₂O₃ 14,0-20,0; Fe₂O₃ + FeO 5,38-13,5; MnO 0,25-0,5; MgO 3,0-8,5; CaO 7-11,0; Na₂O 2,7-7,5; K₂O 2,5-7,5; P₂O₅ не более 0,5; SO₃ не более 0,5; прочие оксиды не более 5.

Базальтовое волокно обладает высокой химической стойкостью, абсолютной водостойкостью, высокой стойкостью к щелочам (до 97 %) и к кислотам (до 93 %). Прочность на растяжение волокна имеет прочность до 3500 МПа [99 - 105].

Введение базальтового волокна повышает:

- ударную прочность - до 500 %;
- стойкость к истиранию - до 300 %;
- прочность на растяжение при изгибе - до 300 %, на раскалывание - до 200 %, сжатие - до 150 %, по осевому растяжению - до 150 %;
- трещиностойкость - до 250;
- морозостойкость - до 200 %;
- коррозионную стойкость - до 500 %;
- кавитационную стойкость - до 400 %;
- водонепроницаемость - до 150 % [99, 105].

При строительстве сейсмостойких сооружений, военных укреплений и взрывобезопасных объектов целесообразно вводить в цементные системы базальтовую фибру, которая увеличивает прочность на растяжение в три раза и ударную прочность в пять раз. Особенности базальтовой фибры позволяют использовать ее для создания радиопрозрачных конструкций сложной формы [99 - 105].

Отсутствие усадочных трещин и трещин напряжения, отсутствие даже незначительного уменьшения усадки, в период схватывания смеси и во время всего периода твердения показывают целесообразность введения данного волокна в качестве армирующего компонента в цементные системы, как сухие, так и готовые к использованию [99 - 103]. Опыт применения базальтовой фибры различными компаниями в России и Казахстане показал, что вводить ее можно любым из следующих способов:

1. волокно подается в смеситель в сухую смесь вяжущего вещества и добавок перед добавлением воды. Для более качественного распределения волокон необходимо засыпать фибру частями в заполнитель во время перемешивания.

2. волокно подается в смеситель небольшими порциями в растворную смесь.

Применение первого способа позволяет добиться более однородного распределения фибры в цементных системах [101, 103].

На данный момент в процессе внедрения армирования цементных конгломератов волокнами (стеклянными, полимерными, металлическими) существуют некоторые проблемы. Так, стеклянное волокно имеет низкую химическую стойкость в среде цементной системы, дефицит металлической фибры и высокую стоимость синтетических волокон при их низкой эффективности [100, 104].

Фибра из полипропилена и стекла по своим характеристикам значительно уступает базальтовой. В число основных их недостатков входят следующие:

- высокая деформативность даже при небольших нагрузках на изгиб и растяжение;
- быстрое старение, то есть утрата свойств с течением времени;
- горючесть при воздействии открытого пламени [101, 104].

Таким образом:

- в первые часы после начала схватывания, когда происходит процесс пластической усадки, образуются микро- и макротрещины, которые приводят к снижению эксплуатационных характеристик раствора;
- введение в матрицу армирующего волокна приводит к возникновению множества локальных микроконтактов взаимодействия между волокнами и цементной матрицей, и, таким образом, связующий механизм волокон уменьшает тенденцию к образованию трещин;
- при выборе волокон необходимо учитывать их природу и физико-механические показатели.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аналитическое изучение открытых источников подтверждает высокую актуальность разработки отделочных растворов, предназначенных для работы в особых условиях. Эти растворы должны обладать высокой адгезией, низким водопоглощением, высоким водоотталкивающим эффектом, высокой паропрони-

цаемостью, износостойкостью, трещиностойкостью, стойкостью к ударным нагрузкам и низкой усадкой. С целью обеспечения этих требований, в сухую строительную смесь могут быть добавлены модифицирующие добавки.

В настоящее время существуют полимерные добавки, которые способны одновременно воздействовать на технологические и эксплуатационные показатели. Эти добавки включают в себя сложные эфиры целлюлозы, диспергируемые порошки, а также другие. Однако до конца не изучена возможность управления технологическими и эксплуатационными показателями сухих строительных смесей при введении полимеров. Важной задачей является использование в технологии производства ССС отечественных полимерных добавок.

Введение алюминий-содержащих добавок в искусственные конгломераты, которые основаны на портландцементе, может повысить их прочность.

Соответственно, были поставлены следующие цели и задачи исследования.

Цель работы – разработка научно-обоснованного технологического решения, позволяющего получить и оптимизировать сухие цементные напольные смеси с улучшенными технологическими свойствами растворных смесей и эксплуатационными свойствами растворов, используя модифицирующие добавки.

Задачи исследований:

- провести анализ влияния вида и количества алюминий-содержащих добавок (оксид и гидроксид алюминия) на ускорение и упрочнение цементных систем путем изменения фазового состава и микроструктуры цементного камня;
- определить изменения технологических свойств растворных смесей и эксплуатационных свойств раствора от вида и содержания модифицирующих добавок (упрочняющих, армирующих, пластифицирующих, водоредуцирующих и водоудерживающих) в составе сухой смеси напольной (ССН);
- установить механизм формирования структуры цементных систем с использованием модифицирующих добавок;
- разработать технологические решения, обеспечивающие получение ССН на основе портландцемента с улучшенными эксплуатационными характеристиками;

- разработать составы напольных ССС с улучшенными характеристиками и повышенной экономической эффективностью с разработкой нормативно-технической документацией для промышленного производства;
- провести проверку результатов исследования в опытно-промышленных условиях.

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Методы исследования

Характеристики сырьевых компонентов, сухой и растворной смеси, а также раствора исследовались с использованием стандартных методов определения свойств строительных материалов. Структура и свойства цементных систем исследовались с помощью комплексного термического, рентгенофазового анализов и ртутной порометрии. При исследовании влияния алюминий-содержащих добавок на цементные системы применялся метод электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО).

На рисунке 2.1 представлена структурно-методологическая схема проведения исследований.

2.1.1 Методы испытания портландцемента

В таблице 2.1 приведены методы испытания портландцемента согласно нормативной документации.

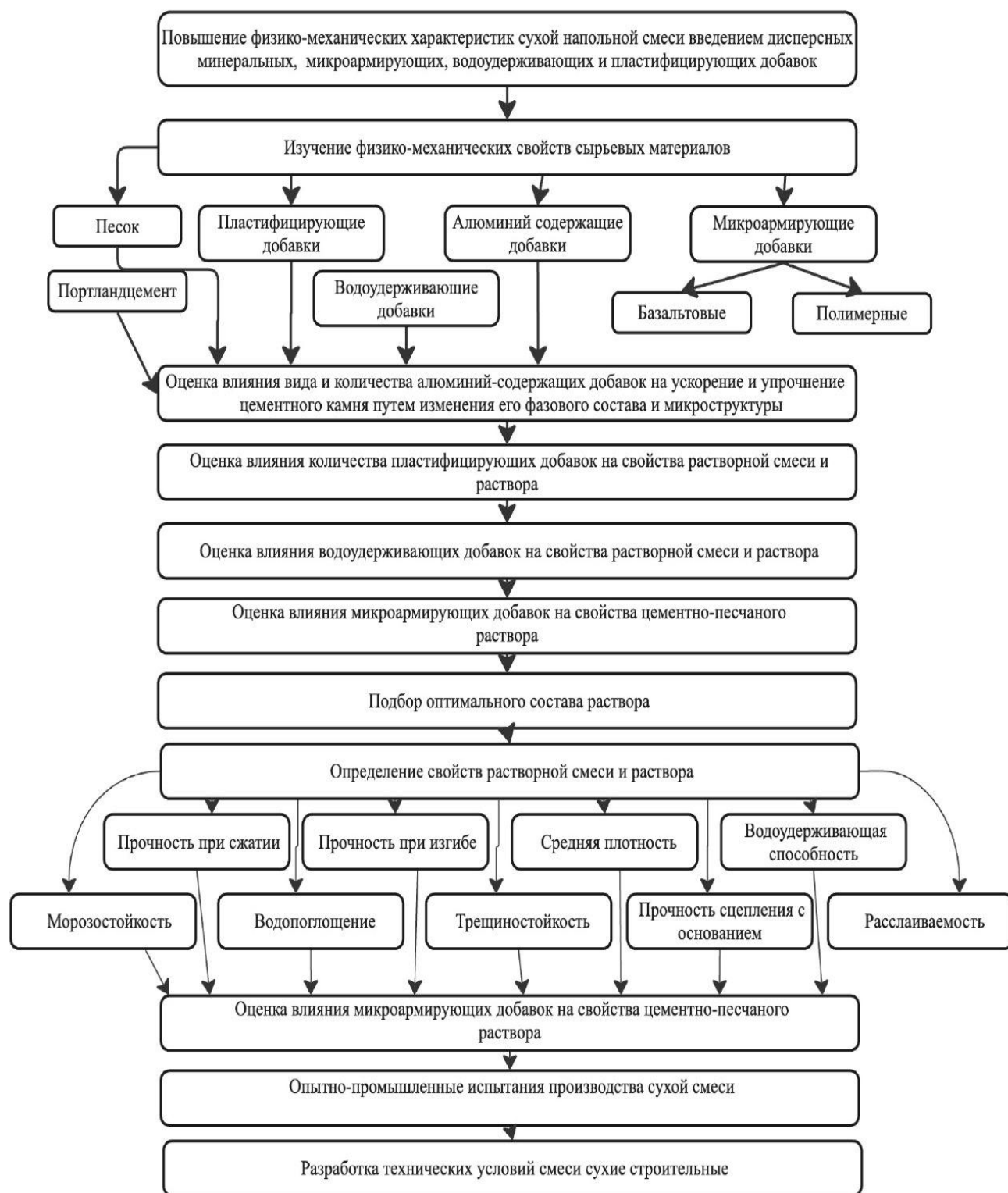


Рисунок 2.1 – Структурно-методологическая схема проведения исследований

Таблица 2.1 – Методы испытаний портландцемента

№ п.п	Наименования показателя	Метод испытания
1	Класс по прочности на сжатие (марка) - предел прочности при изгибе в возрасте 28 суток - предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток	ГОСТ 30744 -2001
2	Тонкость помола, остаток на сите № 008	
3	Нормальная густота	
4	Сроки схватывания	
5	Равномерность изменения объема	

2.1.2 Методы испытания сухой растворной смеси

В таблице 2.2 приведены методы испытаний и основные показатели для испытаний сухой строительной смеси, растворной смеси и затвердевшего раствора.

Таблица 2.2 – Методы испытаний сухой смеси

№ п.п	Наименования показателя	Метод испытания
<i>Для сухих смесей</i>		
1	Влажность сухой смеси, % по массе	ГОСТ 8735-88
2	Насыпная плотность сухой смеси, кг/м ³	ГОСТ 8735-88
<i>Для растворных смесей</i>		
1	Плотность растворной смеси, кг/м ³	ГОСТ 5802-86
2	Подвижность растворной смеси (погружение конуса), см	ГОСТ 5802-86
3	Сохраняемость первоначальной подвижности	ГОСТ 5802-86
4	Водоудерживающая способность растворной смеси, %	ГОСТ Р 58277-2018
5	Расслаиваемость растворной смеси, %	ГОСТ 5802-86
6	Стойкость к образованию трещин	ГОСТ 33083-2014
<i>Для затвердевшего раствора</i>		
1	Средняя плотность затвердевшего раствора, кг/м ³	ГОСТ 5802-86
2	Прочность на сжатие затвердевшего раствора, МПа	ГОСТ 5802-86
3	Прочность на растяжение при изгибе затвердевшего раствора, МПа	ГОСТ 310.4-81
4	Прочность сцепления при отрыве от основания, МПа	ГОСТ Р 58277-2018
5	Морозостойкость, циклы	ГОСТ Р 58277-2018
6	Морозостойкость контактной зоны, циклы	ГОСТ Р 58277-2018

2.1.3 Методы испытаний гидратной извести

Таблица 2.3 – Свойства гидратной извести

№ п/п	Наименование показателя	Метод испытания
1	Влажность, %	ГОСТ 22688-2018
2	Содержание активных CaO + MgO, %	
3	Содержание активного MgO, %	
4	Количество CO ₂ , %	
5	Количество непогасившихся зерен, %	
6	Равномерность изменения объема	ГОСТ 310.3-76

2.1.4 Комплексный термический анализ

В процессе исследования использовался дифференциальный термический анализатор DTG60H производства фирмы «Shimadzu», Япония. Тепловой режим прибора имеет диапазон от 30 до 1000 °С. Скорость подъема температуры составляла 10 градусов за минуту. Уровень точности измерения термометров не превышал ±1 мкг. Навеска бралась массой 50 мг. Для проведения всех расчетов, было использовано специальное программное обеспечение NETZSCH от фирмы Proteus [115].

2.1.5 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ использовался для получения точной информации о фазовом составе кристаллогидратов модифицированных цементных систем и контрольного состава [116].

Исследования проводили с помощью порошковой дифрактометрической системы ДРОН-4М, используя для этого метод порошковой дисперсии в области углов 2θ от 5 до 85° (Ni-фильтр, детектор сцинтилляционный с амплитудной дис-

криминацией, щели Соллера на первичном и отраженном пучках имеют значение $2,5^\circ$). Шаг сканирования углов составлял $0,03^\circ$. Время накопления в точке 1 с (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Внешний вид прибора ДРОН 4М

Съемку вели на кобальт – $\text{CuK}\alpha$ излучении с фокусировкой по Бреггу – Брентано. Ускоряющее напряжение составляло 35 кВ, ток рентгеновской трубки – 15 мА. Образец запрессовывали в кювету диаметром 20 мм. Расшифровку рентгеновских спектров проводили с помощью картотеки.

2.1.6 Лазерная гранулометрия

В работе использовался лазерный анализатор дисперсности типа PRO-7000 компании Seishin Enterprise Co., LTD, Tokyo. Прибор определяет размеры частиц в диапазоне от 1 до 192 микрометров по 16 интервалам значений. Результатом являются данные 320 непрерывных измерений, выполняемых фотоанализаторами в течение 30 секунд, что обеспечивает высокую точность и воспроизводимость измерений [117 - 120].

2.1.7 Электронная микроскопия

В целях исследования структуры поверхности образцов цементного камня, был использован сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM 1000 производства компании Hitachi Science Systems Ltd.

Прибор имеет следующие технические характеристики:

- ускоряющее напряжение - 15 кВ (неизменное);
- степень увеличения от 20 до 10000;
- максимальная просматриваемая область: 3,5 мм (квадратная);
- размер образца - менее 70 мм (диаметр), толщина образца - менее 20 мм;
- размер запоминаемого кадра - 1280x960, 640x480;
- вакуумная система: предварительная откачка - диафрагменный насос ($1 \text{ м}^3/\text{час}$); рабочий вакуум - турбомолекулярный насос (30 л/сек).

2.1.8 Ртутная порометрия

Для изучения поровой структуры цементных систем применялся метод ртутной порометрии. При этом изучались: макро- (V_{ma} , S_{ma}) и мезопор (V_{me} , S_{me}) в исследуемом образце [121].

Показатели структуры образцов исследовались при помощи автоматического ртутного поромера (порозиметра) AutoPore IV 9520, который управляется персональным компьютером. В данной серии ртутных поромеров используются диапазоны измерения размеров пор от 3,7 до 7500 нм. В целях определения объема вдавленной ртути, которая была обнаружена в поромере, была использована электроемкостная система регистрации. С помощью специальной приставки, которая была заполнена ртутью, можно было проводить эту операцию в условиях вакуумирования, что исключало неполное удаление воздуха из образцового материала до проведения испытания. Угол смачивания и значение поверхностного натяжения ртути были определены следующим образом: $\sigma = 480 \text{ мН/м}$; $\Theta = 141,3^\circ$. Данные параметры были получены при помощи специальной программы Milestone-100-software фирмы Fisons.

2.1.9 Метод определения растворимости полимера

Для определения способности полимеров к растворению в воде использовали значения рН 6-7 и рН 10-12. Методика, которую использовали, заключалась в следующем. При медленном добавлении полимерного порошка в количестве 0,1%

от массы воды, он постепенно перемещался в воронку, образованную на поверхности быстро смешиваемой жидкости. Для того, чтобы обеспечить условия для отделения частиц друг от друга, скорость добавления должна быть небольшой, так как это может предотвратить образование комочков, но при этом не настолько маленькой, чтобы раствор не стал густым после того, как в него добавят всю порцию порошка. После этого раствор перемещался в течение пяти минут, при этом постоянно помешивая. Наблюдается визуальное увеличение растворимости полимера в воде после его смешивания. Считается, что полимер можно растворить в воде при условии отсутствия видимых частиц в растворе. Это означает что полимер растворился. С момента контакта полимера с водой до полного его растворения, данный промежуток времени считался временем, в течение которого полимер способен раствориться.

2.1.10 Электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО)

Электронные спектры диффузного отражения (ЭСДО) регистрировались на спектрофотометре UV-2501 PC компании «Shimadzu» с приставкой диффузного отражения ISR-240 A. Образец в виде порошка помещался в кварцевую кювету с длиной оптического пути 2 мм. Спектры записывались относительно стандарта отражения – BaSO_4 в диапазоне 190-900 нм (11 000–53 000 см^{-1}). Зарегистрированные коэффициенты отражения переводили в коэффициенты поглощения, а длины волн – в волновые числа. Конечные данные ЭСДО представлены в координатах: функция Кубелки – Мунка $F(R)$ – волновое число.

Сложность анализа методом ЭСДО состоит только в правильном разделении полос поглощения многокомпонентных систем, при этом перекрывающихся в видимом и ультрафиолетовых диапазонах (УФ диапазонах). В таком случае при интерпретации спектров поглощения сложных многокомпонентных систем после каждого модифицирования кислородсодержащей системы требуется зарегистрировать спектр ЭСДО эталона, которым будет являться образец до этого (очередного) модифицирования, и проследить весь путь изменения спектров ЭСДО от

первого этапа модифицирования образца до последнего.

2.2 Характеристика используемых материалов

В работе применялись следующие материалы: портландцемент, песок, добавки ускорители, микроармирующие добавки (полимерные, целлюлозные и базальтовые волокна), пластифицирующие добавки (известь), полимерные добавки (метилцеллюлоза и редиспергируемый порошок). Ниже приведены исследования по определению основных характеристик изучаемых сырьевых материалов.

2.2.1 Портландцемент

В работе исследован портландцемент типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5 производства ОАО «Искитимцемент» (НСО). Основные физико-механические свойства портландцемента приведены в таблице 2.4. Химический и минералогический состав клинкера приведены в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.4 – Основные физико-механические свойства портландцемента

Наименование физико-механических свойств	Значение показателя
Нормальная плотность, %	25,6
Тонкость помола, остаток на сите № 008, %	7
Сроки схватывания, ч:мин: - начало - конец	2:39 5:03
Класс по прочности на сжатие, МПа - предел прочности при сжатии в возрасте 2 суток - предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток	42,5 18,4 48,7
Равномерность изменения объема, наличие на лицевой стороне лепешек: - трещин радиальных, доходящих до краев, - трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу - искривлений - увеличения объема лепешки	отсутствие трещин отсутствие трещин 1 объем не увеличивается
Признаки ложного схватывания	ложное схватывание отсутствует

Таблица 2.5 – Минералогический состав портландцементного клинкера, % мас.

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaO_{своб}$
60	16	7,3	14	0,15

Таблица 2.6 – Химический состав портландцементного клинкера, % мас.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п.п.п.
20,7	6,3	4,6	65,4	1,3	0,4	0,5

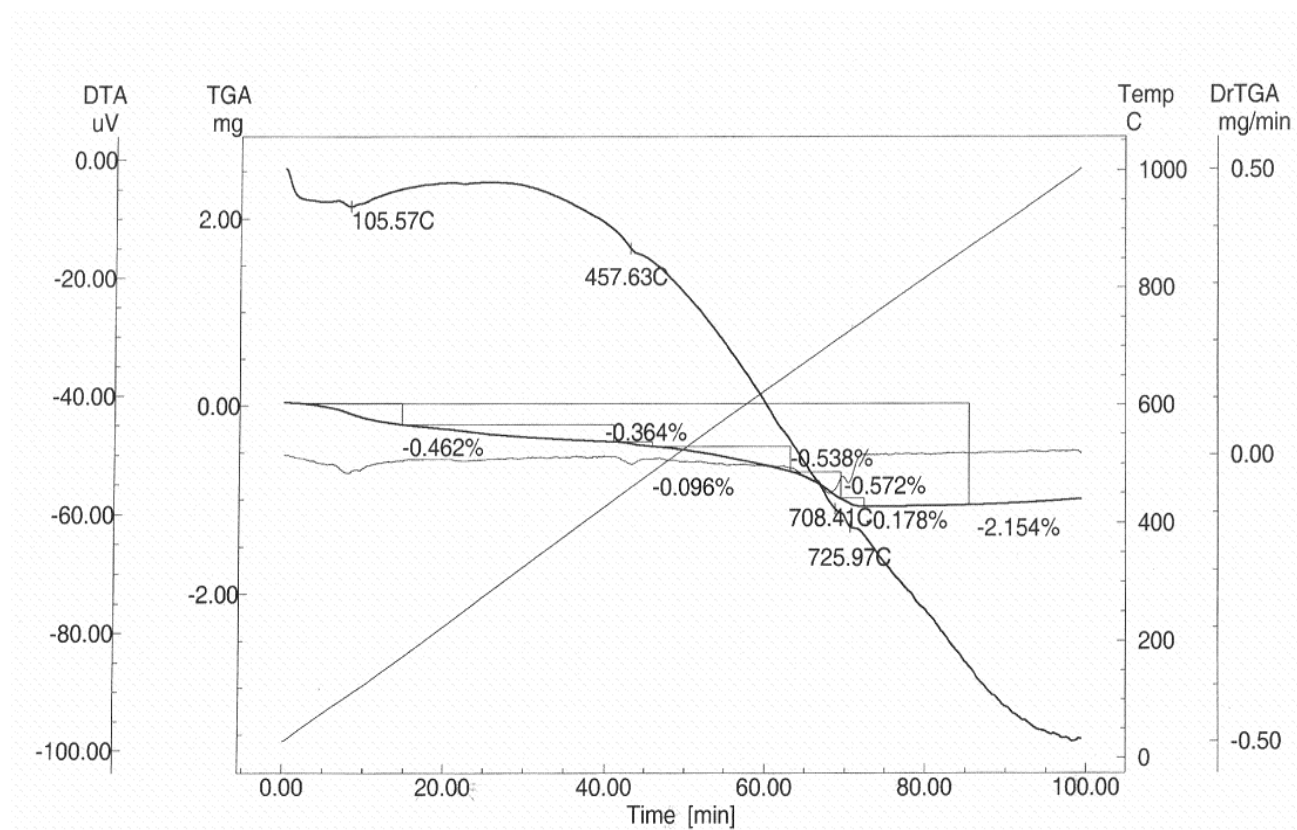


Рисунок 2.4 – Результаты термического исследования портландцемента

Анализ кривых комплексного термического анализа показал:

- первый эндоэффект показывает удаление влаги из гипсового камня, входящего в состав портландцемента, при этом потеря массы имеет малое значение и составляет 0,46 %.

- второй эндоэффект при температуре 457,6 °C свидетельствует о разложении продуктов гидратации (гидросиликатов, гидроалюминатов). Потеря массы в данном случае составляет 0,36 %, что говорит о том, что подтверждает в портландцементе наличие небольшое количество гидратных новообразований. Согласно этому следует, что условия и продолжительность его хранения соответствовали требованиям стандарта.

- при температуре 726 °C, которая является третьим эндоэффектом, при разложении карбоната кальция, происходит уменьшение массы, что составляет 1,38 %. Следовательно, потери массы составили 2.15% и это является подтверждением малой гидратации и карбонизации цемента, а также подтверждает соблюдение норм по срокам и условиям хранения.

Таблица 2.7 – Данные результата комплексного термического анализа

Номер эндозффекта						Потеря массы в интервале 120– 464 °C, %	Общая потеря мас- сы, %
1		2		3			
T, °C	Δm, %	T, °C	Δm, %	T, °C	Δm, %		
105,6	0,46	457,6	0,36	726	1,38	0,83	2,15

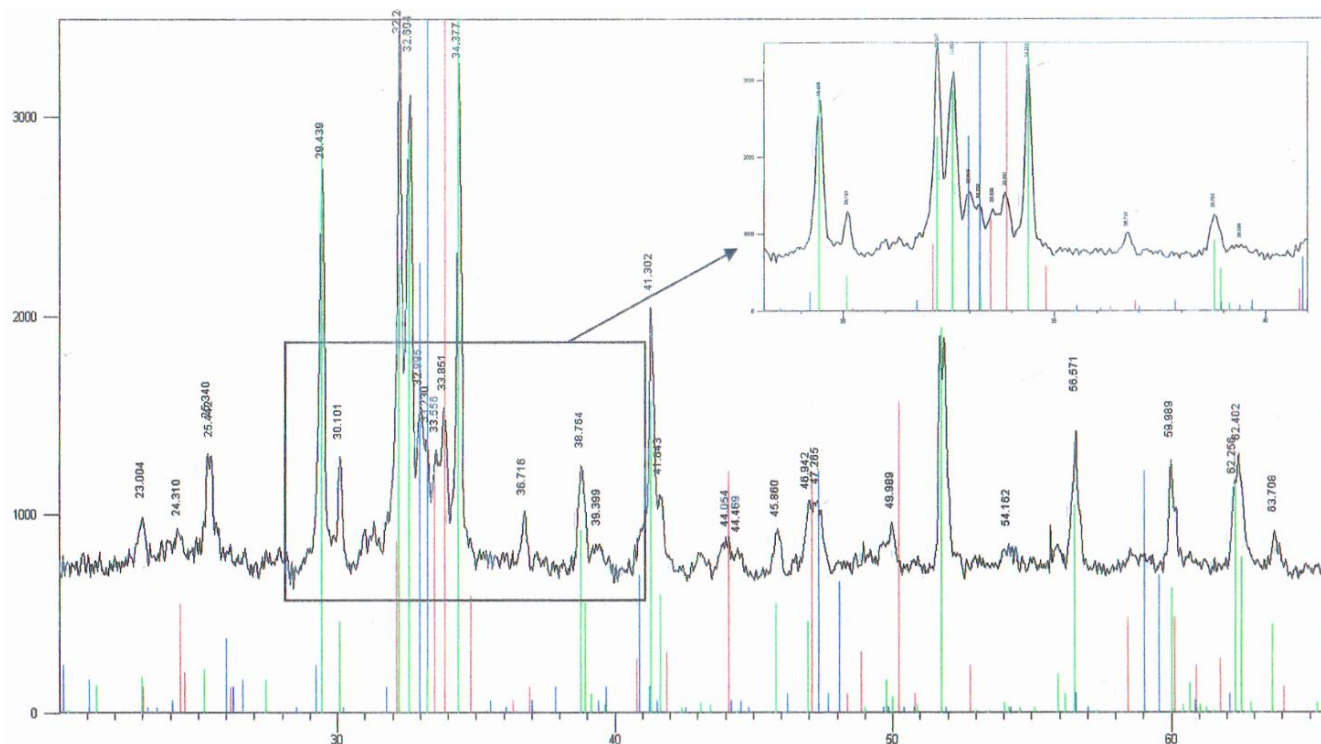


Рисунок 2.5 – Дифрактограмма портландцемента. На увеличении выделен фрагмент дифрактограммы. Вертикальными линиями показано положение Ca_3SiO_5 (зеленый), $\text{Al}_2\text{Ca}_3\text{O}_6$ (синий), браунмиллерит (красный)

2.2.2 Мелкий заполнитель

Испытания песка проводили согласно требованиям ГОСТ 8735-88.

В работе применялся кварцевый песок, производства ОАО «Камнереченский каменный карьер». Песок производится на дочерних предприятиях ЗАО «НерудЗапсиб» в соответствии с требованиями ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия».

Величина естественной влажности составляет 6-7 % для производимого песка. Истинная плотность зерен песка 2650 кг/м^3 . Насыпная плотность песка со-

ставляла 1400 кг/м³. Содержание илистых, глинистых и пылевидных примесей составляло 3,5 %, в песке отсутствовала глина в комках, что удовлетворяло требованиям ГОСТ.

2.2.3 Алюминий содержащие добавки

В качестве алюминий-содержащих добавок в работе использованы оксид и гидроксид алюминия ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$) производства АО «Микроинтек» (табл. 2).

Таблица 1 – Химический состав портландцемента, % мас.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п.п.п.
20,7	6,3	4,6	65,4	1,3	0,4	0,5

Таблица 2 – Химический состав алюминий-содержащих добавок, % мас.

	$\text{Al}(\text{OH})_3$	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в пересчете на Na_2O	П.п.п. 800°C в течение 60 мин
$\text{Al}(\text{OH})_3$	99,5	-	0,035	0,030	0,4	34,5
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	-	73÷74	0,015	0,030	0,35 ÷ 0,40	25,0

2.2.4 Микроармирующие добавки

Полиакрилонитриловые волокна Ricem

Полиакрилонитриловые волокна (ПАН) имеют бобовидную форму поперечного сечения (рисунок 2.9) и очень шероховатую поверхность благодаря технологии мокрого прядения [8], площадь сечения 530 мкм². Свойства ПАН волокна приведены в таблице 2.9.

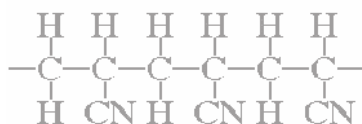


Рисунок 2.8 – Структура молекулы полиакрилонитрила

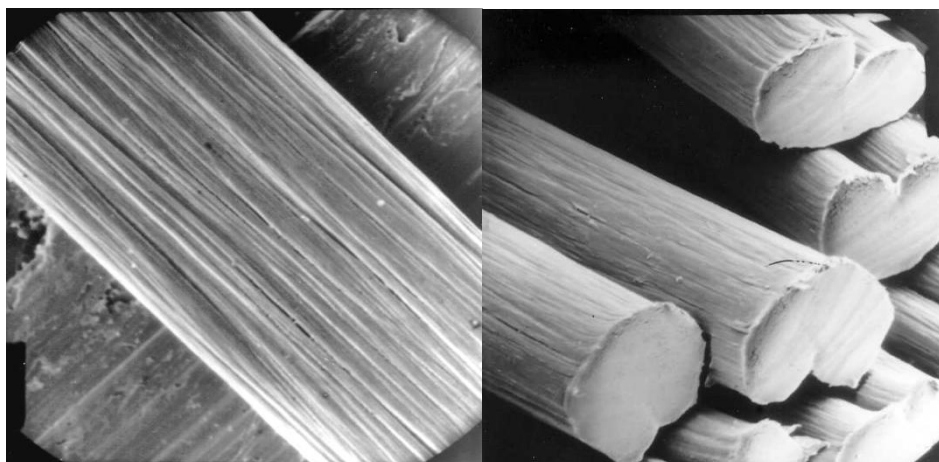


Рисунок 2.9 – Поперечное сечение волокна и его поверхность под электронным микроскопом.

Таблица 2.9 – Свойства полиакрилонитрильного волокна (по данным производителя)

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	2	3
1	Плотность, кг/м ³	1170
2	Диаметр волокна, мкм	20,8 ± 0,2
3	Длина (мм)	4-12
4	Прочность при растяжении, МПа	226
5	Относительное удлинение при разрыве, %	43,9
6	Относительная прочность во влажном состоянии, %	90 - 98

1	2	3
7	Гигроскопичность (при 20 °С и 60% относительной влажности), %	1,0
8	Водопоглощение, %	1 - 2
9	Температура плавления, °С	250
10	Рекомендуемая дозировка /цемент (кг/м ³)	0,5-0,8
11	Рекомендуемая дозировка/раствор (кг/м ³)	0,8-3,0
12	Устойчивость: -к кислотам -щелочам -органическим растворителям	очень хорошая умеренная очень хорошая

Целлюлозные волокна

Целлюлозные волокна TECHNOCEL® изготовлены из технической целлюлозы, в основе которой лежит переработанная древесина. Длина волокон может составлять от < 20 мкм до 2500 мкм (у исследуемых волокон – 500 мкм), диаметр волокон – 25 мкм.

Молекула целлюлозы – это длинноцепной полисахарид, состоящий из гликозидных остатков (n – указывает на большое число таких остатков), связанных между собой эфирными мостиками (1, 4 – β-глюкозидными связями) [9].

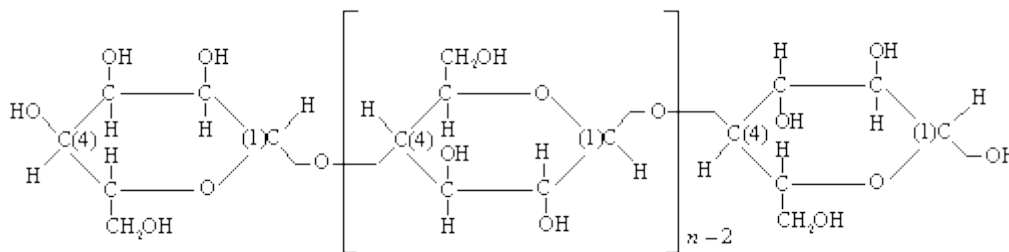


Рисунок 2.10 – Структура молекулы целлюлозы.

Волокна TECHNOCEL® не растворимы в воде и маслах и, следовательно, несравнимы с водорастворимыми производными целлюлозы, такими как карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), инертны по отношению к кислотам и основаниям, зна-

чение pH которых находится в пределах от 4 до 12, физиологически и токсикологически безопасны. Обладают высокой морозостойкостью, так как вода, замерзает при температуре минус 70 °С в случае попадания в капиллярную систему волокон целлюлозы. Волокна обладают ярко выраженными гидрофильными свойствами.

Характеристики волокон представлены в табл. 2.10. Внешний вид волокна представлен на рисунке 2.11, микроструктура (по литературным источникам) – на рисунке 2.12.



Рисунок 2.11 – Внешний вид целлюлозного волокна

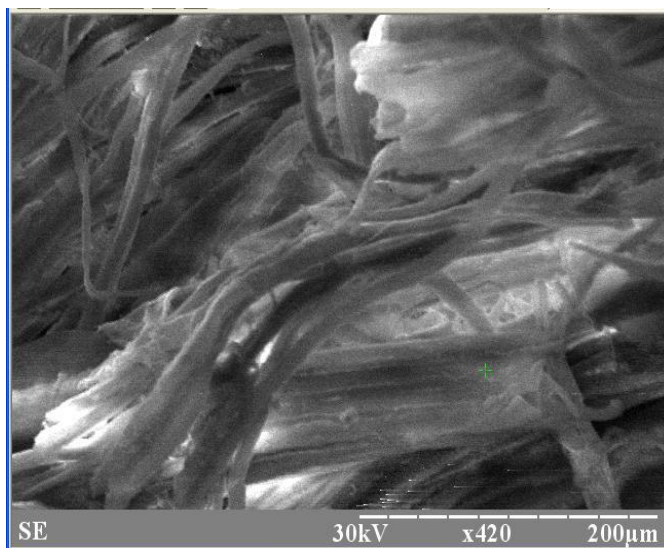


Рисунок 2.12 – Микроструктура целлюлозного волокна

Таблица 2.10 – Свойства целлюлозных волокон TECHNOCEL (по данным производителя)

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Плотность, кг/м ³	1300
2	Насыпная плотность, кг/м ³	120
3	Длина волокна, мкм	500
4	Диаметр волокна, мкм	25
5	Влажность, %	4,5
6	Растворимость: - в воде - в органической среде - в разведенных растворах кислот и щелочей	не растворимы не растворимы не растворимы
7	Температурная стойкость, °С	до 200
8	Используемая концентрация в штукатурные смеси, % по массе	0,1 – 0,8

Базальтовые волокна

Базальтовые горные породы используются для производства базальтовых волокон, средний химический состав которых следующий (% по массе): SiO₂ 47,5-55,0; TiO₂ 1,36-2,0; Al₂O₃ 14,0-20,0; Fe₂O₃ + FeO 5,38-13,5; MnO 0,25-0,5; MgO 3,0-8,5; CaO 7-11,0; Na₂O 2,7-7,5; K₂O 2,5-7,5; P₂O₅ не более 0,5; SO₃ не более 0,5; прочие породы не более 5.

В работе использовалась базальтовая фибра (ТУ 5752-002-91341008-2012) из базальта Аргаяшского месторождения. Внешний вид волокна микроструктура (по литературным источникам) [122] представлены на рисунке 2.13. Технические характеристики базальтовой фибры представлены в таблице 2.11.

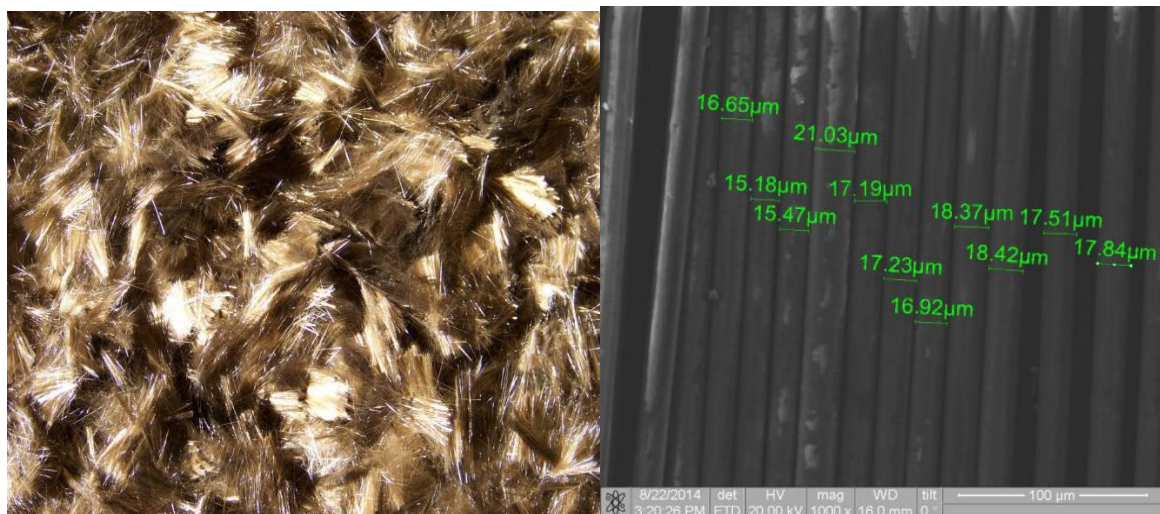


Рисунок 2.13 – Внешний вид и микроструктура базальтовой фибры.

Таблица 2.11 – Свойства базальтовой фибры (по данным производителя)

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Плотность, кг/м ³	2600
2	Прочность на растяжение, МПа	3500
3	Длина волокна, мкм	10 ± 1,5
4	Диаметр волокна, мкм	17 ± 1
5	Влажность, %	2
6	Коэффициент удлинения, %	3,2
7	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*°C)	0,034
8	Температура применения, °C	от минус 260 до плюс 700
9	Химическая стойкость, %: - к воде - к щелочи - к кислоте	100 96 94
10	Модуль упругости, ГПа	52
11	Рекомендуемая дозировка в штукатурные смеси, % по массе	0,4 – 0,6

2.2.5 Пластифицирующая добавка

В сухих строительных смесях для штукатурок в качестве одного из минеральных вяжущих и пластифицирующей добавки используют гидравлическую известь. Кроме того, гидравлическая известь обладает высокой водоудерживающей способностью, составляющей 95 %.

В работе использовалась гидравлическая известь ОАО «Искитимизвесть», г. Искитим. Свойства извести представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Свойства гидравлической извести

Наименование показателя	Значение показателя
Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, %	70
Содержание активного MgO , %	-
Количество CO_2 , %	2,5
Количество не погасившихся зерен, %	-
Наличие радиальных трещин, доходящих до краев лепешки	трещины отсутствуют
Наличие на лепешке сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу,	трещины отсутствуют
Наличие искривлений лепешки	1
Увеличения объема лепешки	объем не увеличивается
Влажность, %	3

2.2.6 Водорастворимые и водонабухаемые порошковые полимеры

В работе использовалась метилцеллюлоза, производства ООО «Усольехимпром» (Иркутская область) и редиспергируемый в воде порошок на основе сополимера винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты – производитель ООО «Кубань полимер».

В качестве водорастворимой добавки в работе использовалась метилцеллюлоза. Метилцеллюлоза марки МЦ-С (ТУ 2231-107-05742755-96) производства ООО

«Усольехимпром» (Иркутская область) представляет собой метиловый эфир целлюлозы. Это волокнистый материал белого цвета с желтоватым оттенком, длиной волокон 0,2-25,0 мм и толщиной 8,0 -13 мкм.

В таблице 2.13 технические характеристики МЦ-с и МЦ-в согласно данным завода-изготовителя.

Таблица 2.13 – Технические характеристики эфиров метилцеллюлозы

№ п/п	Наименование показателя	Вид метилцеллюлозы	
		МЦ-с	МЦ-в
1	Динамическая вязкость раствора с массовой долей 1,0 %, Па-с	более 0,08	более 0,25
2	Массовая доля метоксильных групп, %	26 - 33	-
3	Растворимость в воде, %	не менее 95	не менее 92
4	Массовая доля золы, %	не менее 2,0	не менее 8,0
5	Массовая доля влаги, % не более	не более 6,0	не более 6,0
6	Время растворения, час	не более 1,0	не более 1,0
7	рН раствора	нейтральный	нейтральный

Исходя из лучшей растворимости была использована метилцеллюлоза строительная МЦ-с ТУ 2231-107-05742755-96.

Порошки, которые называют **редиспергируемые**, представляют собой дисперсии, которые были высушены при помощи распыления. Они образуют дисперсию, которая имеет характеристики аналогичную исходной. При смешивании воды и их компонентов получают дисперсию с устойчивыми характеристиками. В настоящее время одним из немногих российских производителей редиспергируемых полимерных порошков является компания «Кубань-Полимер», которая производит порошок REPOL.

Порошок Repol – это редиспергируемый в воде порошок на основе сополимера винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты, содержащий поливиниловый спирт в качестве защитного коллоида. Чаще всего применяют порошки REPOL S-35 и REPOL S-51, которые могут быть использованы для производ-

ства полимер-модифицированных сухих строительных смесей на основе минеральных вяжущих, таких как цемент, известь или гипс. Технические характеристики REPOL S-51 приведены в таблице 2.14.

Порошок Repol улучшает адгезию, повышает прочность на изгиб, эластичность, абразивную устойчивость и пластичность раствора.

Таблица 2.14 – Технические характеристики REPOL S-51

Полимерная основа:	Сополимер винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты
Внешний вид:	Белый сыпучий порошок
Остаточная влажность, %	1,5
Насыпная плотность, кг/м ³	520
Зольность, %, не более	12
рН	7,0 – 9,0
Вязкость 50 % восстановленной дисперсии, мПа*с:	110-1100 (по данным производителя)
Минимальная температура пленкообразования MFFT, °C	+ 5 (по данным производителя)

2.2.7 Вода затворения

Для проведения экспериментов использовалась водопроводная вода, соответствующая требованиям ГОСТ 23732-2011.

ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ

3.1 Влияние крупности песка на прочность раствора

Для оценки влияния крупности песка на прочностные характеристики цементно-песчаного раствора формовались образцы балочки размером 40×40×160 мм из раствора состава: портландцемент – 500 кг, песок – 1500 кг. Образцы твердели 28 суток при температуре + 20 – + 22 °С, первые сутки в ванне с гидрозатвором и оставшиеся (2, 6 и 27) сутки в воде. Для контрольного состава использовался стандартный монофракционный песок по ГОСТ 6139 – 2003, который имел: полный остаток на сите № 09 – 0,5 %, полный остаток на сите № 0,5 – 98 %; влажность – 0,2 %, потери при прокаливании – 0,5 %; количество глинистых и илистых частиц – 0,8 %.

Результаты испытаний представлены в таблице 3.1 и на рисунке. 3.1.

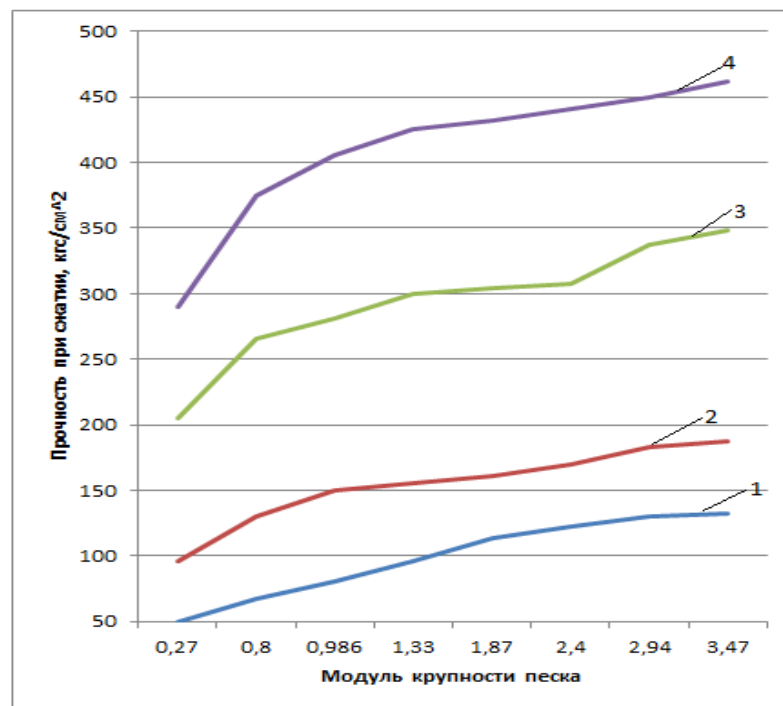


Рисунок 3.1 – Влияние крупности песка на прочность раствора, твердевшего в течение: 1 – 1 суток; 2 – 3 суток; 3 – 7 суток; 4 – 28 суток

Таблица 3.1 – Влияние крупности песка на прочность раствора

Модуль крупности песка	0,98	0,27	0,80	1,33	1,87	2,40	2,94
Средний размер, мм	0,52	0,14	0,42	0,71	1,01	1,28	1,57
Изменение расхода воды, л	-	+ 80	+ 13	- 9	- 15	- 18	- 20
Общий расход воды, л	210	290	223	201	195	192	190
Прочность при сжатии, МПа, в возрасте:							
1 сутки	4,8	5,0	6,7	96,4	11,3	12,2	12,9
3 суток	15,1	9,5	13,0	15,5	16,0	17,0	18,3
7 суток	28,8	20,3	26,5	29,9	30,4	30,8	33,7
28 суток	40,5	29,4	37,5	42,5	43,1	44,0	45,0

Анализ экспериментальных данных показал, что прочность при сжатии контрольного состава, изготовленного на стандартном монофракционном песке составляет 405,5 кгс/см². Увеличение модуля крупности песка путем отсеивания мелкой фракции привело к увеличению прочности при сжатии раствора в возрасте 28 суток:

- при модуле крупности 1,33 на 4,9 %,
- при модуле крупности 1,87 на 6,6 %,
- при модуле крупности 2,4 на 8,6 %,
- при модуле крупности 2,94 на 11,0 %,
- при модуле крупности 3,47 на 14,0 %.

Уменьшение модуля крупности песка путем отсеивания крупной фракции привело к снижению прочности при сжатии раствора:

- при модуле крупности 0,80 на 7,5 %,
- при модуле крупности 0,27 на 28,4 %.

Такое снижение прочности при сжатии при снижении модуля крупности песка объясняется большей его удельной поверхностью и, следовательно, большим необходимым расходом воды. При этом при стандартной консистенции раствора количество воды при уменьшении модуля крупности песка, а, следовательно,

но, и среднего диаметра частичек, увеличивается на 38 %.

Применяемый песок в естественном состоянии имел модуль крупности 1,87, что позволило получить раствор с прочностью 43,1 МПа.

Для дальнейших исследований принят песок с модулем крупности 1,87.

3.2 Влияние загрязняющих примесей в песке на прочность раствора

Загрязняющими примесями в песке являются глинистые, илистые частицы и органические примеси. Количество глинистых и илистых частиц определялось методом отмучивания, органических примесей - сравнением окраски щелочного раствора по ГОСТ 8735-88.

Органических примесей (гумусовые кислоты) обнаружено незначительное количество, менее количества, придающего раствору гидроксида натрия (колориметрическая проба по ГОСТ 8267-93) окраску, соответствующую цвету эталона или темнее этого цвета.

Для определения влияния количества загрязняющих примесей на свойства цементного композита песок сначала отмывали, высушивали и затем вводили загрязняющие примеси в исследуемом количестве.

Влияние количества глинистых и илистых частиц на прочность при сжатии раствора приведено в таблице 3.2 и на рисунке 3.2.

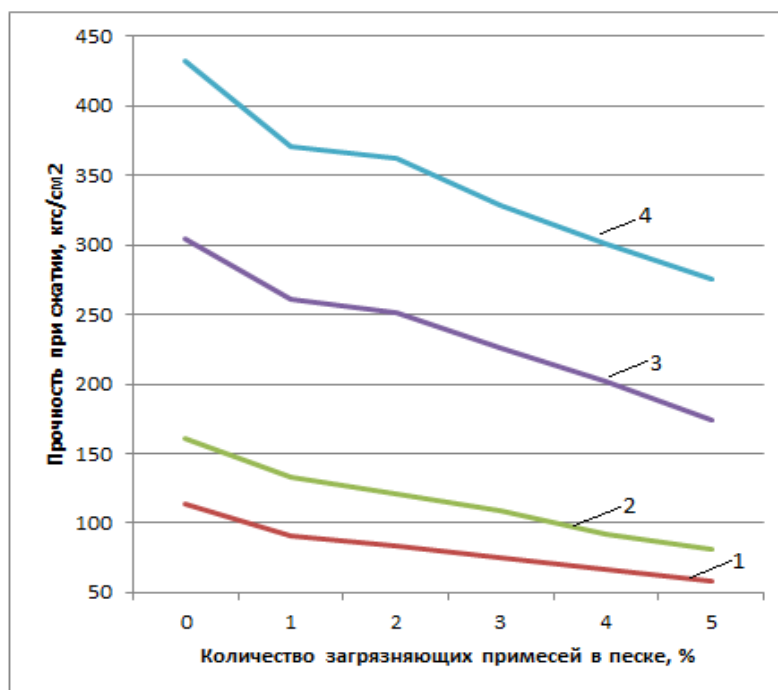


Рисунок 3.2 – Влияние количества загрязняющих примесей в песке на прочность раствора, твердевшего в течение:

1 – 1 суток; 2 – 3 суток; 3 – 7 суток; 4 – 28 суток

Таблица 3.2 – Влияние количества глинистых и илистых частиц на прочность при сжатии раствора

Количество загрязняющих примесей в песке, %	0	1	2	3	4	5
Количество загрязняющих примесей в 1 м ³ раствора, кг	0	14	28	42	56	70
Дополнительный расход воды, л	0	17	34	50	67	84
Общий расход воды, л	211	228	245	261	278	295
Прочность при сжатии, МПа, при твердении в течение, суток:						
1	11,2	9,0	8,2	7,4	6,5	5,7
3	16,0	13,2	12,1	10,8	9,2	8,0
7	30,5	26,2	25,3	22,6	20,2	17,5
28	43,1	37,0	36,1	32,8	30,0	27,5

Анализ экспериментальных данных показал, что увеличение количества загрязняющих примесей в песке до 5 % приводит к снижению прочности раствора на 36,1 %. При этом при постоянной консистенции раствора количество воды при

увеличении количества илистых и глинистых частиц увеличивается на 40 %.

Такое снижение прочности при сжатии при увеличении количества илистых и глинистых частиц объясняется большой удельной поверхностью этих частиц и, следовательно, большим необходимым расходом воды, идущим на увлажнение этих частиц. При этом данные частички в реакцию с водой не вступают и после твердения раствора и испарения воды, не вступившей в реакцию с портландцементом, образуются поры, которые и приводят к снижению прочности. Кроме того, по нашему мнению, наличие илистых и глинистых частиц препятствует сцеплению цементного камня с заполнителем путем снижения прочности контактной зоны.

Увеличение количества воды из-за повышенного содержания загрязняющих примесей, значительно повышает вероятность образования трещин на ранних стадиях твердения раствора. Этот фактор важен при устройстве напольных слоев.

Кроме того, по снижению прочности при сжатии можно косвенно судить и о снижении других физико-механических показателей, таких как, прочность при изгибе, морозостойкость, прочность сцепления с основанием. Поэтому для дальнейших исследований применялся песок без вредных примесей («промытый»).

3.3 Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на свойства растворной смеси и раствора

Как известно, водоудерживающая способность портландцемента ограничивается 65 % [51], тогда как водоудерживающая способность гидратной извести гораздо выше. Поэтому для увеличения водоудерживающей способности растворной смеси, ее пластичности и трещиностойкости, снижения расслаиваемости в нее вводилась гидратная известь.

Для оценки водоудерживающей способности приготавливалась растворная смесь следующего состава: вяжущее вещество – 313 кг, песок – 1400 кг. Количество гидратной извести изменялось от 0 до 30 %.

Растворная смесь готовилась следующим образом. Сначала смешивались

портландцемент и гидратная известь. Затем вводился песок. После этого сухая смесь тщательно перемешивалась. На последнем этапе добавлялось необходимое количество воды. Затем растворная смесь тщательно перемешивалась.

У готовой растворной смеси определяли подвижность, водоудерживающую способность, расслаиваемость и сохраняемость первоначальной подвижности по методикам, описанным во второй главе. Результаты испытаний приведены в таблице 3.3, таблице 3.4 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.3 – Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на водоудерживающую способность и расслаиваемость растворной смеси

Наименование показателя	Содержание гидратной извести в цементно-известковом вяжущем, % от массы портландцемента						
	0	5	10	15	20	25	30
Водоудерживающая способность растворной смеси, %	65	71	76	79	81	83	84
Расслаиваемость растворной смеси, %	13	10	7	5	3	2	1

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением содержания гидратной извести водоудерживающая способность растворной смеси увеличивается. Так, при отсутствии в смеси извести водоудерживающая способность составляет 65 %. При 30 %-ном содержании гидратной извести в смеси водоудерживающая способность увеличивается до 84 %.

Расслаиваемость растворной смеси при увеличении содержания гидратной извести снижается. При 30 %-ном содержании гидратной извести расслаиваемость растворной смеси составляет 1 %.

Так как удельная поверхность частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [123] находится в пределах 800 - 1000 м²/кг, а портландцемента – 280 м²/кг, то данные свойства растворной смеси, вероятно объясняются большой удельной поверхностью частичек гидратной извести.

Таблица 3.4 – Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на подвижность растворной смеси и ее сохраняемость во времени

Подвижность (погружение конуса), см, час	Содержание гидратной извести в цементно-известковом вяжущем, % от массы портландцемента						
	0	5	10	15	20	25	30
Свежеприготовленная растворная смесь	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0
1	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0
2	4,5	5,5	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0
2,5	3,0	5,0	6,5	8,0	10,0	12,0	14,0
3	1,0	2,0	6,5	8,0	10,0	12,0	14,0
3,5	-	1,0	6,0	8,0	9,5	12,0	14,0
4	-	-	5,0	7,0	9,0	11,0	13,0
4,5	-	-	1,0	6,0	8,5	10,5	12,5
5	-	-	-	5,0	8,0	10,0	12,0

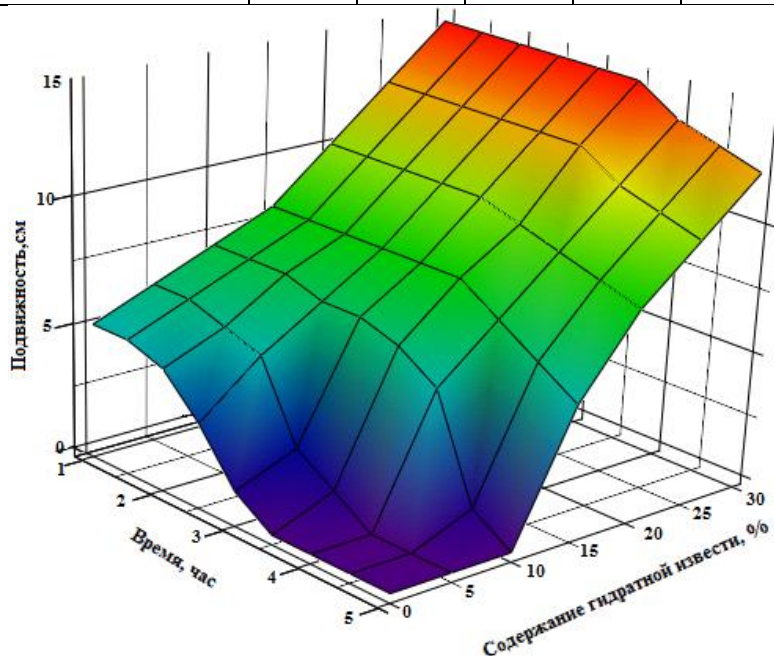


Рисунок 3.3 – Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на сохраняемость во времени и подвижность растворной смеси.

Данный эксперимент показал, что с увеличением содержания гидратной извести растворная смесь имеет большую подвижность и с течением времени меньше ее теряет. Период времени сохранения первоначальной подвижности растворной смеси при отсутствии гидратной извести составляет 2 часа, тогда как при 30 %-ном содержании гидратной извести за счет иммобилизации воды известью он увеличивается до 5 часов.

Для испытания на прочность при сжатии из растворной смеси формировались образцы кубы размером $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм. Образцы формировались в формах без дна, установленных на отсасывающее основание, покрытое влажной бумагой. Уплотнение производилось штыковкой. Образцы твердели 28 суток при температуре плюс $20 - 22$ °C и относительной влажности воздуха 60 %.

Образцы испытывались как в состоянии естественной влажности, так и в водонасыщенном состоянии. Для этого образцы насыщались водой до постоянной массы. Результаты испытаний представлены в таблице 3.5 и на рисунке 3.4.

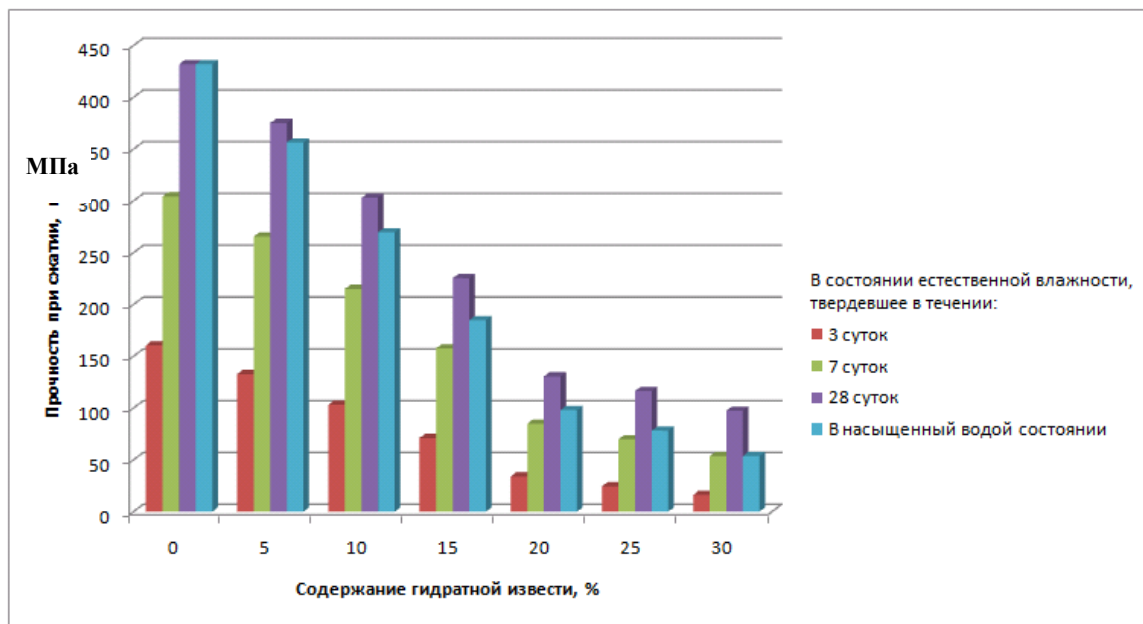


Рисунок 3.4 – Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на прочность при сжатии раствора

Таблица 3.5 – Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем на свойства раствора

Наименование показателя	Содержание гидратной извести в цементно-известковом вяжущем, % от массы портландцемента						
	0	5	10	15	20	25	30
Прочность при сжатии в состоянии естественной влажности, МПа, твердевших в течение							
	3 суток	16,0	13,2	10,3	7,1	3,4	1,6
	7 суток	30,4	26,5	21,5	15,7	8,4	5,3
	28 суток	43,1	37,5	30,3	22,5	13,0	9,7
Прочность при сжатии в насыщенном водой состоянии, МПа	43,2	35,6	26,9	18,4	9,8	7,8	5,3
Коэффициент размягчения	1,0	0,95	0,89	0,82	0,75	0,67	0,55

Анализ экспериментальных данных показал, что при увеличении содержания извести в цементно-известковом вяжущем существенно снижается прочность раствора. Так при содержании гидратной извести:

- 5 % прочность снижается на 13,1 %;
- 10 % прочность снижается на 29,8 %;
- 15 % прочность снижается на 47,8 %;
- 20 % прочность снижается на 69,7 %;
- 25 % прочность снижается на 73 %;
- 30 % прочность снижается на 77,4 %.

Однако прочность при сжатии при этом не опускается ниже 9,7 МПа.

При увеличении содержания извести в цементно-известковом вяжущем существенно снижается водостойкость раствора. Так при содержании гидратной из-

вести 30 % коэффициент размягчения составляет 0,55.

Снижение прочности и водостойкости раствора при увеличении содержания гидратной извести объясняется тем, что гидратная известь – это воздушное вяжущее вещество, имеющее низкую прочность и водостойкость. При увеличении содержания гидратной извести, в составе вяжущего, прочность и водостойкость раствора тоже снижаются.

Исходя из анализа экспериментальных данных для дальнейших исследований принято содержание гидратной извести в пределах 15–30 %.

3.4 Влияние вида и количества алюминий содержащих добавок на свойства цементного теста и камня

3.4.1 Обоснование выбора алюминий содержащих добавок

Применение современных технологических методов, введение в состав вяжущего минеральных и органических добавок позволили увеличить прочность цементных композитов, морозостойкость, сократить сроки схватывания. Специалисты в области строительного материаловедения отмечают, что Строительный материал эволюционирует благодаря созданию разных структур различного масштаба. Новые методы, позволяющие создавать новые структуры для цементных материалов, позволили значительно повысить их прочность и физические характеристики.

Сегодня актуальна тенденция использовать вещества и соединения без хлора и вредных компонентов, включая те, что вызывают коррозию оборудования или арматуры. Иногда ограничивается применение щелочных соединений, которые могут уменьшать марку прочности цементных растворов (бетона).

Главным критерием эффективности добавок-ускорителей схватывания бетонных и растворных смесей считается ускорение процесса схватывания на 25 % и более (при температуре окружающего воздуха (20 ± 2) °C). Для добавок-ускорителей твердения бетона, по требованиям надежности, необходимо увели-

чение прочности бетона на 20 % и более в возрасте 1 суток нормального твердения [11, 12].

Среди эффективных видов ускорителей схватывания и твердения цементных систем, в том числе подходящих для использования в составе сухих строительных смесей, могут быть выделены ускорители нового поколения на основе активных оксидов и гидроксидов алюминия.

3.4.2 Влияние вида и количества алюминий содержащих добавок на свойства цементного теста

При увеличении количества вводимой в цемент добавки Al_2O_3 или $\text{Al}(\text{OH})_3$ водоцементное отношение при нормальной густоте цементного теста увеличивается, при чем монотонно (табл. 3.6). Это может быть обусловлено адсорбцией и хемосорбцией воды на поверхности частиц вводимой добавки.

Таблица 3.6 Влияние количества оксида и гидроксида алюминия на водоцементное отношение (В/Ц, %)

Содержание добавки, %	В/Ц, % (водопотребность), при введении	
	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$
0	26,6	26,6
0,5	26,7	26,6
1,0	27,5	27,3
1,5	27,7	27,6

3.4.3 Влияние вида и количества оксида и гидроксида алюминия на свойства цементного камня

При рассмотрении производства и применения композиционных портланд-цементов с алюминий-содержащими добавками необходимо учитывать, что большое влияние на прочностные свойства таких цементов оказывают условия твердения. Наиболее благоприятные результаты получаются при твердении в нормальных условиях [126, 127, 131].

$\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ вводились в количестве 0,5, 1, 1,5 % от массы портландцемента. Портландцемент смешивали с указанными добавками в сухом состоянии.

Результаты исследования алюминий содержащих добавок, влияющих на время схватывания показаны в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Влияние добавок на сроки схватывания цементного теста

Содержание добавки, %	Сроки схватывания цементного теста, мин, при введении			
	$\text{Al}(\text{OH})_3$		$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	
	начало	конец	начало	конец
0	152	299	152	299
0,5	122	250	140	280
1,0	110	235	116	250
1,5	80	210	86	226

Сроки начала и конца схватывания цементного теста уменьшаются при введении добавок. При этом, влияние $\text{Al}(\text{OH})_3$ проявляется сильнее, чем $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Продолжительность начала схватывания при этом сокращается на 47 %, конца схватывания – на 30 %. Изменение времени сохраняемости подвижности растворной смеси прямо пропорционально времени схватывания.

Влияние алюминий содержащих добавок на изменение прочности цементного камня изучалось на образцах размерами $20 \times 20 \times 20$ мм, полученных в результате твердения теста нормальной густоты в нормальных условиях. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.8 и на рисунке 3.5.

Таблица 3.8 – Влияние количества оксида и гидроксида алюминия на прочность при сжатии цементного камня

Содержание добавки, %	Прочность при сжатии цементного камня, МПа, при введении					
	$\text{Al}(\text{OH})_3$			Al_2O_3		
	через 1 су- тки	через 3 су- ток	через 28 суток	через 1 сутки	Через 3 су- ток	через 28 суток
0	15,6	38,7	71,9	15,6	38,7	71,9
0,5	19,4	52,15	88,4	19,2	45,8	72,3
1,0	23,9	62,45	101,2	22,4	52,2	87,9

1,5	21,5	57,7	86,3	20,9	50,4	80,4
-----	------	------	------	------	------	------

Прочность при сжатии цементного камня во все исследуемые сроки твердения (1, 3, 28 суток) больше, чем у образцов без добавки. При этом, в возрасте 1, 3 и 28 суток прочность образцов при добавлении 0,5-1,5 % $\text{Al}(\text{OH})_3$ больше, чем при введении такого же количества Al_2O_3 и существенно больше, чем у образцов без добавок. Наибольшего упрочнения в 2,1 раза удалось достичь при введении 1 % гидроксида алюминия.

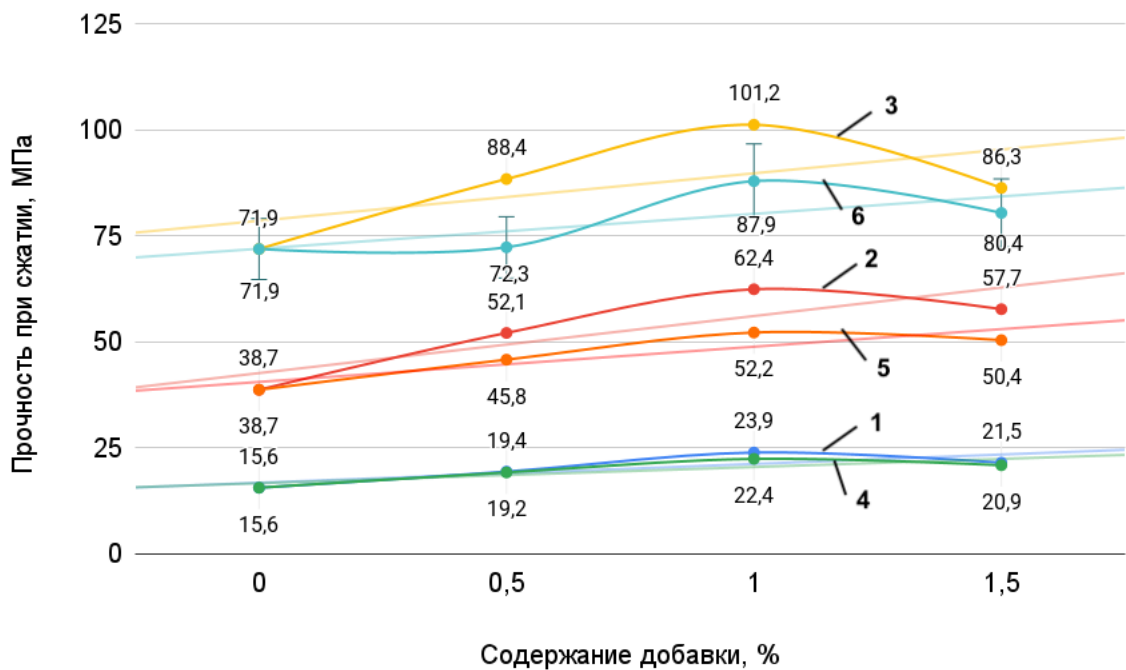


Рисунок 3.5 – Влияние количества добавки $\text{Al}(\text{OH})_3$ и Al_2O_3 на прочность при сжатии цементного камня

1 - $\text{Al}(\text{OH})_3$ через 1 сутки; 2 - $\text{Al}(\text{OH})_3$ через 3 суток; 3 - $\text{Al}(\text{OH})_3$ через 28 суток;
4 - Al_2O_3 через 1 сутки; 5 - Al_2O_3 через 3 суток; 6 - Al_2O_3 через 28 суток

Рассматривая возможные причины повышения прочности цементного камня при введении алюминий-содержащих добавок, из приведенных сведений в п. 3.4.1 можно сделать следующий вывод. Вероятно, самым слабым местом структуры будет являться контактная зона или цементное связующее. Воздействие $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, скорее всего, будет наиболее заметным на контактной зоне системы. Количество добавок должно быть подобрано таким образом, чтобы они наилучшим образом влияли на процессы гидратации цемента и образование связи

между частицами добавок и цементного камня. В данном случае оптимальное содержание $\text{Al}(\text{OH})_3$ составляет 1% мас.

Для объяснения упрочняющего эффекта целесообразно изучить фазовый состав гидратных новообразований при введении данных добавок.

3.4.4 Результаты рентгенофазового анализа цементного камня

Результаты рентгенфазового анализа образцов цементного камня содержащих оптимальное количество добавок, представлены на рисунках 3.6 - 3.8 и в таблице 3.9.

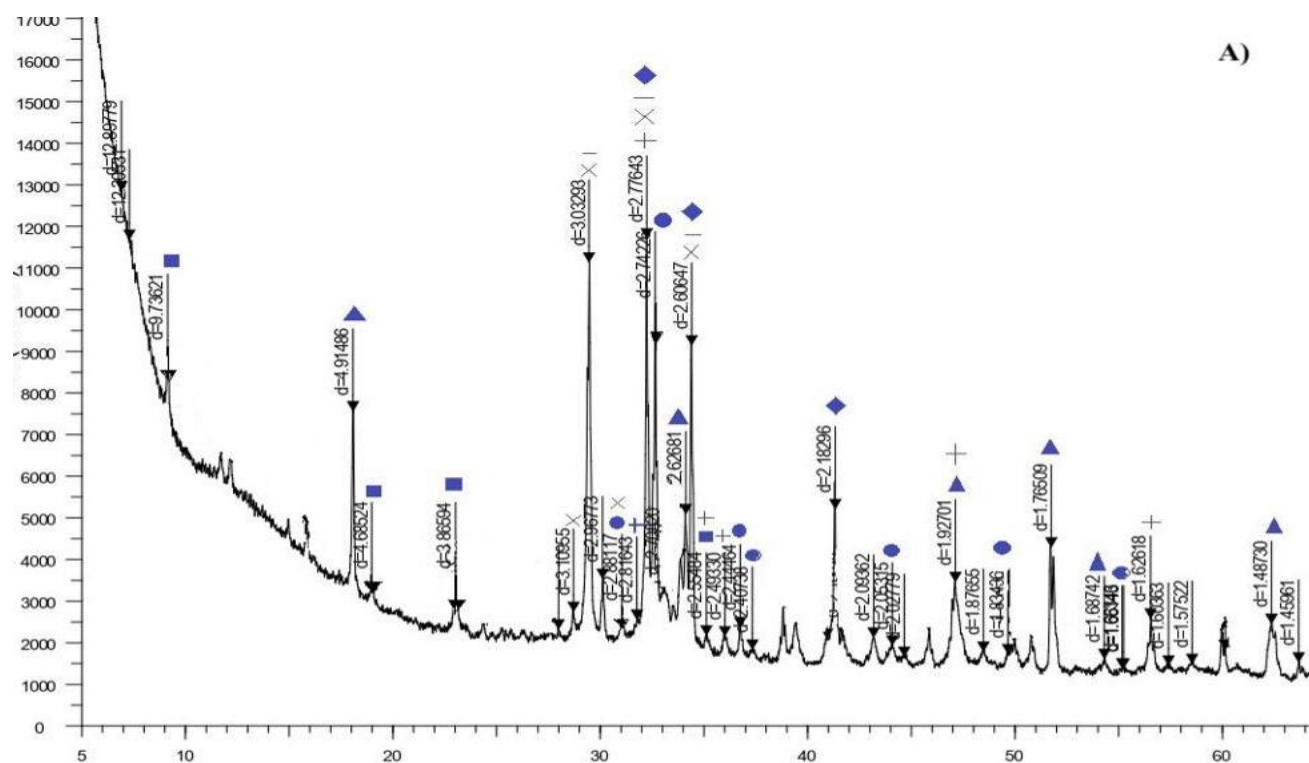


Рисунок 3.6 - Дифрактограмма цементного камня контрольного (бездобавочного) состава. Продолжительность твердения - 28 суток

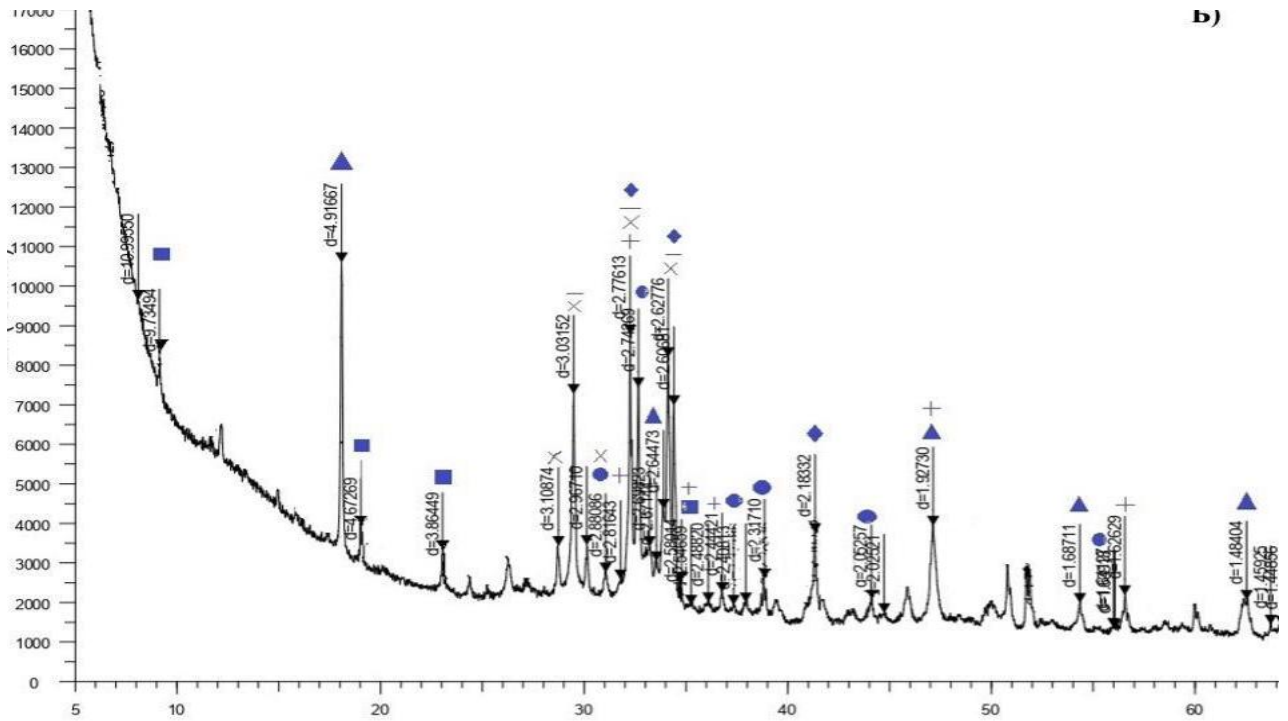


Рисунок 3.7 – Дифрактограмма цементного камня добавлением 1 % мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$.
Продолжительность твердения - 28 суток

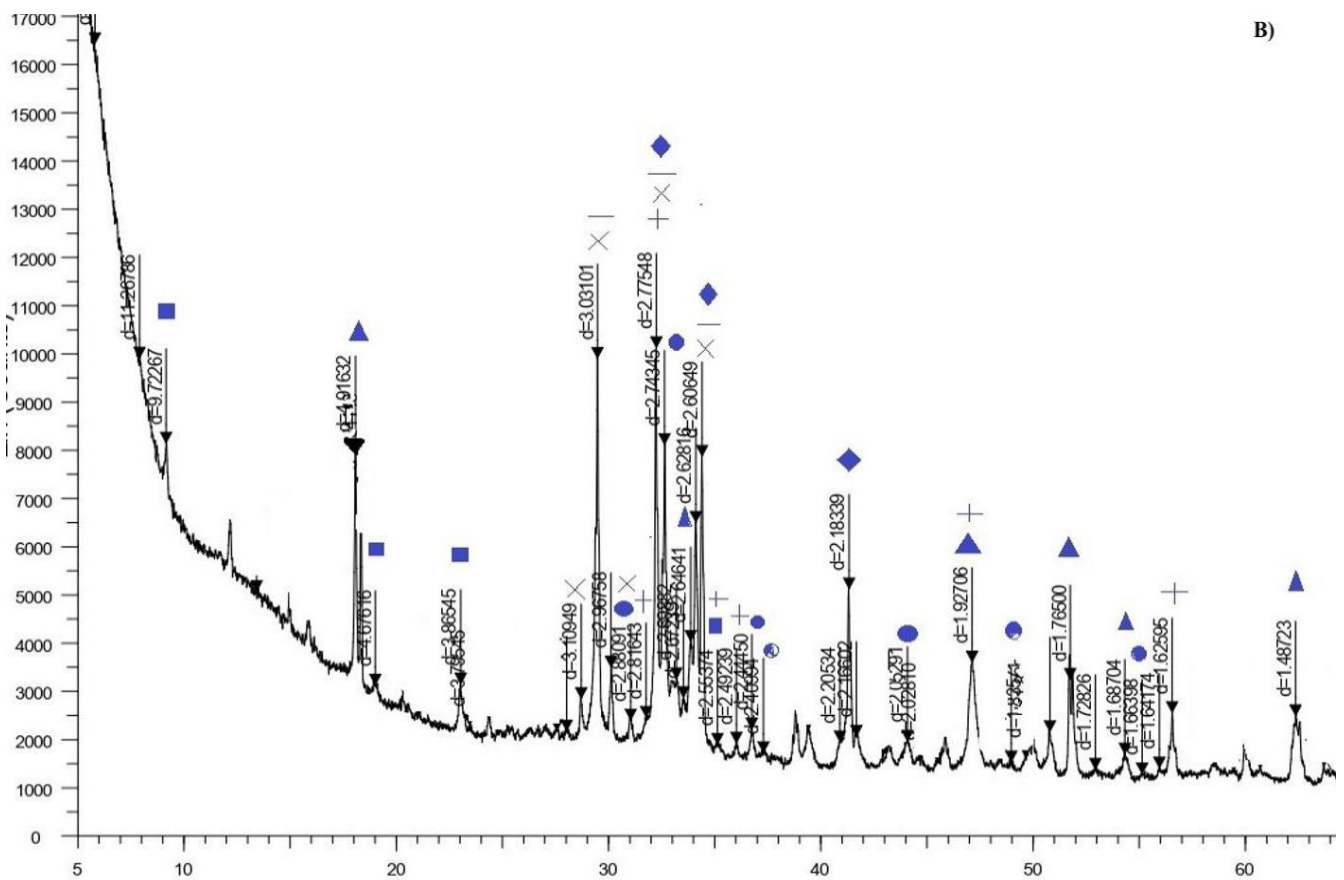


Рисунок 3.8 – Дифрактограмма цементного камня добавлением 1 % мас.
 Al_2O_3 . Срок твердения 28 суток.

На дифрактограммах идентифицированы только основные или изменяющиеся пики.

Таблица 3.9 – Дифракционные характеристики продуктов гидратации

Гидратная фаза	Межплоскостные расстояния, d/n, Å
Ca(OH)_2	4,917; 2,628; 1,927; 1,796; 1,687; 1,484
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	9,735; 4,673; 3,864; 2,547
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	2,88; 2,73; 2,44; 2,41; 2,05; 1,83; 1,63
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$	2,881; 2,776; 2,54; 2,48; 1,92; 1,62
$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	3,531; 2,881; 2,488; 2,372; 2,052; 1,687; 1,5407; 1,4405
C–S–H (I)	3,10; 3,02; 2,88; 2,77; 2,60
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	3,02; 2,77; 2,60
$\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,77; 2,60; 2,18

Следует отметить, что интенсивность рефлексов алюминатов ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$) одинаковы, как для образцов без добавок, так и имеющих добавки Al_2O_3 или Al(OH)_3 . Это позволяет сделать заключение о том, что введение указанных добавок не влияет на образование этих соединений. То есть Al_2O_3 и Al(OH)_3 не оказывают влияние на взаимодействие алюминатных фаз с водой в процессе гидратации цемента.

Иная ситуация с силикатными минералами цемента. Содержание гидросиликатных фаз в цементном камне снижается при введении исследуемых алюминий-содержащих добавок. Очень характерно увеличение количества портландита Ca(OH)_2 при введении этих добавок.

Характерно повышение содержания портландита Ca(OH)_2 при введении добавки Al(OH)_3 . Это, а также уменьшение величины рефлексов $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ свидетельствует о более глубокой гидратации цемента при введении Al_2O_3 и особенно Al(OH)_3 . Такой эффект может быть обусловлен тем, что указанные добавки взаимодействуют с силикатными фазами, то есть с $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, образующимся при гидролизе $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и содержащимся в исходном цементе, с образованием гидрогеленита ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Что подтверждается результа-

тами рентгенофазового анализа.

3.4.5 Исследование цементного камня методом электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО)

Для идентификации оптических свойств сложных кислородсодержащих систем, а также электронного состояния катионов d элементов (имеется в виду их координационное число и степень окисления), стабилизированных в оксидах различной природы, в том числе и в слоистых системах применяли метод ЭСДО.

Согласно литературным данным в области выше 30000 см^{-1} обычно поглощают все оксиды в различном дисперсном состоянии, такие как: TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , CeO_2 , ZrO_2 , ZnO и их смеси, которые часто составляют основу слоистых систем и/или являются носителя нанесенных гетерогенных катализаторов различных химических процессов. Отсутствие полос поглощения в видимой области спектров ЭСДО для вышеперечисленных оксидов делает их идеальной матрицей для исследования влияния на их структуру и физико-химические, механические и каталитические свойства различных добавок, поглощающих в данной области. В качестве добавок или модификаторов обычно могут выступать d , p или f элементы, количество которых намного меньше, чем количество основной матрицы.

Хорошо известно, что все d элементы обычно характеризуются $d-d$ -переходами и полосами переноса заряда лиганд-металл (ППЗ Л–М). При этом в видимой области обычно наблюдаются полосы поглощения (п.п.) d элементов, обусловленные проявлением их $d-d$ -переходов. В УФ области спектра поглощения обычно проявляются более интенсивные по сравнению с полосами, обусловленными $d-d$ -переходами, ППЗ Л–М катионов d элементов, стабилизированных в различной координации в кислородсодержащих матрицах различного назначения.

Общее количество проявляющихся полос поглощения у каждого элемента может быть разным в зависимости от координации и лигандного окружения центрального катиона. При этом исключение составляют два катиона d металлов – это катионы Fe^{3+} и катионы Cr^{6+} в октаэдрической и тетраэдрической кислородной координации [Ливер]. Согласно литературным данным спектр поглощения

Fe_2O_3 обычно проявляется во всем диапазоне, начиная с области выше 15000 см^{-1} .

На рисунке 3.9 представлены спектры ЭСДО двух образцов различного состава. Из анализа спектров ЭСДО видно, что природа спектров для всех образцов подобная. В области выше 35000 см^{-1} проявляется п.п. с максимумом при 39200 см^{-1} , обусловленная проявлением ППЗ Л–М катионов d элементов, а также она может относиться и к поглощению самой матрицы оксидов p элементов. Когда в одном образце содержится смесь оксидов, то приписывать это поглощение к тому или иному оксиду является некорректным. Отличие же спектров ЭСДО всех образцов состоит лишь в интенсивности поглощения.

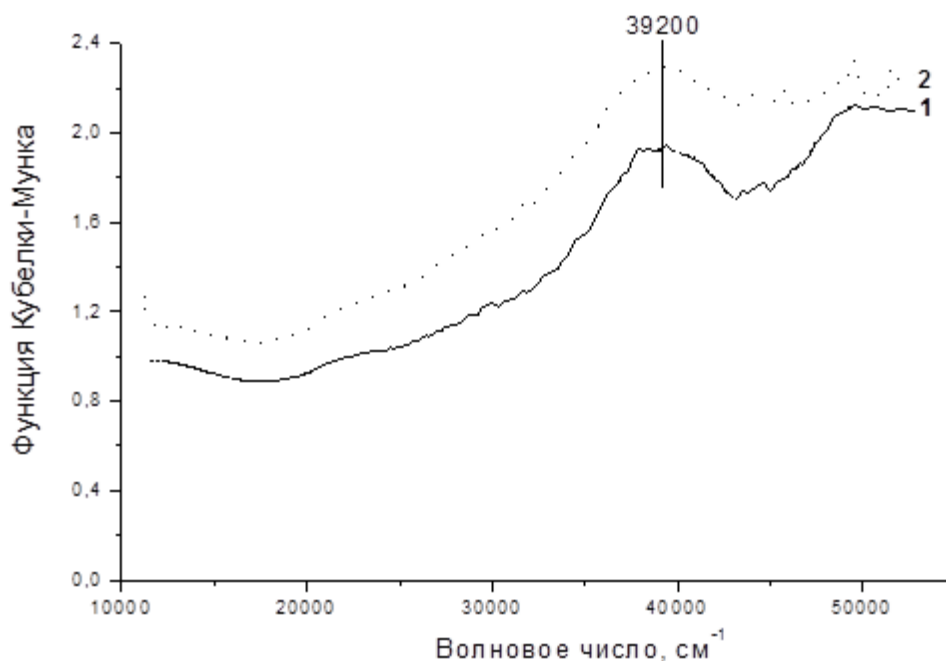


Рис. 3.9. Спектры ЭСДО образцов:

1 – контрольного состава; 2 – модифицированного состава

Рассмотрим спектры ЭСДО на примере образца контрольного состава (кривая 1), для которого можно выделить несколько областей поглощения: плечо с максимумом при 11000 см^{-1} , широкая полоса поглощения в диапазоне $20000\text{--}30000\text{ см}^{-1}$ и симметричная п.п. при 39200 см^{-1} . В области 11000 см^{-1} обычно наблюдаются полосы поглощения, обусловленные проявлением d-d-переходов катионов Fe^{3+} в октаэдрической кислородной координации. В области выше

20000 см^{-1} обычно проявляются частицы оксида Fe_2O_3 , даже если их размер менее 30 нм и методом рентгенофазового анализа (РФА) этот оксид не идентифицируется, но по данным просвечивающей электронной спектроскопии высокого разрешения (ПЭМВР) данный оксид можно обнаружить и подтвердить данные ЭСДО. В УФ области выше 30000 см^{-1} обычно поглощают все вышеперечисленные оксиды, их смеси, а также синтетические и природные цеолиты в различных дисперсных состояниях.

Подъем общего фона поглощения для образца контрольного состава (кривая 1) свидетельствует:

- Во-первых, о присутствии высокодисперсной составляющей в данном образце,
- Во-вторых, может свидетельствовать о наличии порового пространства между слоями, подобно полым сферическим частицам какого-либо оксида.

Для образца модифицированного состава (кривая 2) картина спектров ЭСДО совсем иная. Для него наблюдается существенный подъем фона поглощения всей системы, что может свидетельствовать либо об увеличении межслоевого пространства для этого образца за счет внедрения в слои вводимой добавки, либо увеличении количества высокодисперсной составляющей компоненты в данном образце, т.е. увеличивается доля частиц с малым размером.

Таким образом, подъем фона поглощения в спектрах ЭСДО свидетельствует об уменьшении размера частиц образца и/или увеличении расстояния между слоями в структуре исходного образца контрольного состава, что подтверждает взаимодействие оксида и гидроксида алюминия с алитом и силикатными фазами, образующимся при его гидролизе, с образованием гидрогеленита ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).

3.4.6 Исследование структуры цементного камня

В объеме затвердевшего цементного камня значительную долю занимают поры и пустоты различных размеров, их характеристики зависят от водоцемент-

ного отношения, способа уплотнения, сроков и условий твердения, минералогического и вещественного состава портландцемента [126, 127]. Пористость оказывает большое влияние на свойства цементов и получаемых с их использованием строительных материалов, причем это влияние зависит не только от показателя суммарной пористости, большое значение имеет структура пористости, характеризующаяся объемом пор различного диаметра [131]. В цементном камне присутствуют различные виды пор (от ультрамалых до макропор), они беспорядочно распределены в теле камня, имеют различный диаметр и конфигурацию. Поры могут соединяться друг с другом, образуя сложные каналы в структуре материала, общая пористость цементного камня может достигать 30 %. Важное значение имеет однородное распределение пористости, существенное влияние на прочность цемента оказывают крупные поры [128, 131, 132].

Исследован цементный камень после 28 суток твердения при нормальных условиях. При этом цементный камень изготавливался как без добавок, так и с добавкой γ - Al_2O_3 и $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Погрешность измерений не превышала ± 2 %. Методика измерений соответствовала международным стандартам ASTM D4284-03 и ASTM D4404-84 (2004). Давление ртути изменялось от 0,03 до 414 МПа, что позволило измерить размеры пор до диаметра 1,8 мкм. Полученные результаты приведены в обобщенном виде в таблицах 3.10 – 3.12.

Таблица 3.10 – Характеристики пористости цементного камня по результатам ртутной порометрии.

Средний диаметр пор, мкм	Состав вяжущего вещества			
	портландцемент		портландцемент и 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$	
	объем пор, мл/г	содержание пор, %	объем пор, мл/г	содержание пор, %
15,4 - 361,0	0,1470	45,2	0,0736	25,3
1,2 – 15,4	0,0164	5,0	0,0178	6,1
0,15 – 1,2	0,0313	9,5	0,0346	11,8
0,05- 0,15	0,0353	10,9	0,0367	12,6
0,003 – 0,050	0,0952	29,4	0,1285	44,2

итого	0,3252	100,0	0,2912	100,0
-------	--------	-------	--------	-------

При введении $\text{Al}(\text{OH})_3$ существенное различие в структуре цементного камня отмечается в содержании пор диаметром более 15,4 мкм и менее 1,2 мкм. Процентное содержание и объем пор диаметром более 15,4 мкм у модифицированного цементного камня уменьшается; общий объем пор диаметром менее 1,2 мкм и соответственно процентное содержание возрастают, при этом основной объем пор (более 44 %) приходится на поры диаметром менее 50 нм (табл. 3.10).

Таблица 3.12 – Характеристики пористости цементного камня

Характеристики	Состав вяжущего вещества	
	портландцемент	портландцемент и 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$
Общий объем пор, мл/г	0,3251	0,2911
Общая площадь пор, м ² /г	26,820	28,805
Средний диаметр пор, мкм	0,0570	0,0306
Характеристическая длина пор, мкм	1,6402	1,6901
Извилистость пор, <u>отн.</u> ед.	183,27	159,620

Рассматривая результаты ртутной порометрии, можно отметить следующее: поры в цементном камне являются сообщающимися, доступными для ртути. В сущности, они представляют собой капилляры.

Следует отметить, что при введении 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$ характеристическая длина пор возрастает. В то же время существенно снижается извилистость пор.

Следует отметить, что при введении 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$ характеристическая длина пор возрастает. В то же время существенно снижается извилистость пор. Это может обеспечить более благоприятные условия для перемещения части воды в соседние воздушные включения. При ее замерзании давление внутри раствора не будет увеличиваться. Наличие большого количества пор (капилляров) малого диаметра (менее 1 мкм) может способствовать повышению морозостойкости бетона, так как вода в них в основном будет находиться в пленочном состоянии [185].

Не прочный элемент структуры бетона возникает при взаимодействии между заполнителем и цементным камнем [51]. Введение 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$ уплотняет зону контакта за счет образования гидрогеленита и повышает прочность. Структура бездобавочного цементного камня приведена на рис. 3.8, цементного камня с добавкой 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$ на рисунках 3.9- 3.12.

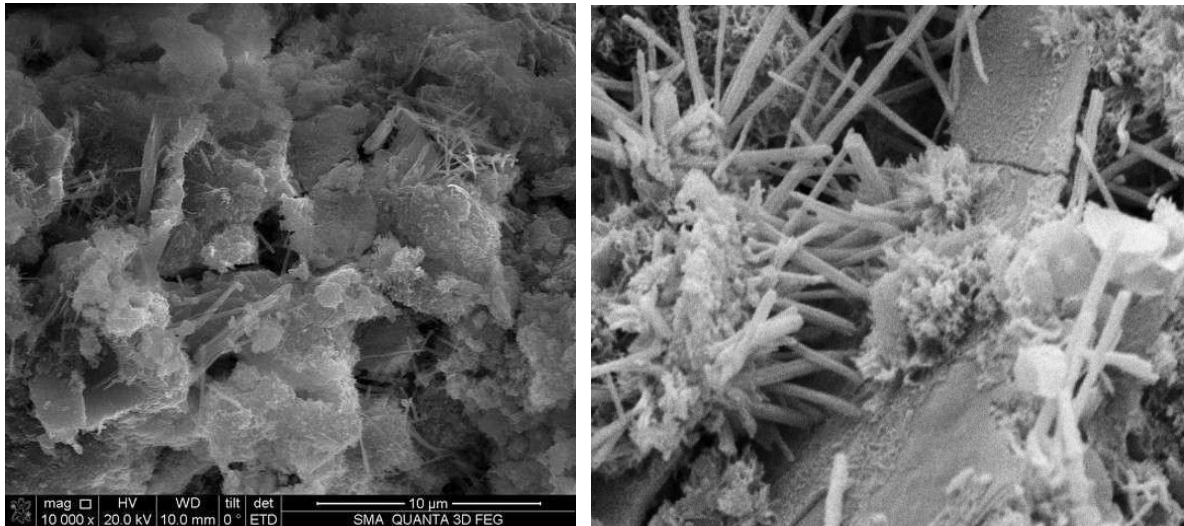


Рисунок 3.8 – Микроструктура бездобавочного цементного камня в возрасте 28 суток

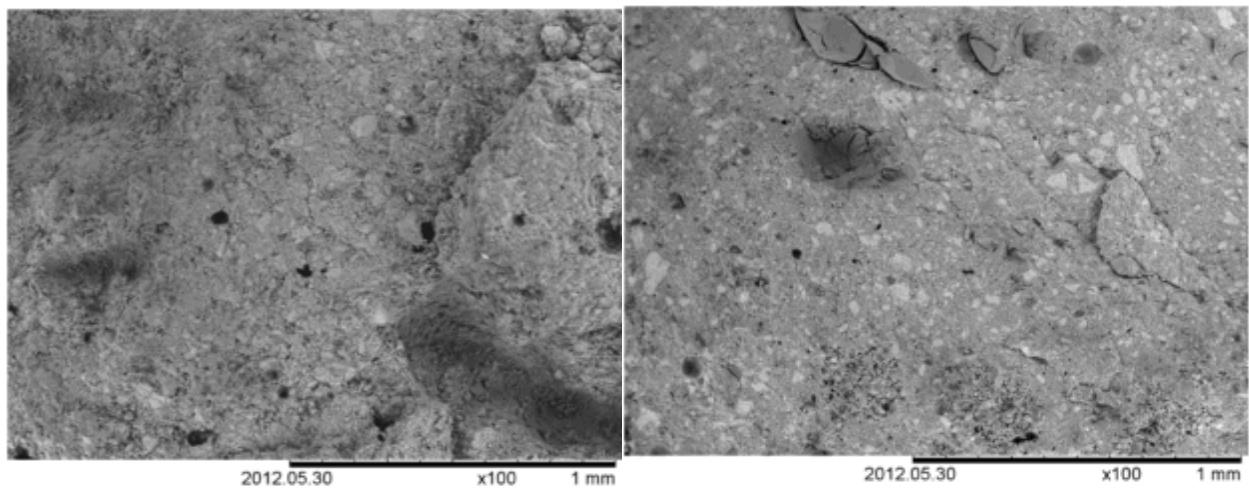


Рисунок 3.9 – Структура цементного камня в возрасте 28 суток с увеличением в 100 раз: слева – цементный камень; справа – цементный камень с добавкой 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$

В цементном камне без добавок структура достаточно рыхлая, с большим количеством контракционных пор размерами до 0,05 мм, цементный камень с добавкой $\text{Al}(\text{OH})_3$ обладает более плотной, однородной и мелкокристаллической структурой, содержащей поры диаметром 0,15 мкм мельче.

При увеличении в 1000 раз (рис. 3.10) наблюдается большое количество микропор которые заполнены большими по размеру кристаллами гидросиликатами (размеры которых составляют 10–15 мкм) и пластинками этtringита.

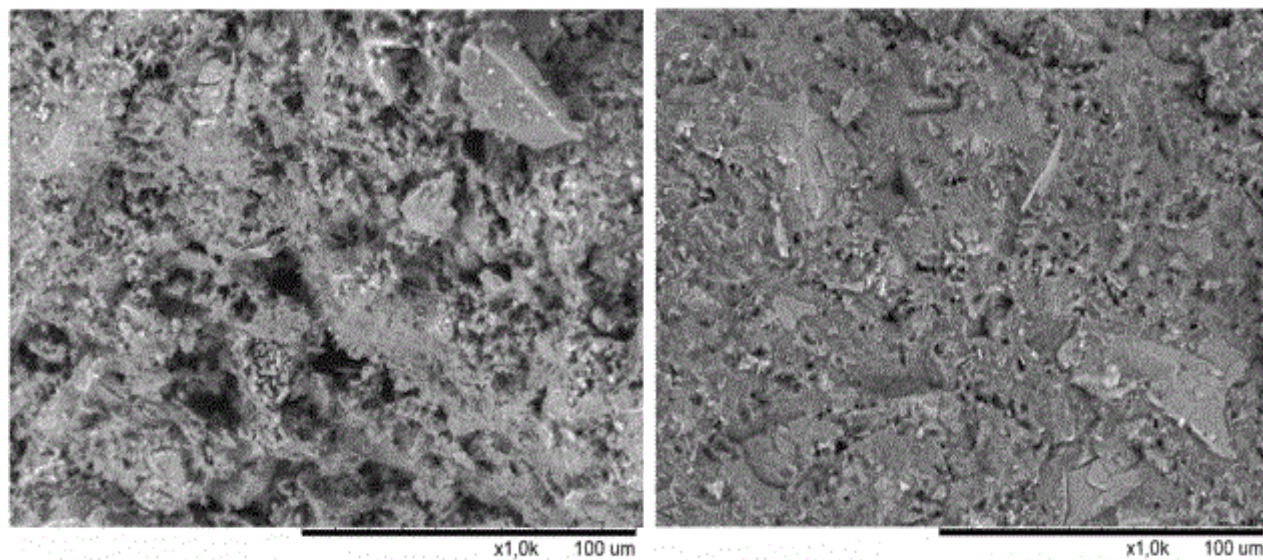


Рисунок 3.10 - Структура цементного камня в возрасте 28 суток с увеличением в 1000 раз: слева – цементный камень; справа – цементный камень с добавкой 1% мас. $\text{Al}(\text{OH})_3$

Рассмотрим структуру цементного камня с добавкой и без нее в различные сроки твердения (рисунки 3.11 - 3.12).

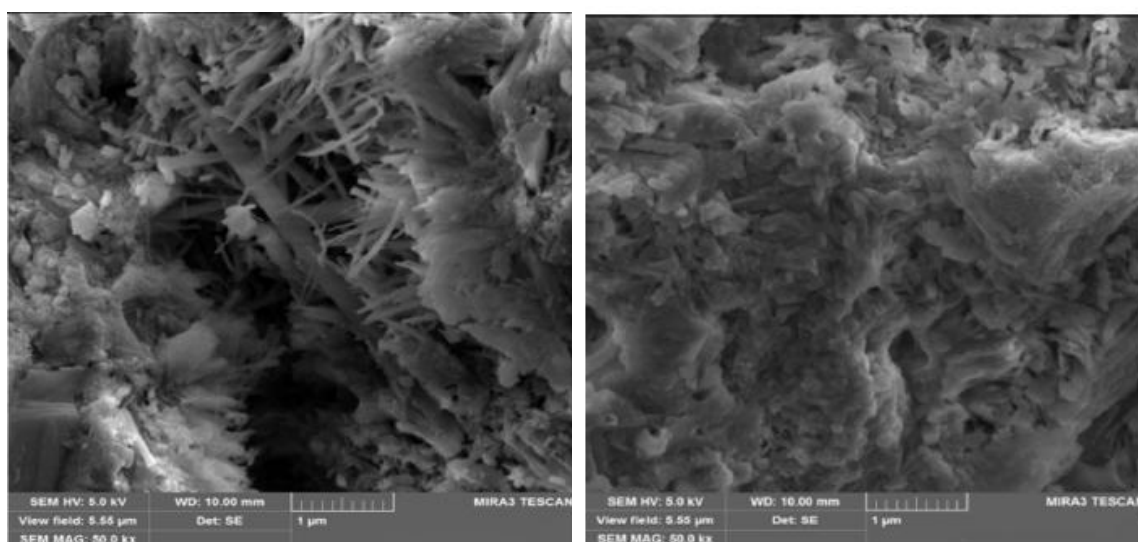


Рисунок 3.11 – Структура цементного камня в возрасте 7 суток с увеличением в 10000 раз: слева – цементный камень; справа – цементный камень с $\text{Al}(\text{OH})_3$

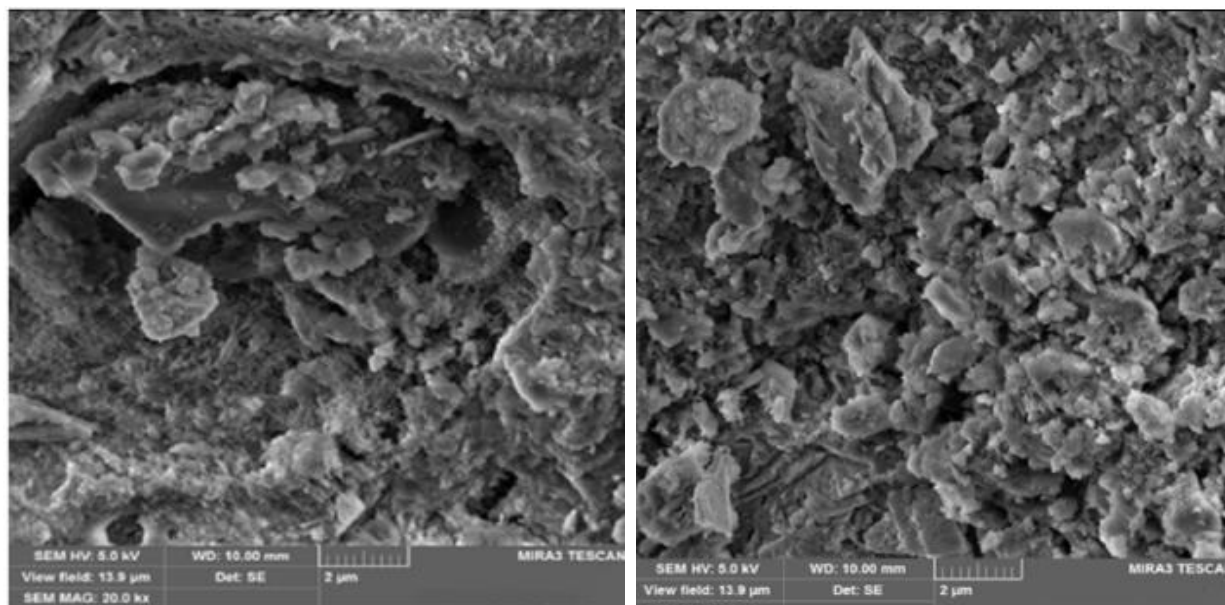


Рисунок 3.12 – Структура цементного камня в возрасте 28 суток с увеличением в 10000 раз: слева – цементный камень; справа – цементный камень с $\text{Al}(\text{OH})_3$

Анализ показал, что цементный камень с введенным $\text{Al}(\text{OH})_3$ обладает более плотной, однородной и мелкокристаллической структурой с малым количеством пор.

Таким образом, электронно-микроскопическими исследованиями установлено, что цементный камень с введенным $\text{Al}(\text{OH})_3$ обладает более плотной, однородной и мелкокристаллической структурой с малым количеством пор во все исследуемые сроки твердения.

Наибольший упрочняющий и ускоряющий эффект выявлен при введении $\text{Al}(\text{OH})_3$. Водопотребность цемента при введении алюминий-содержащих добавок не изменяется, процесс схватывания ускоряется (начало схватывания – на 38 %, конец – на 27 %). Результаты рентгенофазового анализа показывают, что более полная гидратация цемента проявляется при введении алюминий-содержащей добавки.

3.5 Влияние порошковых полимеров на свойства растворной смеси и раствора

3.5.1 Влияние метилцеллюлозы на свойства растворной смеси

1. Влияние дисперсности метилцеллюлозы на ее растворимость

Для улучшения свойств растворной смеси используют специальные органические добавки, например, метилцеллюлозу (МЦ) [133]. На рисунке 3.16 приведено влияние метилцеллюлозы на водоудерживающую способность растворных смесей [133]. Анализ данного графика показал, что при увеличении содержания метилцеллюлозы от 0,1 до 0,4 % увеличивается водоудерживающая способность с 93 до 98 %.



Рис. 3.16 Влияние содержания метилцеллюлозы на водоудерживающую способность

Исходя из графика, для дальнейших исследований принято содержание МЦ 0,2 – 0,4 % от массы сухой смеси.

Сложность получения сухой однородной строительной смеси на основе метилцеллюлозы обусловлена волокнистым строением. Кроме того, она имеет достаточно длительный период растворения в воде (до 1 часа). В связи с этим при исследованиях метилцеллюлоза подвергалась помолу до удельной поверхности 400 кг/м².

Начало процесса взаимодействия полимеров с растворителями характеризуется набуханием, которое является результатом проникновения растворителя в полимер. В случае набухания, масса и объем могут увеличиваться многократно. При этом происходит увеличение объема и массы. Это зависит от температуры,

давления и других факторов. [134 - 145].

Именно этому факту, раствор полимера может мигрировать во все поры и микропустоты. Кроме того, происходит процесс адсорбции макромолекул на частицах гидратированного цемента. В результате этого будут сформированы эластичные полимерные пленочные мембраны. [7, 134 - 142].

От дисперсности порошка зависит степень растворения. Дисперсность полимера зависит от степени его растворимости: чем выше степень дисперсности, тем больше степень растворения полимера [134 - 142].

Рассмотрим процесс получения раствора, на основе сухой строительной смеси, модифицированной полимерной добавкой. Смешиваем сухую смесь с водой, тщательно перемешиваем примерно 3-7 минут. Далее полученную растворную смесь выдерживают без механического воздействия в среднем на 10-15 мин., чтобы полимерные добавки, входящие в многокомпонентный состав смеси, начали контактировать с водой (набухать и растворяться). Перед применением растворная смесь вновь перемешивается. Следовательно, 30-40 мин. необходимо для набора раствором заданных технических характеристик которые проявляются в результате растворения полимера.

С помощью исследований, можно определить функциональное назначение добавки [14]. Для этого необходимо знать, какая часть полимера способна раствориться в воде за 30-40 минут, а какая при этом остается в нерастворимом состоянии. Как видно из этого, часть растворимого полимера будет продолжать удерживать воду в растворной смеси, тем самым изменяя ее технологические свойства и оказывая влияние на физико-химические свойства цементно-песчаного раствора. В цементно-песчаном камне, в качестве полимерных «сшивающих элементов» выступает только та часть полимера, которая уже набухла. Она является вспомогательным компонентом, который влияет на технологические и эксплуатационные свойства материала [132, 135, 141].

Метилцеллюлоза при небольших концентрациях в растворах проявляет высокую водоудерживающую способность, что влияет на технологические свойства растворной смеси, и придает антитиксотропные и загущающие свойства [14,

146,147].

Результаты эксперимента, выполненного по методике, описанной во 2 главе, приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Влияние содержания МЦ в растворной смеси на ее растворимость

Содержание МЦ, % мас.	Продолжительность растворения, мин	
	нейтральная среда (pH=6-7)	щелочная среда (pH=10-12)
0,2	12	6
0,3	18	9
0,4	24	12

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением дисперсности метилцеллюлозы ее растворимость значительно улучшается. Так если растворимость МЦ в волокнистом состоянии составляла 50 мин, то в дисперсном состоянии продолжительность ее растворения сократилось в 2 – 3 раза.

2. Влияние метилцеллюлозы на сроки схватывания цемента

Важным технологическим показателем растворных смесей являются сроки схватывания. Из открытых источников известно, что порошковые полимерные модификаторы в строительных смесях способны изменять сроки схватывания минеральных вяжущих. Жизнеспособность материала указывает время нанесения и транспортирования растворных смесей до начала схватывания [131, 137, 2, 10, 148-155]. Влияние содержания дисперсной метилцеллюлозы на сроки схватывания представлено в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Влияние содержания МЦ в растворной смеси на сроки схватывания цемента

Содержание МЦ, % мас.	Сроки схватывания, ч-мин	
	начало схватывания	конец схватывания
0	2-39	5-05
0,2	3-15	5-30
0,3	3-50	6-10
0,4	4-30	6-40

С увеличением содержания МЦ процесс схватывания цемента замедляется. Это можно объяснить тем, что метилцеллюлоза имеет разветвленные макромолекулы, способствующие образованию плотных экранирующих полимерных прослоек вокруг частиц цемента. Эти прослойки препятствуют проникновению воды к поверхности частиц цемента и замедляют рост цементных новообразований [57, 137, 152, 154].

Таким образом, при содержании МЦ 0,4 % мас. начало схватывания наступает позже на 1 час 51 мин, а конец – на 1 час 35 минут, что продлевает период времени сохранения раствором первоначальной подвижности. Однако дальнейшее увеличение содержания МЦ нерационально, так как процесс схватывания существенно замедляется. Поэтому для дальнейших экспериментов ограничились содержанием МЦ 0,4 %.

3. Влияние метилцеллюлозы на водоудерживающую способность

Введение в состав сухих строительных смесей полимерных добавок, позволяет регулировать водоудерживающую способность растворной смеси. Для качественного применения растворной смеси на основания необходимо сохранять реологические свойства для транспортирования и нанесения. При этом особенно важно уделять внимание последующему процессу гидратации цемента на сильно пористых основаниях [7, 10, 57, 149].

На основании данных факторов проводились исследования по водоудерживающей способности растворных смесей как с водоудерживающими добавками (гидратная известь, метилцеллюлоза), так и без них. Определение водоудерживающей способности осуществлялось по методике, приведенной в главе 2.

Для оценки водоудерживающей способности приготавливалась растворная смесь, как описано в пункте 3.3. Экспериментальные данные приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Влияние содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем и количества метилцеллюлозы на водоудерживающую способность растворной смеси

Содержание гидратной извести в цементно-известковом вяжущем, % от массы портландцемента	Водоудерживающая способность растворной смеси, %, в зависимости от количества метилцеллюлозы, % мас.			
	0	0,2	0,3	0,4
0	65	74,8	80,3	80,4
15	78	91,8	93,4	94,3
20	81	92,1	95,6	96,9
25	83,0	93,0	96,8	97,6
30	84,0	95,3	97,1	98,2

Анализ экспериментальных данных показал, что при увеличении содержания метилцеллюлозы и гидратной извести водоудерживающая способность повышается. При этом наибольшая водоудерживающая способность проявляется у растворной смеси, содержащей 30 % гидратной извести и 0,4 % метилцеллюлозы.

4. Влияние редиспергируемого порошка на водоудерживающую способность

Исходя из литературных источников содержание редиспергируемого порошка (РПП) принято от 0,2 до 0,5 % от массы сухой смеси [7, 157-161].

Определение водоудерживающей способности осуществлялось по методике, приведенной в главе 2.

Для оценки водоудерживающей способности подготавливалась растворная смесь, как описано в пункте 3.3. Количество гидратной извести составляло 25 %, добавки $Al(OH)_3$ 1% от массы портландцемента. Экспериментальные данные приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Влияние содержания метилцеллюлозы и редиспергированного порошка на водоудерживающую способность растворной смеси

Содержание редиспергируемого порошка (РПП), % мас.	Водоудерживающая способность растворной смеси, %, в зависимости от количества метилцеллюлозы, % мас.			
	0	0,2	0,3	0,4
0	65,0	91,8	95,3	96,4
0,2	75,6	95,0	96,5	97,3
0,3	80,0	96,5	97,6	98,7
0,4	87,1	97,5	98,4	99,1
0,5	94,0	98,3	99,1	99,3

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением содержания полимерных добавок, как метилцеллюлозы, так и редиспергируемого порошка, водоудерживающая способность растворной смеси повышается. Наибольшая водоудерживающая способность получена при введении 0,4 % МЦ и 0,5 % РПП.

Из литературных источников известно [133 – 136, 143 – 145, 14], что высокую водоудерживающую способность растворных смесей, с использованием полимерных загустителей при низких концентрациях связана с увеличением объема полимера в такой системе и снижением содержания несвязанной воды.

Молекулы такой воды имеют меньший размер по сравнению с полимером. Вода проникает в полимерные структуры растворной смеси заполняя свободное пространство между надмолекулярными структурами. Затем проникают глубже раздвигая отдельные сегменты макромолекул, а за тем и длинные полимерные цепи [14].

3.5.2 Влияние содержания порошковых полимеров на свойства раствора

1. Влияние содержания метилцеллюлозы на прочность при сжатии и водостойкость раствора

Для оценки прочности и водостойкости раствора приготавливалась растворная смесь, как описано в пункте 3.3. Из полученной растворной смеси изготавливались образцы размером 70,7 x 70,7 x 70,7 мм. Методика изготовления образцов и их твердения описана в п. 3.3. Количество гидратной извести-пушонки изменялось от 15 до 30 % от массы вяжущего, количество метилцеллюлозы – от 0,2 до 0,4 % от массы сухой смеси. Экспериментальные данные приведены в таблицах 3.20 – 3.21 и на рисунках 3.17 – 3.18.

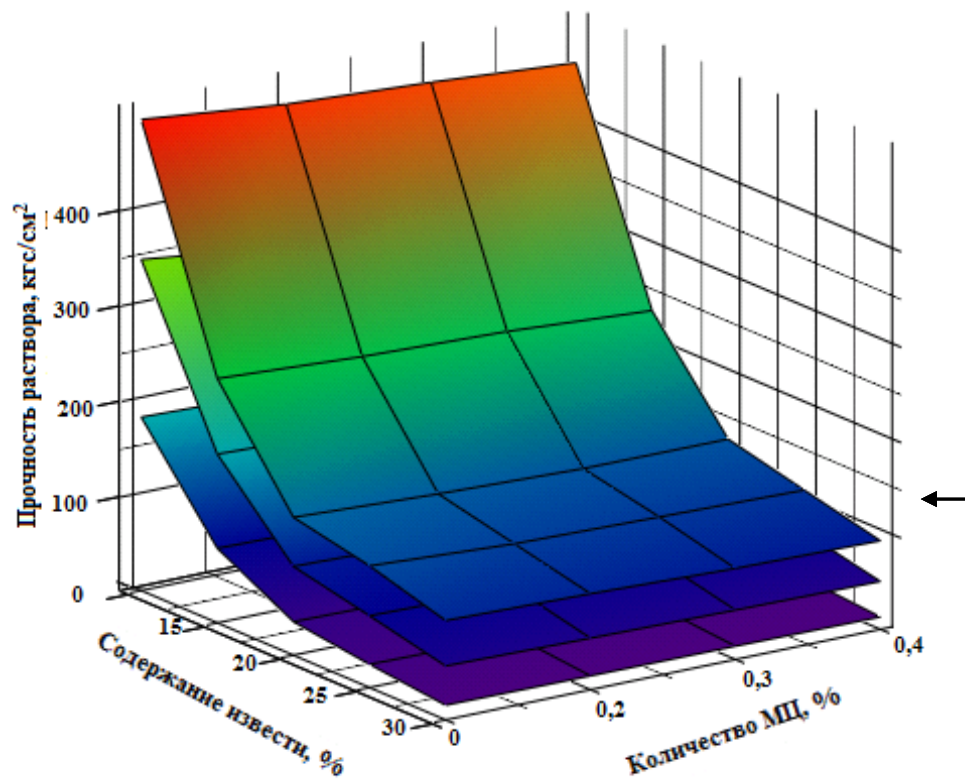


Рис. 3.17. Влияние содержания гидратной извести и метилцеллюлозы на прочность раствора, твердевшего в течении 3 суток (*а*), 7 суток (*б*) и 28 суток (*в*)

Таблица 3.20 – Влияние содержания гидратной извести и количества метил-целлюлозы на прочность раствора

Содержание гидратной извести, % от массы портландцемента	Прочность раствора, МПа, в зависимости от количества МЦ, % мас.			
	0	0,2	0,3	0,4
Твердение в течение 3 суток				
0	18,4	18,0	17,6	15,9
15	8,1	7,8	7,5	7,2
20	3,8	3,6	3,5	3,4
25	2,7	2,5	2,4	2,2
30	1,8	1,7	1,7	1,6
Твердение в течение 7 суток				
0	34,9	33,1	32,4	31,6
15	17,9	17,4	17,0	16,7
20	9,6	9,2	9,8	8,6
25	7,8	7,5	7,3	7,1
30	5,9	5,7	5,4	5,3
Твердение в течение 28 суток				
0	49,6	48,0	47,2	46,1
15	25,9	25,0	24,5	23,5
20	14,7	14,0	13,5	13,4
25	13,0	12,2	11,8	11,5
30	10,7	10,3	9,8	9,5

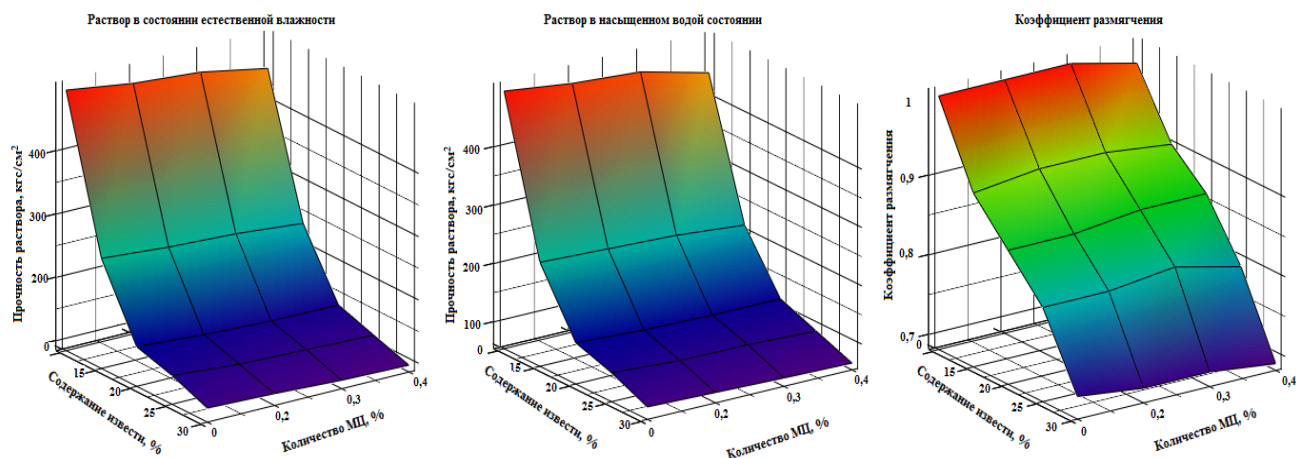


Рисунок 3.18 – Влияние содержания гидратной извести и метилцеллюлозы на водостойкость раствора

Таблица 3.21 – Влияние содержания гидратной извести и количества метилцеллюлозы на водостойкость раствора

Содержание гидратной извести, % от массы портландцемента	Прочность раствора, МПа, в зависимости от количества МЦ, % мас.			
	0	0,2	0,3	0,4
1	2	3	4	5
раствор в состоянии естественной влажности				
0	49,6	48,0	47,2	451
15	25,9	25,0	24,5	23,5
20	14,7	14,0	13,5	13,4
25	13,0	12,2	11,8	11,5
30	10,7	10,3	9,8	9,5
раствор в насыщенном водой состоянии				
0	49,6	48,1	47,2	44,2
15	23,3	22,7	22,2	21,2
20	12,5	11,9	11,6	11,6
25	10,4	9,7	9,6	9,0

Продолжение Таблицы 3.21

1	2	3	4	5
30	7,6	7,2	6,9	6,6
коэффициент размягчения				
0	1	1	1	0,98
15	0,90	0,91	0,91	0,90
20	0,85	0,85	0,86	0,86
25	0,80	0,80	0,81	0,79
30	0,71	0,70	0,70	0,69

Анализ экспериментальных данных показал, что при добавлении метилцеллюлозы прочность при сжатии раствора снижается в пределах 10 %, однако на водостойкость данная добавка существенного влияния не оказывает.

2. Влияние содержания метилцеллюлозы на прочность при изгибе раствора

Для оценки прочности и водостойкости раствора подготавливалась растворная смесь, как описано в пункте 3.3. Контрольный состав растворной смеси содержал, кг/м³: цемент – 500, песок - 1500, вода – 210. Из полученной растворной смеси изготавливались образцы размером 40 x 40 x 160 мм. Методика изготовления образцов и их твердения описана в п. 3.3. Количество метилцеллюлозы изменялось от 0,2 до 0,4 %. Экспериментальные данные приведены в таблице 3.22 и на рисунке 3.19.

Таблица 3.22 – Влияние количества метилцеллюлозы на прочность при изгибе цементно-песчаного раствора

Продолжительность твердения	Прочность при изгибе раствора, МПа, в зависимости от количества МЦ, % мас.			
	0	0,2	0,3	0,4
1 сутки	1,5	1,3	1,3	1,2
3 суток	2,4	2,0	1,9	1,9
7 суток	4,0	3,6	3,4	3,3
28 суток	6,0	5,5	5,1	5,1

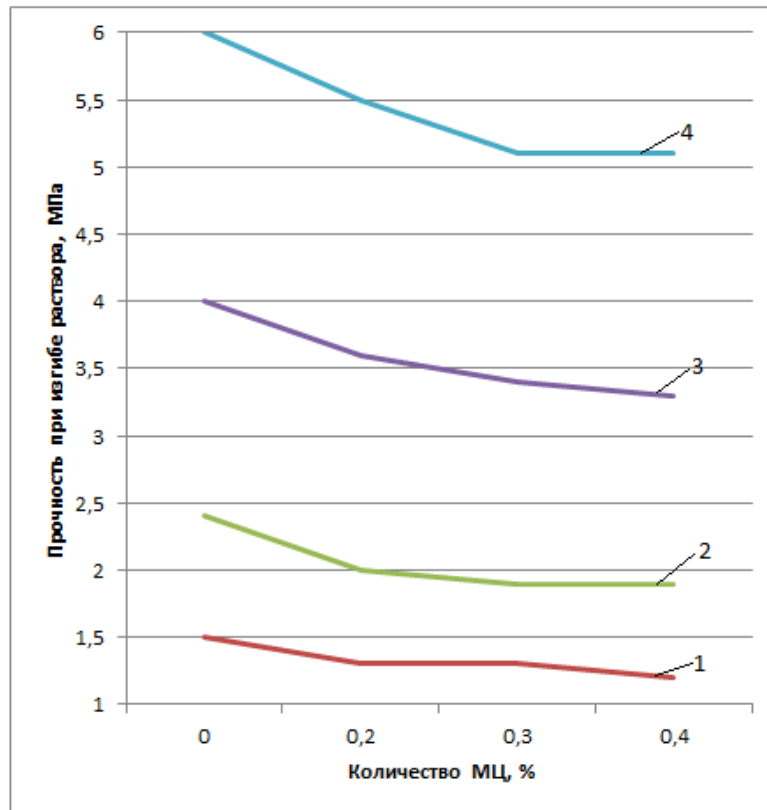


Рисунок 3.19 – Влияние количества метилцеллюлозы на прочность при изгибе цементно-песчаного раствора:

1 – 1 суток; 2 – 3 суток; 3 – 7 суток; 4 – 28 суток нормального твердения

Анализ экспериментальных данных показал, что при введении метилцеллюлозы прочность при изгибе снижается с увеличением концентрации. Снижение прочности на 15% наблюдается уже при введении МЦ в количестве 0,4%.

Проведенные исследования показали, что при добавлении метилцеллюлозы в растворную смесь, уменьшается прочность при сжатии и при изгибе полученного раствора. Данное уменьшение возможно связано с тем, что у минерального раствора меняются реологические и технологические свойства [152, 154, 155].

Падение прочности цементно-песчаного композита, модифицированного метилцеллюлозой, вероятно связано с тем, что частицы цемента могут располагаться между полимерными прослойками, которые их обволакивают, что приводит к уменьшению площади контакта между частицами цемента.

3. Влияние содержания РПП на прочностные показатели раствора

В данном разделе изучалось влияние РПП на прочность при сжатии, прочность при изгибе и прочность сцепления при отрыве от основания.

Сцепление напольных выравнивающих покрытий с основаниями - важный показатель особенно при нанесении цементно-песчаного раствора тонким слоем на бетонное основание, так как при этом происходит интенсивное всасывание воды основанием, или при нанесении смеси на гидрофобные основания (полимеры, металл и т.д.) [154].

Для определения прочностных показателей подготавливалась растворная смесь путем смешивания сначала сухих компонентов, а затем добавления воды. При этом содержание гидратной извести принималось равным 25 %, добавки $Al(OH)_3$ – 1 %. Из полученной растворной смеси готовились образцы-балочки размером 40x40x160 мм, которые твердели 28 суток при температуре плюс 20 – 22 °С и влажности 60 %.

В главе 2 описаны методики испытаний на определение прочности сцепления при отрыве от основания и прочности при изгибе и сжатии. Результаты проведенных испытаний показаны в таблице 3.22 и на рисунках 3.20 и 3.21.

Таблица 3.22 – Влияние содержания РПП на прочностные показатели раствора

Содержание РПП, % мас.	Прочность раствора, МПа		
	при сжатии	при изгибе	при отрыве от основания (бетон тяжелый)
0	13,1	2,7	0,7
0,1	13,0	3,1	1,0
0,2	13,0	3,4	1,3
0,3	13,0	3,8	1,5
0,4	12,8	4,2	1,6
0,5	12,7	3,9	1,4

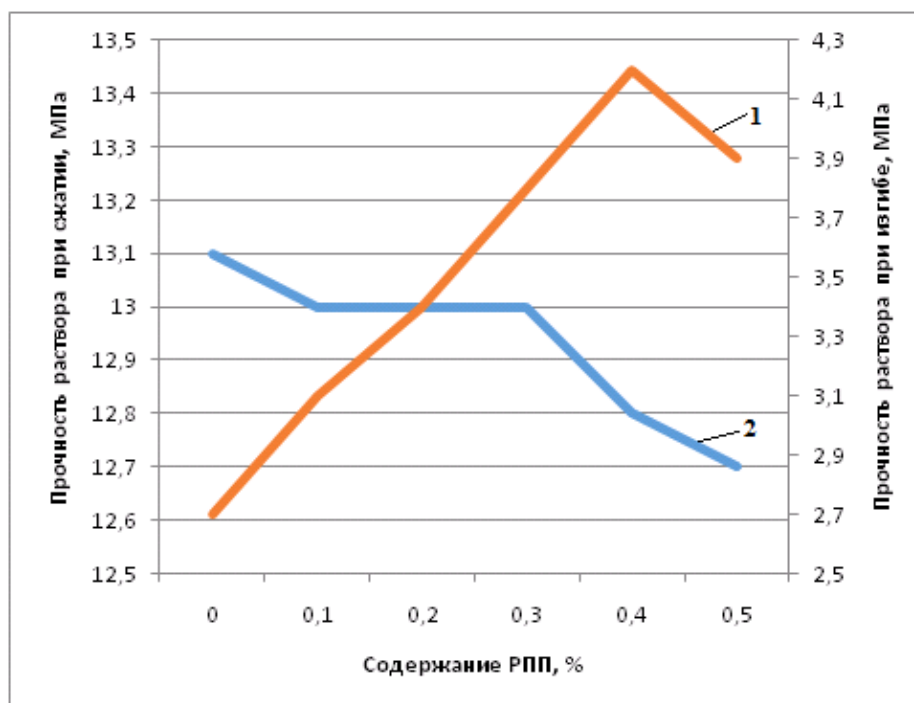


Рисунок 3. 20 – Влияние количества РПП на прочность при изгибе и сжатии раствора (1 – прочность при изгибе, 2 – прочность при сжатии)

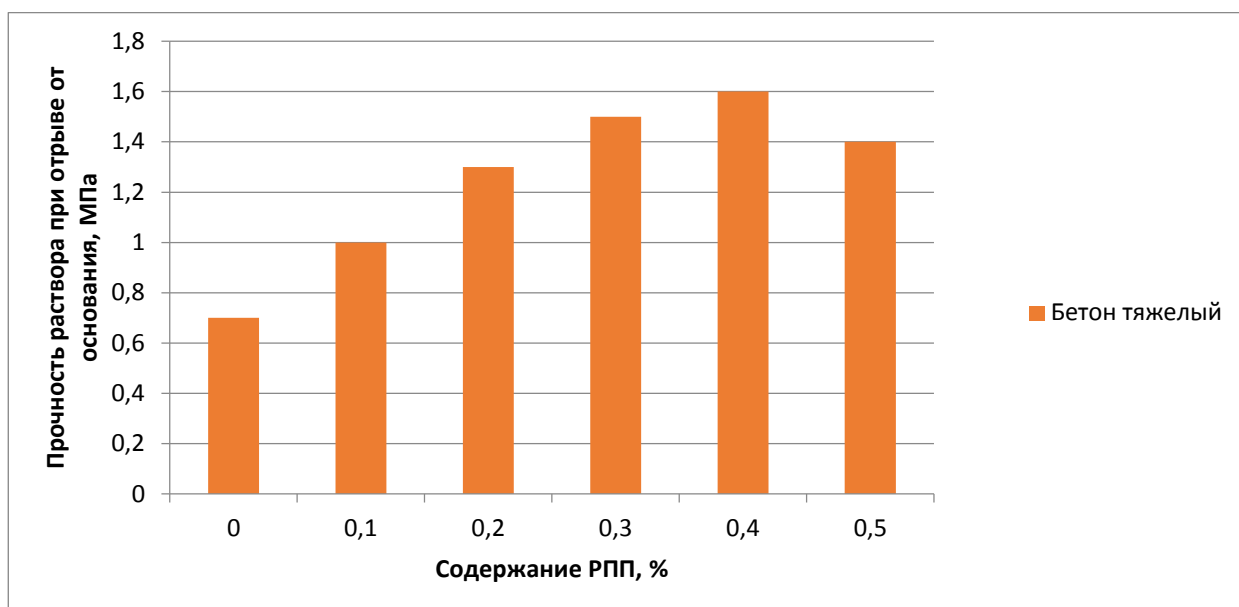


Рисунок 3. 21 – Влияние количества РПП на прочность при отрыве от основания.

Анализ экспериментальных данных показал, что введение в состав смеси РПП увеличивает прочность при изгибе и при отрыве от основания. Максимального увеличения прочности при изгибе удалось достичь при введении 0,4 % РПП. Прочность при этом увеличилась на 35,7 %. При введении 0,4 % РПП также удалось достичь наибольшего увеличения прочности при отрыве от основания. Прочность при отрыве от бетонного основания при этом увеличилась в 2 раза.

Разрушение адгезионных связей отделочного слоя с материалом основания может быть следующих видов [124].

1. адгезионное – происходит отрыв на границе соединенных поверхностей (адгезия меньше когезии);
2. когезионное – разрыв происходит по массиву адгезива или субстрата (адгезия больше когезии);
3. смешанное – наблюдается частичное разрушение субстрата и частичное разрушение адгезива.

На рис. 3.22 представлены варианты отрыва покрытия от основания с характеристикой типов отрыва [163].

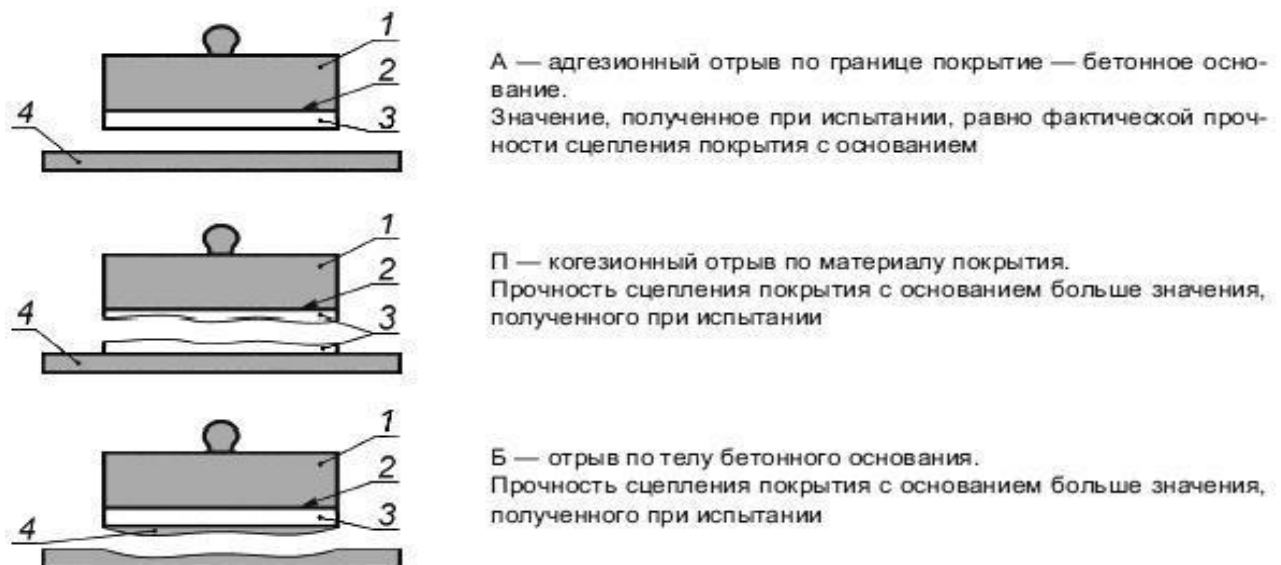


Рисунок 3.22 – Варианты отрыва покрытия от основания

1 - металлический штамп; 2 - клей; 3 - покрытие; 4 - основание

Тип А характеризует адгезионное разрушение и минимальное число контактов между раствором слоем и материалом основания. Разрыв по поверхности типа П произойдет при когезионном характере разрушения, то есть по раствору составу. При смешанном характере разрушения (тип Б) разрыв будет происходить как по контактной зоне, так и слою растворной части и по основанию [124].

Важно отметить, что при испытании растворов без РПП характер разрушения находился по границе контакта клея и основания, наблюдался адгезионный отрыв. При добавлении в раствор РПП наблюдался смешанный характер разрыва

адгезионных связей.

Важнейшее свойство редиспергированных в воде порошков состоит в том, что при отверждении раствора они создают «резиновые мостики» (рисунок 3.23) в порах цементного камня и на границе с основанием. При высыхании они образуют пленки и выполняют роль вяжущего, т.е. в процессе сушки или схватывания они скрепляют наполнители, повышая сцепление с органическим или неорганическим основанием.

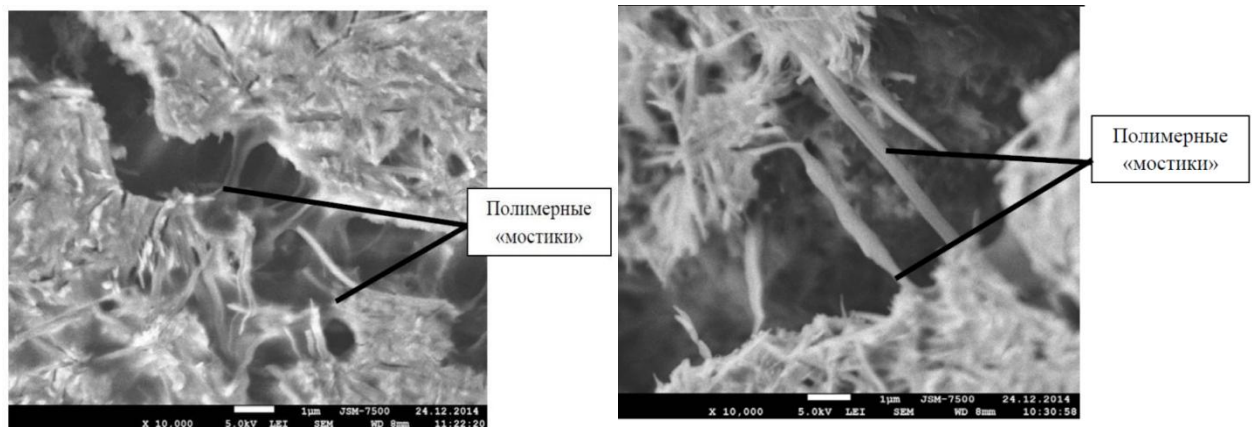


Рисунок 3.23 – Структура цементного камня модифицированного редиспергируемым полимерным порошком

Таким образом, введение РПП в цементно-песчаные растворы повышает прочность при изгибе и прочность сцепления с исследуемыми основаниями. На прочность при сжатии добавление РПП существенно влияния не оказывает, что согласуется с результатами из открытых источников [7, 146, 147, 149, 57, 157–162].

3.5.3 Влияние содержания порошковых полимеров на стойкость к образованию трещин

Для испытания приготавливалась растворная смесь, содержащая дисперсную минеральную добавку (7 % от массы цемента), гидратную известь (25 % от массы цемента), МЦ (0,4 % от массы сухой смеси). РПП вводился в количестве от 0,2 до 0,5 % от массы сухой смеси. Испытания проводились по ГОСТ 33083-2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для напольных работ. Технические условия» [166]. Опыты проводились на слое раствора толщиной 20 мм. Ре-

зультаты стойкости к образованию трещин представлены в табл. 3.23.

Таблица 3.23 – Влияние количества РПП на стойкость к образованию трещин

Продолжительность твердения, сутки	Глубина раскрытия трещин, мм, при количестве РПП, % мас.					
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины от- сутствуют
2	0,6	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины от- сутствуют
3	0,8	0,6	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины от- сутствуют

Анализ экспериментальных данных показал, что при введении РПП стойкость к образованию трещин увеличивается. При добавлении 0,2 % РПП через 1 сутки твердения трещины в слое раствора толщиной 20 мм не обнаружены. Наибольшей стойкостью к образованию трещин обладает смесь, содержащая 0,4 – 0,5 % РПП. Трещины в такой смеси не обнаружены через 3 суток твердения.

Полученные экспериментальные результаты согласуются с литературными данными [160-162]. Предположительно в результате введения в состав цементно-песчаной системы упруго-вязкого полимера который уменьшает концентрацию напряжений формирующихся в микродефектных областях матрицы и сдерживает развитие микротрещин которые могут развиваться в макротрещины [14, 151, 154].

3.6 Влияние волокнистых наполнителей на свойства раствора

Эффективность дисперсного армирования сухих строительных смесей напрямую зависит от правильного выбора вида волокон исходя из функционального назначения армируемого материала, и во многом она определяется совместимостью волокон с минеральной матрицей, количеством волокон, способом производства работ и условиями последующей эксплуатации.

В качестве волокнистых наполнителей использовали полиакрилонитриловые волокна (ПАН), целлюлозные и базальтовые волокна. Волокна вводились в состав сухой смеси, а затем добавлялась вода и смесь тщательно перемешивалась. Из готовой растворной смеси формовались образцы балочки размером 40x40x160 мм, которые твердели 28 суток при температуре + 20 - + 22 °С и влажности воздуха 60 %. Результаты испытаний приведены в таблица 3.24 и на рисунок 3.24.

Анализ экспериментальных данных показал, что введение дисперсных волокнистых добавок приводит к увеличению прочности при изгибе. Наибольшее увеличение прочности достигнуто при введении базальтовых волокон. При этом оптимальное содержание волокон независимо от их вида составляет 0,6 %. Прочность при изгибе при этом увеличивается на 21 % по сравнению с составом без волокон и в 1,9 раза по отношению к составу без волокон и РПП.

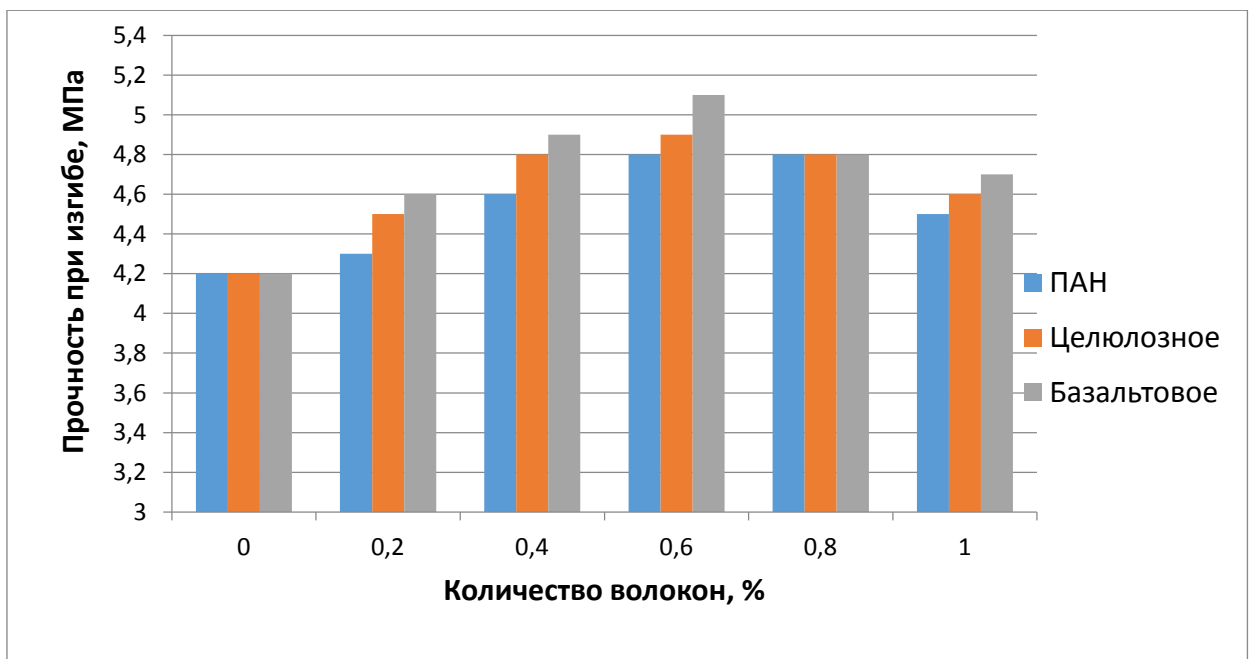


Рисунок 3.24 – Влияние минеральных волокон на прочность при изгибе раствора напольной смеси

Таблица 3.24 - Влияние минеральных волокон на прочность при изгибе раствора напольной смеси

Вид волокон	Прочность при изгибе, МПа, в зависимости от количества волокон, % мас					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Контрольный состав (не содержащий волокон, РПП) - 2,7						
Состав содержащий 0,4 % РПП - 4,2						
ПАН	4,2	4,3	4,6	4,8	4,8	4,5
Целлюлозное		4,5	4,8	4,9	4,8	4,6
Базальтовое		4,6	4,9	5,1	4,8	4,7

Для испытания по стойкости к образованию трещин приготавливалась растворная смесь, содержащая дисперсную минеральную добавку 7 % от массы цемента, гидратную известь - 25 % от массы цемента, МЦ- 0,4 % от массы сухой смеси, РПП - 0,4 % от массы сухой смеси. Испытания проводились на слое раствора толщиной 20 мм, по ГОСТ 33083-2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для напольных работ. Технические условия» [164]. Результаты стойкости к образованию трещин представлены в таблица 3.25 и на рис. 3.25.

Таблица 3.25 – Влияние вида и количества волокон на стойкость к образованию трещин

Продолжительность твёрдения, сутки	Глубина раскрытия трещин, мм, при количестве волокон, % мас.					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
ПАН						
1	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
2	0,6	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
3	0,8	0,6	0,5	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
Целлюлозные волокна						
1	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
2	0,6	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
3	0,8	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
Базальтовые волокна						
1	0,5	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
2	0,6	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют
3	0,8	0,5	0,4	трещины отсутствуют	трещины отсутствуют	трещины отсут- ствуют

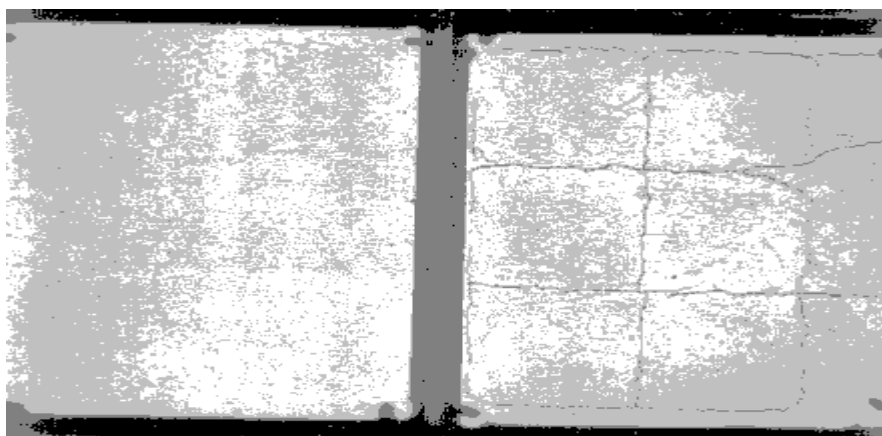


Рисунок 3.25 – Поверхность раствора после испытания на стойкость к трещинообразованию: с базальтовым волокном (слева) и без него (справа)

Анализ экспериментальных данных показало, что введение волокон приводит к увеличению стойкости к образованию трещин. Наибольшая трещиностойкость получена при введении базальтовых волокон, добавление которых в количестве 0,6 % обеспечивает трещиностойкость в слое раствора 20 мм. Введение ПАН и целлюлозных волокон менее эффективно.

Проведенный микроструктурный анализ контактной зоны базальтового волокна и цементного камня (рисунок 3.26) позволил выявить новообразования на поверхности волокон, образовавшиеся вследствие химического взаимодействия базальтового волокна и продуктов гидратации цемента.

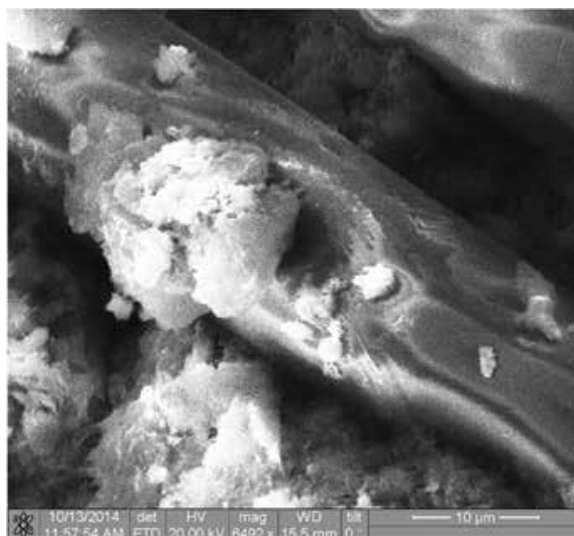


Рисунок 3.26 - Структура цементного камня, армированного базальтовым волокном в возрасте 28 суток

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Увеличение модуля крупности песка с 0,99 (контрольный состав) до 3,47 путем отсеивания мелкой фракции приводит к увеличению прочности при сжатии раствора в возрасте 28 суток на 14,0 %; уменьшение модуля крупности песка до 0,27 путем отсеивания крупной фракции приводит к снижению прочности при сжатии раствора при модуле крупности 0,27 на 28,4 % вследствие большей его удельной поверхности и, большего необходимого расхода воды. При этом при постоянной консистенции раствора количество воды при уменьшении модуля крупности увеличивается на 38 %.

2. Увеличение количества загрязняющих примесей в песке до 5 % приводит к снижению прочности раствора на 36,1 % вследствие большой удельной поверхности илистых и глинистых частиц и, большего необходимого расхода воды, идущей на увлажнение этих частиц. Илистые и глинистые частицы препятствуют сцеплению цементного камня с заполнителем, снижая прочность контактной зоны.

3. Вследствие большой удельной поверхности частичек гидратной извести с увеличением ее содержания до 30 % водоудерживающая способность растворной смеси увеличивается до 84 %, расслаиваемость при этом снижается до 1 %.

Растворная смесь, содержащая гидратную известь, имеет большую подвижность и более длительный период ее сохранения (до 5 часов). Однако водостойкость и прочность раствора снижаются (до 77,4 %).

4. Сроки начала и конца схватывания цементного теста уменьшаются при введении добавок. При этом, влияние $\text{Al}(\text{OH})_3$ проявляется сильнее, чем Al_2O_3 . Продолжительность начала схватывания при этом сокращается на 47 %, конца схватывания – на 30 %. Оптимальная дозировка $\text{Al}(\text{OH})_3$ с точки зрения обеспечения максимальной прочности искусственного камня составляет 1 % мас. Результаты комплексного рентгенфазового анализа показывают, что более глубокая гидратация цемента проявляется при введении $\text{Al}(\text{OH})_3$.

5. Цементный камень с введенным $\text{Al}(\text{OH})_3$ обладает более плотной, однородной и мелкокристаллической структурой с малым количеством пор. При введении $\text{Al}(\text{OH})_3$ существенное различие в структуре цементного камня отмечается в содержании пор диаметром менее 1,2 мкм. Их общий объем и соответственно суммарная поверхность возрастают, при этом основная доля суммарной поверхности (более 95 %) приходится на поры диаметром 0,15 мкм и менее.

6. С увеличением дисперсности метилцеллюлозы до удельной поверхности 400 кг/м^2 продолжительность ее растворения сократилась с 50 минут до 12 минут в нейтральной среде и до 6 минут в щелочной среде. Ввиду разветвленного строения макромолекул целлюлозы, которое способствует обволакиванию полимером частиц цемента и препятствует проникновению воды для взаимодействия с цементом и отсутствует рост цементных новообразований с увеличением содержания МЦ, процесс схватывания цемента замедляется, что продлевает период времени сохранения раствором первоначальной подвижности.

7. В результате уменьшения свободной воды в композиционной системе, модифицированной полимерными добавками, происходит интенсивное набухание полимера в растворе и значительно увеличивается водоудерживающая способность растворной смеси, состоящей из 30 % гидратной извести, 0,5 % РПП и 0,4 % МЦ составляет 99 %.

8. Использование добавок с упруго-вязкими свойствами в составе цемент-

но-песчаной матрицы улучшает прочность при изгибе и при отрыве раствора от бетонного основания. Наибольшее увеличение прочности достигается при введении 0,4 % РПП. Прочность при изгибе увеличивается на 55,6 %, при отрыве от бетонного основания - в 2 раза. На прочность при сжатии добавление РПП особого влияния не оказывает. Введение РПП увеличивает стойкость к образованию трещин. При добавлении 0,2 % РПП через 1 сутки твердения трещины в слое раствора толщиной 20 мм не обнаружены. Наибольшей стойкостью к образованию трещин обладает смесь, содержащая 0,4 – 0,5 % РПП. Трещины в такой смеси не обнаружены через 3 суток твердения.

9. Увеличение прочности при изгибе происходит в результате добавления дисперсных армирующих волокон. Наибольшее увеличение прочности достигнуто при введении базальтовых волокон. При этом оптимальное содержание волокон составляет 0,6 %. Прочность при изгибе при этом увеличивается на 21 % по сравнению с составом без волокон и в 1,9 раза по отношению к составу без волокон и РПП. Наибольшая трещиностойкость получена при введении базальтовых волокон, добавление 0,6 % которых обеспечивает трещиностойкость в слое раствора 20 мм уже через сутки твердения. Введение ПАН и целлюлозных волокон менее эффективно.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СУХИХ НАПОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

4.1 Улучшение составов сухих смесей

При составлении рецептур сухих строительных смесей использовали имеющиеся рекомендации [2, 173-183], учитывали результаты исследования физико-механических показателей растворных смесей и растворов модифицированных дисперсной минеральной добавкой, порошковыми полимерами и волокнами, функциональное назначение сухих смесей, условия твердения и эксплуатации.

Для оптимизации составов сухих смесей использован метод многофакторного планирования эксперимента.

Для оценки свойств приготавливалась смесь следующего состава: вяжущее вещество – 313 кг, песок – 1400 кг. Количество воды принималось согласно п. 3.3. Так как $Al(OH)_3$ наибольшее влияние оказывает на прочность при сжатии, то согласно экспериментальным данным приведенным в третьей главе, для дальнейших исследований принято ее оптимальное количество, то есть 1 % от массы цемента.

В качестве факторов варьирования приняты: x_1 – количество РПП, x_2 – количество гидратной извести, x_3 – количество метилцеллюлозы, x_4 – количество волокон. В качестве основных свойств определялись:

- для растворной смеси - водоудерживающая способность, подвижность, сохраняемость первоначальной подвижности, расслаиваемость;
- для раствора - прочность при изгибе, прочность сцепления при отрыве от основания и стойкость к образованию трещин.

Уравнение регрессии для четырех факторов на двух уровнях имеет вид:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{1,3}x_1x_3 + b_{1,4}x_1x_4 + b_{2,3}x_2x_3 + b_{2,4}x_2x_4 + b_{3,4}x_3x_4 + b_{1,2,3}x_1x_2x_3 + b_{1,2,4}x_1x_2x_4 + b_{1,3,4}x_1x_3x_4 + b_{2,3,4}x_2x_3x_4 + b_{1,2,3,4}x_1x_2x_3x_4, \quad (4.1)$$

где: x_1, x_2, x_3, x_4 – значения факторов;

b_0 – свободный член, равный выходу при $x_0 = 1$;

b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты регрессии определенных факторов, свидетельствующие о влиянии на процесс того или иного фактора;

$b_{1,2}, b_{1,3}, b_{1,4}, b_{2,3}, b_{2,4}, b_{3,4}$ – коэффициенты при произведениях факторов, указывающие о двойных взаимодействиях между факторами;

$b_{1,2,3}, b_{1,2,4}, b_{1,3,4}, b_{2,3,4}$ – коэффициент регрессии, указывающий на тройное взаимодействие факторов;

$b_{1,2,3,4}$ – коэффициент регрессии, указывающий на взаимодействие четырех факторов;

Испытания были проведены согласно плана эксперимента, приведенном в таблицах 4.1, 4.2. Исследуемым факторам в планируемом эксперименте, были приняты условные нулевые уровни.

Таблица 4.1 – Значения факторов варьирования

Наименование фактора	Условное обозначение	Уровень варьирования факторов	
		-1	+1
Количество РПП, % мас.	X_1	0,3	0,5
Количество гидратной извести, % мас.	X_2	15	25
Количество метилцеллюлозы, % мас.	X_3	0,2	0,4
Количество волокон, % мас.	X_4	0,4	0,8

Нулевой состав, используемый для контроля:

- количество РПП – 0,4 %;
- количество гидратной извести – 20 %;
- количество метилцеллюлозы – 0,3 %;
- количество волокон – 0,6 %.

Таблица 4.2 – Матрица планирования эксперимента (2^3)

№ состава 1	Матрица планирования			
	x_1	x_2	x_3	x_4
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1

Составы для запланированного эксперимента с наименованием определяющих факторов указаны 4.3.

Таблица 4.4 – Результаты испытаний свойств растворной смеси и раствора (отклики)

№ состава	Наименование показателя						
	водоудерживающая способность, %	подвижность, см	сохранение первоначальной подвижности, час	расплаиваемость, %	прочность при изгибе, МПа	прочность сцепления при отрыве от основания, МПа	стойкость к образованию трещин
1	95,2	8,0	4,0	3,7	4,8	1,4	3,00
2	97,0	8,0	4,0	3,0	5,0	1,6	3,50
3	96,5	12,0	4,5	1,6	4,6	1,3	3,25
4	98,3	12,0	4,5	1,0	4,7	1,5	3,75
5	95,7	6,5	5,0	2,5	4,5	1,5	3,25
6	96,5	6,0	5,0	2,0	4,7	1,7	3,75
7	98,7	10,5	6,0	0,6	4,3	1,4	3,50
8	99,8	10,0	6,0	0,2	4,4	1,6	4,00
9	95,2	7,0	4,0	3,5	5,0	1,4	4,00
10	97,0	7,0	4,0	3,0	5,2	1,6	4,50
11	96,5	11,5	4,5	1,5	4,8	1,3	4,25
12	98,3	11,0	4,5	1,0	4,9	1,5	4,75
13	95,7	5,0	5,0	2,4	4,7	1,5	4,25
14	96,5	5,0	5,0	2,0	4,9	1,7	4,75
15	98,7	9,5	6,0	0,5	4,5	1,4	4,50
16	99,8	9,0	6,0	0,1	4,6	1,6	5,00

Расчет коэффициентов регрессии проведен по формулам:

$$b_i = 1 / N \sum \bar{y}_N x_i^N, \quad (4.2)$$

$$b_{i,j} = 1 / N \sum^N \bar{y}_N x_i^N x_j^N , \quad (4.3)$$

$$b_0 = 1 / N \sum^N \bar{y}_N x_0^N , \quad (4.4)$$

где: $N = 2^i$ — число вариантов в матрице планирования,

y_N — значения среднего выхода процесса в N -м варианте,

x_i^N — значения данного фактора в N -м варианте.

Для оценки значимости коэффициентов регрессии, определена их выборочная дисперсия $s^2[bi]$. Для расчета коэффициентов регрессии мы использовали средние значения y_N из трех повторностей (в таблице 4.4 приведено среднее значение).

Было изучено – возможно ли использование линейной модели вида

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 . \quad (4.5)$$

Для уменьшения случайной ошибки, для каждого состава проводилось 24 измерения. Таким образом, все значения в матрице (4.5) вычислялись как средние арифметические по 24 замерам.

Неизвестные коэффициенты в уравнении регрессии (4.1) находились по методу наименьших квадратов из условия минимума функционала.

Для водоудерживающей способности получено уравнение:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 88,625 + 6,875x_1 + 0,222x_2 + 4,625x_3 , \quad (4.6)$$

для подвижности:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 5,187 - 1,25x_1 + 0,413x_2 - 9,375x_3 - 2,5x_4, \quad (4.7)$$

для сохраняемости первоначальной подвижности:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 1,5 + 0,075x_2 + 6,25x_3 , \quad (4.8)$$

для расслаиваемости:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 8,3 - 2,5x_1 - 0,195x_2 - 5x_3 - 0,188x_4, \quad (4.9)$$

Для прочности при изгибе получено уравнение:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 5.075 + 0.75x_1 - 0.025x_2 - 1.5x_3 + 0.5x_4, \quad (4.10)$$

для прочности сцепления при отрыве от основания:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 1.15 + x_1 - 0.01x_2 + 0.5x_3 - 3.35 \cdot 10^{-15}x_4, \quad (4.11)$$

для стойкости к образованию трещин:

$$\hat{y}(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0.625 + 2.5x_1 + 0.025x_2 + 1.25x_3 + 2.5x_4. \quad (4.12)$$

Для проверки статистической значимости найденных коэффициентов была вычислена величина:

$$t_j = \frac{b_j}{s_{bj}}, \quad (4.13)$$

где s_{bj} – стандартная ошибка коэффициента b_j . Значения t_j сравнивались с критической величиной $t(1-\alpha/2, n-m) = 2.201$ для $\alpha = 0.05$, $n = 16$, $m = 5$ (m – количество коэффициентов в уравнении регрессии). Сравнение показало, что для коэффициента $b_4 = -3.35 \cdot 10^{-15}$ уравнения (4.11) условие $|t_j| > t(1-\alpha/2, n-m)$ не выполняется и, следовательно, из уравнения (4.11) его можно исключить. Все остальные коэффициенты уравнений (5) – (7) на уровне значимости $\alpha = 0.05$ статистически значимы.

Для определения качества предложенных моделей для каждого уравнения (4.6) - (4.12) были вычислены множественный коэффициент детерминации R^2 и приведенный коэффициент детерминации $\hat{R}^2$:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad \hat{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-m} \cdot (1 - R^2). \quad (4.14)$$

Анализ уравнений проводился методом сечений, с использованием математического пакета «Mathcad», с помощью которого были построены графики линий равного уровня. Для этого одному из варьируемых факторов задавалось постоянное значение (максимальное, минимальное или среднее), а по двум другим строился график. Таким образом, оценивая полученные графики, были выбраны

девять, которые наглядно описывают зависимость водоудерживающей способности, подвижности, сохраняемости первоначальной подвижности, расслаиваемости, прочности при изгибе, прочности при отрыве от основания и стойкости к образованию трещин от содержания компонентов сухой смеси: РПП, гидратной извести, МЦ и волокнистых добавок.

Зависимость подвижности растворной смеси от факторов варьирования приведена на рисунке 4.1. На рис.4.2 представлены графики поверхности (а) и график изолиний (б) для уравнения (3). Значения добавок приведены в нормированном виде, где «0» соответствует минимальному количеству добавки, «1» - максимальному количеству.

Основное влияние на сохранение первоначальной подвижности оказывает МЦ, в меньшей степени – добавка гидратной извести. Волокно и РПП не оказывают влияние на сохранение первоначальной подвижности. Из уравнения (1) видно, что добавка микроармирующих волокон не влияет на водоудерживающую способность растворной смеси.

Зависимость прочности раствора от факторов варьирования приведена на рисунке 4.3. Поскольку уравнения (2) и (4) демонстрируют зависимость подвижности и расслаиваемости растворной смеси от четырех факторов, то для построения графиков поверхности отклика одному из варьируемых факторов задавалось постоянное значение (среднее), а по трем другим строился график. Для построения тернарных графиков использовался математический пакет STATIS-TICA. Таким образом, оценивая полученные графики, были выбраны девять, которые наглядно описывают зависимость подвижности и расслаиваемости от содержания компонентов сухой смеси: РПП, гидратной извести, МЦ и волокнистых добавок.

Так, наибольшая прочность на изгиб (5,175 МПа) получается для смеси со следующим составом: гидратированная известь - не более 15 % от массы цемента; метилцеллюлоза - 0,2 %; РПП - 0,5 %; базальтовые волокна - 0,8 %.

Для достижения максимальной прочности отрыва от основания (1,7 МПа) был рассчитан следующий состав: гидратированная известь - не более 15 мас.% цемента; метилцеллюлоза - 0,4 %; РПП - 0,5 %; базальтовые волокна - 0,4 %.

Наибольшая трещиностойкость (5 часов) была у состава: гидратированная известь составляла не более 25 мас. % цемента; метилцеллюлоза - 0,4 %; РПП - 0,5 %; базальтовые волокна - 0,8 %.

Во всех предложенных составах присутствовала добавка $\text{Al}(\text{OH})_3$ – 1 % от массы цемента.

Стойкость к образованию трещин увеличивается при введении гидратной извести, полимерных и волокнистых добавок. Наибольший вклад при этом вносит содержание волокнистых добавок и РПП. Варьируя эти факторы можно повысить трещиностойкость раствора с 3 до 5 часов.

Все полученные уравнения регрессии согласуется с приведенными в главе 3 экспериментальными данными.

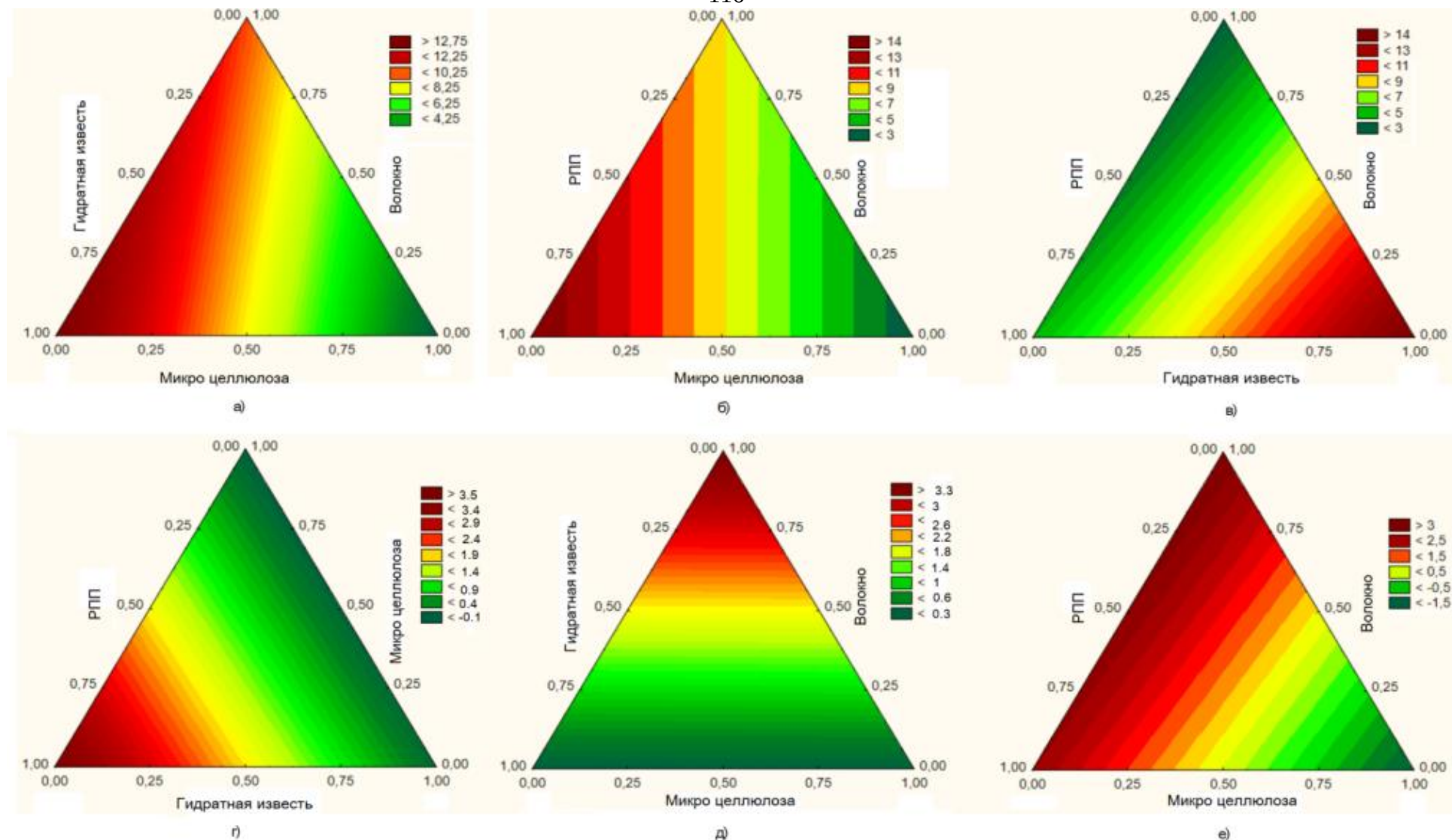


Рисунок 4.1 – Изменение подвижности при фиксированном количестве РПП (а), гидратной извести (б), МЦ (в); изменение расщавляемости при фиксированном количестве волокна (г), РПП (д), МЦ (е)

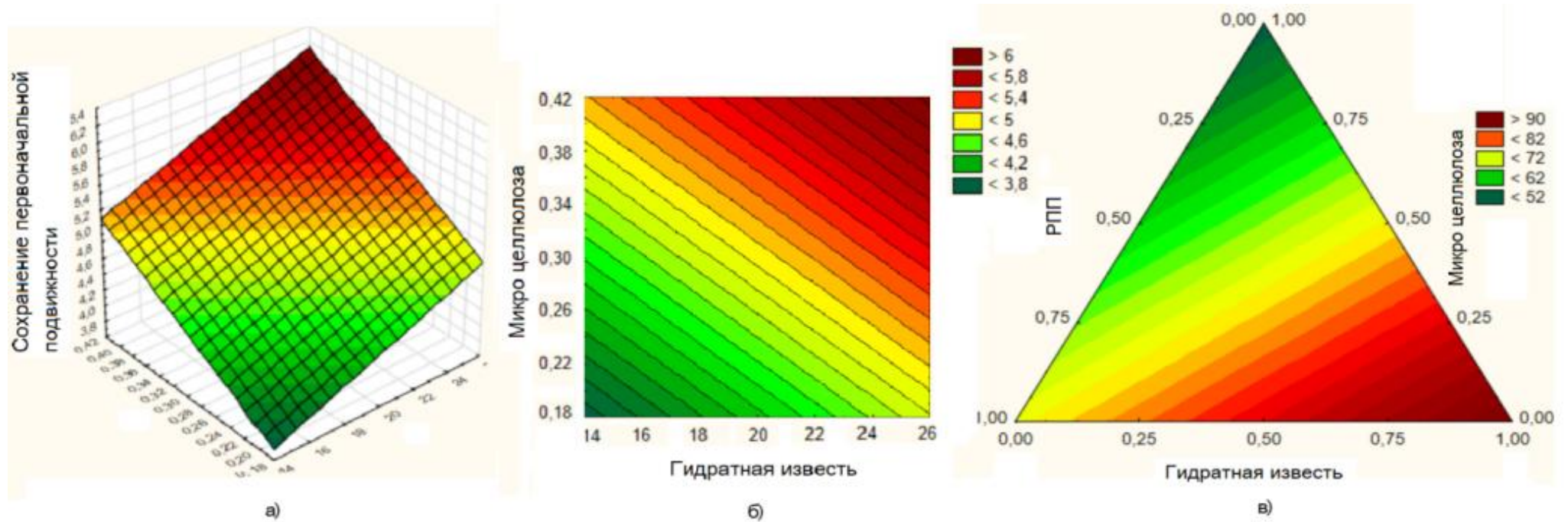


Рисунок 4.2 – Графики зависимости сохранения первоначальной подвижности от величины добавок гидратной извести и МЦ (а, б) и зависимости водоудерживающей способности от величины РПП, гидратной извести и МЦ (в)

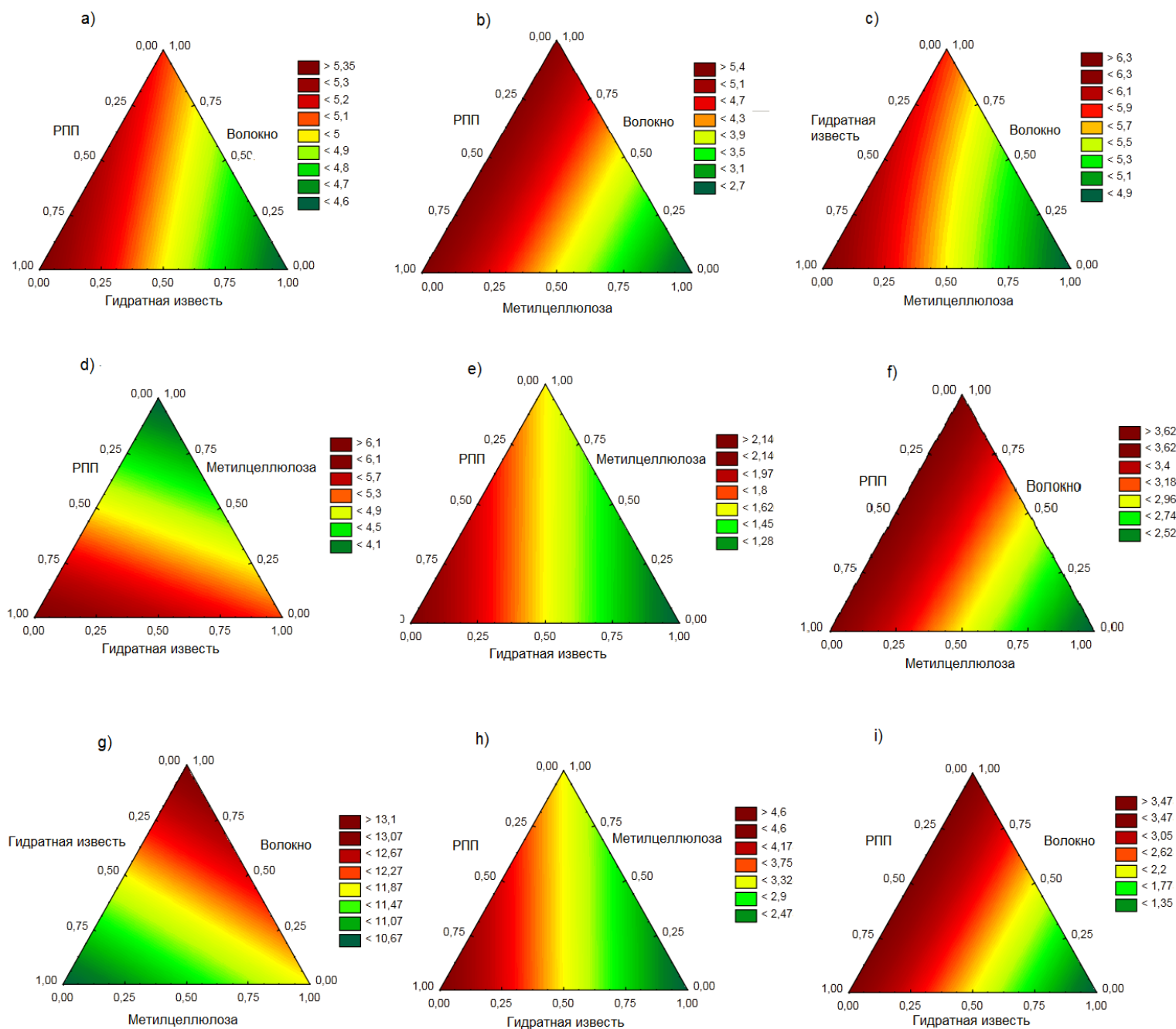


Рисунок. 4.3. Графики
прочности при изгибе
 при фиксированной доле:
 а) метилцеллюлозы 0,3 %;
 б) гидратной извести 20 %;
 с) волокна 0,6%; d) РПП 0,4 %
стойкости к образованию
трещин
 при фиксированной доле:
 f) гидратной извести – 20 %;
 g) РПП - 0,4 %;
 h) волокна - 0,6 %;
 i) метилцеллюлозы - 0,3 %.

В результате многофакторного планирования эксперимента и их математической обработки получены уравнения регрессии 4.6 – 4.12, с помощью которых можно моделировать состав сухой смеси в зависимости от требуемых показателей. При этом соотношение «вяжущее: песок» остается неизменным, по объему оно составляет 1 : 3,2. Количество добавок варьируется в пределах определенных в третьей главе. Таким образом, можно составить широкую рецептуру в зависимости от требуемых свойств.

Так, например, для напольных составов, применяемых с наружной стороны здания можно порекомендовать следующий состав добавок:

- гидратная известь – не более 25 % от массы цемента,
- гидроксид алюминия – 1 % от массы цемента
- метилцеллюлоза – 0,4 %,
- РПП – 0,5 %,
- базальтовые волокна – 0,8 %.

Напольная смесь данного состава будет обладать следующими свойствами: водоудерживающая способность – 99,3 %, подвижность – 9,0 см, период сохранения подвижности – 6,0 ч, расслаиваемость – 0,1 %. Технические характеристики раствора, на основе напольной смеси приведенного состава следующие: прочность при сжатии – 26 МПа, прочность при изгибе – 4,6 МПа, прочность при отрыве от бетонного основания – 1,6 МПа, стойкость к образованию трещин - 5 ч.

4.2 Исследование морозостойкости растворов

На морозостойкость исследован раствор, полученный из сухой напольной смеси для наружных работ. Исследования проходили в аккредитованной лаборатории (аттестат аккредитации № RA.RU/21HE03 от 21.02.2018 г.).

Смесь имела соотношение по объему «вяжущее : песок» равное 1 : 3,2; гидратная известь – 25 %, РПП – 0,5 %, базальтовые волокна – 0,8 %, метилцеллюлоза – 0,4 %, $Al(OH)_3$ – 1 % от массы цемента.

Испытания на морозостойкость проводили по стандартной методике. Готовили образцы-кубы с размером ребра 70мм. Твердели полученные образцы 28 су-

ток в нормальных условиях твердения.

Значения прочности при сжатии раствора при испытании на морозостойкость согласно циклам замораживания и оттаивания показаны таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Значение прочности раствора испытанного на морозостойкость

Наименование материала	Число циклов попеременного замораживания и оттаивания, предел прочности при сжатии МПа			
	0	5	25	50
ССН	26,00	25,04	24,15	23,17

Снижение прочность наблюдалась после 5 циклов испытаний на морозостойкость и составила 3,7%. Однако снижение прочности более чем на 10% было зафиксировано после 50 циклов. В результате испытаний на морозостойкость марку принимаем равной F75.

Изменение прочности образцов относительно начальных значений указано в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Изменение прочности в зависимости от циклов на морозостойкость

Наименование смеси	Изменение прочности в зависимости от числа циклов, %			Марка по морозостойкости
	5	25	50	
ССН	- 3,7	- 7,1	-10,9	F75

Повышение морозостойкости может быть во многом обусловлено изменением структуры цементного камня при введении добавок, размеров пор и их распределения.

Необходимо учесть, что значительная часть воды в порах цементного камня находится в адсорбционных слоях на поверхности пор. Вода, адсорбированная на поверхности твердого тела, как показывают многочисленные опубликованные данные, значительно отличается по своим свойствам от объемной воды [129, 185, 187].

Толщина адсорбционных пленок может составлять от десятых долей мик-

рометра до 2 мкм [129]. В тонких пленках воды, находящихся в энергетическом поле твердого тела, происходит увеличение степени упорядоченности распределения молекул, что приводит, соответственно, к изменению плотности воды и других ее свойств. Капилляры где находится пленочная вода, в период замораживания и оттаивания не разрушаются. Толщина слоя пленочной воды, по литературным данным, составляет 0,2 – 0,6 мкм. То есть, в порах диаметром менее 1 мкм вода замерзать не будет [129, 184, 185].

Морозостойкость контактной зоны была определена по основному методу (арбитражному) от бетонного основания. В качестве бетонного основания была подготовлена плита размером 500×150×40 мм с пределом прочности на сжатие В20 и подготовкой поверхности А1. Образцы растворной смеси для испытания имели форму цилиндра диаметром 50 мм толщиной 10 мм, твердение образцов 28 суток при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 5) \%$.

Таблица 4.7 – Изменение прочности образцов при испытании на морозостойкость контактной зоны

Наименование материала	Предел прочности при сжатии, МПа, в зависимости от числа циклов замораживания - оттаивания			
	0	5	10	15
ССН	1,58 (АТ-1)	1,54 (АТ-1)	1,37 (АТ-1)	1,24 (АТ-2)

Таблица 4.8 – Изменение свойств образцов при испытании на морозостойкость контактной зоны (в процентах от исходного значения)

Наименование смеси	Изменение прочности после испытаний в зависимости от числа циклов, %			Марка по морозостойкости контактной зоны
	5	10	15	
ССН	- 2,1	- 12,7	-21,3	F15

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. В результате многофакторного планирования эксперимента и его математической обработки получены уравнения регрессии, с помощью которых мож-

но моделировать состав сухой смеси в зависимости от требуемых показателей. Таким образом можно получить широкую рецептуру сухих напольных смесей в зависимости от требуемых свойств.

2. С целью повышения прочности, которая возникает в результате растяжения раствора, следует увеличить содержание в ССН редиспергируемого полимерного порошка (РПП) и волокнистых добавок. В результате сочетания этих факторов повышается прочность при изгибе раствора с 4,3 до 5,2 МПа. Наибольшей прочностью при изгибе обладает раствор, изготовленный из ССН со следующим составом: гидратная известь - не более 15 мас.% от массы цемента; метилцеллюлоза - 0,2%; РПП - 0,5%; базальтовые волокна - 0,8%.

3. Прочность сцепления при отрыве от основания повышается при увеличении количества РПП и метилцеллюлозы (МЦ). Максимальное значение возможно достичь при введении 0,5 % РПП и 0,4 % МЦ. Наибольший вклад при этом вносит содержание РПП. Для достижения максимальной прочности при отрыве от основания (1,7 МПа) необходим следующий состав ССН: гидратная известь - не более 15 мас. % от массы цемента; метилцеллюлоза - 0,4 %; РПП - 0,5 %; базальтовые волокна - 0,4 %.

4. Стойкость к образованию трещин увеличивается при введении полимерных (РПП и МЦ) и волокнистых добавок. Наибольший вклад при этом вносит содержание волокон добавок и РПП. Варьируя эти факторы можно повысить трещиностойкость раствора с 3 до 5 часов. Наибольшей трещиностойкостью (5 часов) обладает ССС следующего состава: гидратная известь - не более 25 мас.% от массы цемента; метилцеллюлоза - 0,4%; РПП - 0,5%; базальтовые волокна - 0,8%.

5. Введение $Al(OH)_3$ и модифицирующих полимерных и минеральных добавок способствует повышению морозостойкости раствора до F75. Морозостойкость раствора, содержащего 1 % мас. $Al(OH)_3$, 25 % гидратной извести, 0,3 % МЦ и 0,4 % РПП составляет F75.

ГЛАВА 5 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СУХИХ СМЕСЕЙ

5.1 Технология изготовления сухих смесей

Предлагаемая технологическая схема изготовления сухих смесей из местных сырьевых материалов с использованием полимерных добавок отечественного производства включает следующие технологические операции:

1. сушка песка в сушильных установках до влажности, равной 0,5 %;
2. фракционирование песка на ситах согласно производственной программе;
3. просушенный и фракционированный песок поступает в смеситель для перемешивания;
4. цемент и алюминий-содержащая добавка подвергается предварительно перемешиваются в сухом состоянии;
5. метилцеллюлоза подвергается распушке и помолу в шаровой мельнице;
6. далее предварительно отдозированные добавки поступают в смеситель для перемешивания с подготовленным цементом и алюминий содержащей добавкой;
7. компоненты поступившие в смеситель принудительного действия перемешиваются до установленной степени однородности;
8. полученную смесь упаковывают в тару для реализации потребителю и перемещают на склад отгрузки потребителю.



Рисунок 5.1 Технологическая схема производства ССН

Описание технологической схемы

Поступление песка. Песок привозят автотранспортом или в железнодорожных вагонах. Песок поступает в оборудованный необходимым дополнительным оборудованием (воздушный фильтр, предохранительный клапан, система аэрации, датчики уровня) силос. Из силоса песок перемещается по конвейеру, который предназначен для подачи песка в весовой бункер-дозатор, предназначенный для сухого песка. Сушильная установка барабанного типа может быть включена в состав мини завода.

Поступление цемента. Поступающий цемент на предприятие по выпуску ССН хранится в силосе. Из силоса цемент перемещается винтовым конвейером в весовой бункер-дозатор цемента для последующего поступления с добавкой на предварительное смешивание.

Подготовка цемента и алюминий содержащих добавок. Для получения

однородной смеси вяжущего и добавки смесь предварительно перемешивают в сухом состоянии.

Подача добавок. Метилцеллюлоза предварительно подвергается распушиванию и помолу (рис. 5.2). После этого она подается в бункер и затем в дозатор. Каждая добавка поступает в дозатор для дозирования.

Перемешивание компонентов. Отдозированные компоненты поступают на совместное перемешивание в смеситель. Смеситель автоматически принудительно включается после загрузки всех компонентов и перемешивает поступившие компоненты в течение определенного заданного промежутка времени, контролируемого программным обеспечением. Полученная однородная сухая цементная смесь из смесителя поступает в приемный бункер для направления на станцию фасовки.

Фасование готовых смесей. Из бункера готовой продукции сухая цементная смесь направляется в приемный бункер станции фасовки. На станции фасовки сухая цементная смесь упаковывается в потребительскую тару (мешки на паллетах).

Мешки укладываются на паллеты и обтягиваются термоусадочной пленкой.

Готовые сухие смеси хранят в сухом месте при температуре не выше 40 °С. При повышении температуры или ее снижении ниже 10 °С свойства сухой смеси ухудшаются.

5.2 Оценка технико-экономической эффективности результатов работы

Себестоимость товарной продукции определена, на основании технологических и проектных решений расчетом по действующим ценам на 2024 года. Стоимость материалов на изготовление 1 т сухой смеси представлен в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Стоимость материалов на изготовление 1 кг сухой смеси

Материал	Расход на тонну	Стоимость материала, руб./кг	Цена, руб/т сухой смеси
Цемент	225	4,2	945
Песок	688	0,325	224
Гидратная известь	58	3,2	186
Al(OH) ₃	16	1,1	60
Метилцеллюлоза	3	90	270
РПП	4	90	360
Базальтовые волокна	6	175	1050
ИТОГО цена за 1 т смеси, руб			3095

Расчет себестоимости производства и отпускной цены единицы продукции представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Калькуляция на изготовление 1 т сухой напольной смеси

№ п/п	Наименование статей	Сумма, руб.	Пояснения к расчету
1	Сырье и материалы:	3095,00	Из табл.4.7
2	Вспомогательные материалы	92,85	3 % от п.1
3	Услуги сторонних организаций	154,75	5 % от п.1
4	Электроэнергия	695,6	По нормам расхода
5	Тепло	147,7	По нормам расхода
6	Единый социальный налог	200,3	38,5 % от п.7
7	Амортизационные отчисления	184,3	По нормам расхода
8	Прочие затраты	309,50	10 % от п.1
9	Себестоимость производства продукции	5401,30	Σ (1 - 9)
10	Рентабельность	540,01	10 % от п.10
11	Заработная плата	521,3	По нормам расхода

12	Отпускная цена	5941,31	Σ (10 – 11)
13	Отпускная цена с НДС	7129,57	НДС равен 20 % от п.13

Среднерыночная цена сухой напольной смеси на цементной основе в Новосибирске составляет 7,5 – 8,0 руб за 1 кг смеси. Разработанная сухая цементная смесь напольная, состоящая из компонентов отечественного производства конкурентоспособна. По своим физико-механическим характеристикам ССН не уступает зарубежным аналогам.

5.3 Опытнo-промышленная проверка результатов экспериментально-теоретических исследований. Реализация в учебном процессе

В настоящее время накоплена мировая практика применения добавок в строительных материалах различного назначения. На основе результатов исследований, проведенных в данной работе, можно сделать вывод о том, что отходы производства и отечественные полимеры могут быть использованы в технологии выпуска сухих смесей на цементной основе, стоимость такой смеси может быть экономически эффективна. Разработана техническая документация (технические условия) для технологии производства сухих строительных смесей. Теоретические и практические исследования могут обобщить и уточнить способы изготовления сухой смеси и определить их области применения [166 - 172].

В лаборатории кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин) получили ССН которая прошла опытно-промышленные испытания на ООО «Авангард». Результаты опытно-промышленных испытаний (Приложение 1) согласуются с экспериментальными данными.

Выполненные совместно кафедре строительных материалов и специальных технологий НГАСУ (Сибстрин) и ООО «Авангард» исследования по заявленной тематике позволили выпустить опытную партию сухой напольной смеси на цементной основе. На разработанные сухие смеси разработаны технические условия ТУ 5745-004-88817714-2023 «Смеси сухие напольные» (Приложение 2). Выпу-

щенная опытная партия сухой напольной смеси применялась при отделочных работах, выполняемых ООО «СтройтехТСК» в помещениях для хранения оборудования (Приложение 3).

Данные, представленные в работе можно рекомендовать применяются в образовательном процессе для подготовки студентов и аспирантов строительных специальностей, в научно-исследовательских работах студентов, а также при написании курсовых и дипломных работ и проведении научных исследований студентами всех уровней обучения по направлению «Строительство» (таблица 5.3).

Таблица 5.3 - Использование результатов диссертационной работы

№ п/п	Наименование разработки	Назначение и эффективность разработки
Нормативно-техническая документация		
1	Технические условия 5745-004-88817714-2023 «Смеси сухие напольные»	Технические условия разработаны для ООО «Авангард» и распространяются на смеси сухие на цементной основе, предназначенные для внутренних работ в зданиях жилищного и гражданского строительства
Реализация в производстве		
2	Смесь сухая напольная на цементной основе	Выпущена опытная партия на ООО «Авангард», г. Новосибирск
3	Смесь сухая напольная на цементной основе	Выполнены работы по реставрации полов напольными смесями в помещении для хранения строительного оборудования ООО «СтройтехТСК»
Реализация в учебных занятиях		
4	Применение результатов диссертационной работы в использовании эмпирических и практических	Полученные результаты применяются в образовательном процессе для подготовки студентов и аспирантов строительных специальностей, в научно-исследовательских работах студентов, а

	исследований для учебных занятий	также при написании курсовых и дипломных работ и проведении научных исследований студентами всех уровней обучения.
--	----------------------------------	--

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5

1. Исходя из проведенных исследований разработаны составы ССС на основе портландцемента с минеральными и полимерными модифицирующими добавками, технологическая схема производства сухой смеси и технические условия «Смесь сухая напольная на цементном вяжущем. Технические условия». Определены технико-экономические показатели производства сухой строительной смеси на основе портландцемента.

2. Выполненные на кафедре СМСС НГАСУ (Сибстрин) исследования по улучшению технологических свойств растворной смеси и эксплуатационных свойств раствора, позволили выпустить опытную партию сухой напольной смеси на цементной основе на ООО «Авангард».

3. Разработанная сухая цементная смесь с использованием местного сырья и полимерных добавок отечественного производства конкурентоспособна. По своим физико-механическим характеристикам не уступает зарубежным аналогам. Таким образом решена задача с импортозамещения.

4. Полученные результаты применяются в образовательном процессе для подготовки студентов и аспирантов строительных специальностей, в научно-исследовательских работах студентов, а также при написании курсовых и дипломных работ и проведении научных исследований студентами всех уровней обучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные в работе задачи выполнены, цель достигнута.

1. В результате модифицирования портландцемента алюминий-содержащими добавками (оксид и гидроксид алюминия) и добавлении гидратной извести, последующем смешивании вяжущего с предварительно распушенной метилцеллюлозой (МЦ), редиспергируемым полимерным порошком (РПП), волокнистыми добавками и предварительно высушенным заполнителем, получена ССН с повышенными эксплуатационными и технологическими свойствами. Данное технологическое решение обосновано и практически подтверждено. Это позволяет получить сухую смесь с более высокими характеристиками (водоудерживающая способность увеличивается на 4,5 %, расслаиваемость снижается на 11 %, прочность при сжатии увеличивается на 30 %, прочности при отрыве от бетонного основания – в 2,2 раза, прочность при изгибе увеличивается с 3,6 до 4,6 МПа, стойкость к трещинообразованию возрастает на 5 часов).

2. Предложен механизм структурообразования цементных систем на основе модифицированного вяжущего, связанная с рецептурно-технологическими параметрами (технология приготовления модифицированного вяжущего, количество и вид алюминий-содержащей добавки). Модифицирование цемента 1 % гидроксида алюминия приводит к более глубокой его гидратации, ускорению процесса схватывания цементного теста (начало схватывания – на 38 %, конец – на 27 %) и повышению прочности при сжатии цементных систем. Упрочнение обусловлено уплотнением структуры цементной матрицы, снижением общего объема пор в ней на 10,5 %, объема пор диаметром более 15,4 мкм – до 50 % и увеличения объема пор диаметром менее 1,2 мкм на 22 %, при этом основной объем пор (более 44 %) приходится на поры диаметром менее 50 нм.

3. Определена взаимосвязь между влиянием и последствиями рецептурно-технологических факторов, а именно способа модифицирования вяжущего и изготовления сухой смеси на формирование структуры цементной системы и ее свойства:

– способа модифицирования вяжущего, количества и вида алюминий-

содержащей добавки на образование нового кристаллогидрата (гидрогеленита), обуславливающего более глубокую гидратацию системы;

- способа введения и количества МЦ и РПП – на увеличение водоудерживающей способности смеси до 99 % за счет уменьшения содержания свободной воды (на 7 %) в композиционной системе вследствие интенсивного набухания полимера в смеси;

- количества РПП – на повышение прочности при отрыве от основания (бетон тяжелый) в результате изменения характера адгезионного отрыва с адгезионного на смешанный (адгезионно-когезионный) и механического сцепления полимера в виде мостиков на границе раствора с подложкой;

- количества и вида волокнистых добавок – химическое взаимодействие контактной зоны базальтового волокна и продуктов гидратации цемента, и полимерных компонентов способствует получению трещиностойкого раствора, благодаря чему происходит повышение прочности при изгибе в 1,9 раза.

Полученные закономерности позволяют регулировать требования к характеристикам ССН за счет изменения и совершенствования технологии производства.

4. Теоретически обоснован факт того, что использование алюминий-содержащих добавок позволяет достичь глубокой гидратации цемента с образованием новых кристаллогидратов (гидрогеленита).

5. В теоретическом плане были конкретизированы процессы взаимодействия компонентов в составе сухих смесей, что привело к усилению технологических свойств и эксплуатационных свойств растворных составов.

6. Научно подтверждена целесообразность применения водоредуцирующих и водоудерживающих (МЦ и РПП) полимерных добавок для улучшения технологических свойств растворных смесей и эксплуатационных свойств растворов;

7. Предложен научно-обоснованный подход к дисперсному армированию ССН, определено оптимальное количество и вид армирующих волокон.

8. Составлены уравнения регрессии (на основе экспериментальных данных, полученных с использованием многофакторного планирования эксперимента и их

математической обработки), с помощью которых возможно моделировать состав ССН в зависимости от требуемых показателей. При этом соотношение «вяжущее : песок» остается неизменным, по объему оно составляет 1:3,2. Количество добавок варьируется в следующих пределах (% мас.): алюминий-содержащая добавка 0,5–1,5 от цемента; гидратная известь 15–25 от цемента; МЦ – 0,2–0,4 от ССН; РПП – 0,3–0,5 от ССН; волокнистые добавки – 0,4–0,8 от ССН;

9. Составлена рецептура ССН(патент на изобретение № 2729634 «Сухая строительная смесь»), разработана технологическая схема и параметры производства сухой строительной смеси, получены растворная смесь и раствор, обладающие следующими свойствами: водоудерживающая способность – 99 %, подвижность – 9 см, период сохранения подвижности – 6 ч, расслаиваемость – 0,1 %. Характеристики полученного раствора на таком составе смеси получены следующие: время начала хождения – 24 часа, прочность при сжатии – 26 МПа, прочность при изгибе – 4,6 МПа, стойкость к образованию трещин – 5 ч, прочность при отрыве от бетонного основания – 1,6 МПа;

10. Разработаны компонентные составы смесей сухих напольных подвижностью 10-18 см, класса по прочности при растяжении при изгибе $B_{tb}1,6$ - $B_{tb}3,2$, классов по прочности при сжатии В5 - В20, прочности сцепления с основанием 0,8 - 1,6 МПа, марки по морозостойкости F75;

11. Разработаны нормативные и технологические документы на ССН на цементном вяжущем, выпущена опытная партия сухой смеси и выполнены работы по устройству стяжки. Определены технико-экономические показатели производства ССН.

Рекомендации

Проект технических условий «Смеси сухие напольные. Технические условия». Возможно внедрить технические условия и технологию изготовления цементных ССС с модифицирующими добавками на предприятиях, которые занимаются производством ССС. В программах обучения при подготовке бакалавров и магистрантов различных направлений, связанных с изучением теоретических основ и результатов экспериментальных исследований, рекомендуется использо-

вание теоретических положений и результатов исследований, которые были получены в ходе проведения диссертационных исследований, а также при выполнении курсового и дипломного проектирования, выполнения научных работ бакалаврами, магистрантами и аспирантами.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее совершенствование рецептуры путем модификации наноматериалами различной химической природы с целью повышения физико-механических характеристик и экономического эффекта применения растворных композиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дергунов С. А., Орехов С. А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства), Оренбург, 2012. – 106 с.
2. Сухие смеси в современном строительстве /Безбородов В.А., Белан В.И., Мешков П.Н. и др. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет. - Новосибирск, 1998. – 94 с.
3. Козлов В.В. Сухие строительные смеси. - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2000. – 96 с.
4. Сухие строительные смеси /Карапузов Е.К., Лутц Г., Герольд Х. и др. - Киев: Техника, 2000. – 226 с.
5. Конференция BALTIMIX-2016. Заполнители, наполнители и функциональные добавки для сухих строительных смесей, Санкт-Петербург, 2016, 200 с.
6. Мешков В.И., Мокин В.А. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей // Строительные материалы. - 2000. - № 5. С. 12-17.
7. Мешков В.И. Реология модифицированных строительных растворов //Современные технологии сухих смесей в строительстве. - 2000. С. 54-60.
8. Безбородов В.А., Белан В.И., Мешков П.И. и др. Сухие смеси в современном строительстве. Под ред. В.И. Белана. - Новосибирск: НГАСУ, 1998.-94 с.
9. Мешков В.И., Мокин В.А. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 12 - 17.
10. Белан В.И., Нерадовский Е.Г., Безбородов В.А. Применение сухих смесей в строительстве на территории Новосибирской области. // Ресурсо-энергосберегающие технологии в производстве строительных материалов, 4.1. Новосибирск. - 1997. - С. 31-33.
11. Дугуев СВ., Иванова В.Б. Механохимическая активация в производстве сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 28-29.
12. Кокин А.Д., Байер В.Е. Отделочные работы в строительстве. Справочник строителя. М: Стройиздат, 1987. - 656 с.
13. Бобрышев Александр Анатольевич Отделочные клеевые растворы на

основе сухих смесей с использованием комплексных порошковых полимерных добавок. Специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – 205 с.

14. Грушко И.М. Структура и прочность дорожного цементного бетона / И.М.Грушко, Н.Ф.Глущенко, А.Г.Ильин. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1968, – С.121-125.

15. Ицкевич С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. - М.: Высшая школа, 1991. - 271 с.2.

16. Rothfuchs G. Betonfibel. Ratgeber fЯr die Herstellung von Beton und Betonsteinerzeugnissen. Berlin: VEB Verlag Technik, 1958. - 260 S.

17. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Высшая школа, 1978. - 455 с.

18. Дерягин Б.В. Свойство тонких слоев воды вблизи твердых поверхностей / Б.В. Дерягина и др. // Связанная вода в дисперсных системах. – Вып. 5. – М.: Издательство МГУ, 1980. – С. 4 – 13.

19. Сычев М.М., Сватовская Л.Б. Некоторые аспекты химической активации цементов и бетонов / М.М.Сычев, Л.Б.Сватовская // Цемент. – 1979. – №4. – С.23-25.

20. Cussino L. Studio chimicofisico delladerenza tra il cement ed aggregate calcarei e silicici nelle malte / L.Cussino, L.Murat, A.Negra // Cemento. - 1976. – №2. – P. 73.

21. Поваренных А.С. К вопросу о природе растворимости минералов / А.С.Поваренных // Записки всесоюзного минералогического общества. –1958. – Т.87. – №2 – С.215-222.

22. Тейлор Х. Химия цемента / Х.Тейлор – М.: Мир, 1996. – с.481.

23. Regourd M. Chem. Scripta – 1985. – 26A. – P.37.

24. Regourd M. in 8th JCCC – 1986. – Vol. 1. – P.199.

25. Козлова В.К. Получение и свойства безгипсовых цементов / В.К.Козлова, А.В.Вольф, А.А.Лихошерстов, Е.В.Божок // Ползуновский вестник, Барнаул. – 2010, №3 – С.109-112.

26. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Бодуэн Дж. Наука о бетоне - М.: Стройиздат, 1986.-278 с.

27. Корнеев В.И. Ускорители и замедлители схватывания и твердения цементных сухих смесей / / 3-я международная конференция для производителей «Сухие строительные смеси для XXI века: Технологии и бизнес» 10-12 сентября СПб 2003, -С. 24-25.

28. Ратинов В.Б., Розенберг Т.Н. Добавки в бетон. - М.: Стройиздат, 1973 -207 с.

29. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И., Смирнова И.А. О механизме действия добавок - ускорителей твердения бетона. / / Бетон и железобетон, 1964, № 6 - С.23-26.

30. Заявка 489340, Япония МКИ С 04В 28/04 / Содержащий гидроксид алюминия состав, пригодный для формования методом экструзии / Сакота Хироми, Ниномия Такаси, Куано Кунио / / Кокай токе кохо. Сер.3(1)-1999.-28.- С.229-233.

31. А.С. 238507 ЧССР МКИ С 04 В 22/06 С 04 В 22/08 / Добавка для ускорения твердения цемента / Slanicka S., Sabolova J. / / Оpub. 01.11.87.

32. Forschungen zur wasserfestigkeit von Gips material / Li Guozhong, Li и др. Jianguan, Guan Ruifang / / Zement Kalk Gips, 2003,V.56, № 08/09, Р. 87-95.

33. Сари М., Лекселент Дж. Регулирование процессов схватывания и твердения минеральных вяжущих / 4-я международная конференция «Современные технологии сухих смесей в строительстве Mix-Biuld -СПб, 3-5 декабря 2002. - С. 103.

34. Производство глинозема / А.И. Лайнер, И.И. Еремин, Ю.А. Лайнер и др. - М.: Металлургия, 1978. - 344 с.

35. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы - Структура и свойства: Справочное пособие / В.С. Горшков, В.Т. Савельев, А.В. Абакумов - М.: Стройиздат, 1994. - 584 с.

36. Козлова В.К. Анализ состава и свойств клинкеров различных производителей / В.К.Козлова, А.М.Манюха, А.В.Вольф, Е.Ю.Малова, Е.В.Мануйлов //Ползуновский вестник алтайского гос. тех. университета им. И.И.Ползунова. —

2011. – №1. – С.83-86.

37. Фатеева И.И. Определение содержания некоторых минералов в клинкерах методом рационального химического анализа / И.И.Фатеева, В.К.Козлова // Цемент. – 1966. – №4. – С.24-26.

38. Козлова В.К. Сравнительные результаты определения фазового состава и микроструктуры клинкеров современными методами физико-химического анализа / В.К.Козлова, Г.В.Григорьев, Е.Ю.Малова, Е.В.Божок, Е.В.Мануйлов // Цемент и его применение. – 2013. – №3. – С.68-71.

39. Козлова В.К. Анализ состава и свойств клинкеров различных производителей / В.К.Козлова, А.М.Манюха, А.В.Вольф, Е.Ю.Малова, Е.В.Мануйлов // Ползуновский вестник алтайского гос. тех. университета им. И.И.Ползунова. – 2011. – №1. – С.83-86.

40. Хигерович М.И. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов. Расшифровка рентг. фаз./ М.И.Хигерович, А.П.Меркин. – М.: Высшая школа, 1968. – 136 с.

41. Сивков С.П. Термодинамический анализ фазообразования при твердении карбонатсодержащих цементов / С.П.Сивков // Цемент и его применение. – 2009. – № 4. – С. 112-115.

42. Любимова Т.Ю., Пинус Э.Р. // Коллоидный журнал. – 1962. – Т.24 – С.491.

43. Кокин А.Д., Байер В.Е. Отделочные работы в строительстве. Справочник строителя. М: Стройиздат, 1987. - 656 с

44. Hoshino S. XRD/Rietveld Analysis of the Hydration and Strength Development of Slag and Limestone / Seiichi Hoshino, Kazuo Yamada, Hiroshi Hirao // Blended Cement Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 4 – 2006. – № 3. – P.357-367.

45. Винник Э.М. Петрографические исследования бетона на карбонатном песке / Э.М.Винник // Труды института ВНИИЖруд – М.: Госстрой-издат, 1962 – Вып.1 – С. 17-24.

46. Пантелеев А.С. О значении тонкости помола для производства цемента с

микронаполнителями / А.С.Пантелеев // Труды совещания по применению вибропомола в промышленности строительных материалов. – М.:Промстройиздат, 1957 – с.114-119.

47. Юнг В.Н. Химия портландцемента / В.Н.Юнг. - М.: Промстройиздат, 1951. –с.547.

48. Тимашев В.В. Влияние добавок карбонатов кальция на процессы гидратации портландцемента / В.В.Тимашев, П.Г.Кожемякин // Труды института МХТИ – 1978 – Выпуск №118 – С.70-78.

49. Ицкевич С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. - М.: Высшая школа, 1991. - 271 с.2.

50. Rothfuchs G. Betonfibel. Ratgeber fЯr die Herstellung von Beton und Betonsteinerzeugnissen. Berlin: VEB Verlag Technik, 1958. - 260 S.

51. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Высшая школа, 1978. - 455 с.

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

53. Казарновский З.И. Сухие смеси - важный фактор повышения эффективности и культуры строительства. // Строительные материалы. - 2000.-№5. С. 34-36.

54. Белан В.И., Нерадовский Е.Г., Безбородов В.А. Применение сухих смесей в строительстве на территории Новосибирской области. // Ресурсо-энергосберегающие технологии в производстве строительных материалов, Новосибирск. - 1997. - С. 31-33.

55. Досков К., Биер Т., Вормейер К., Сухие смеси, содержащие алюминат-кальциевые цементы. // Строительные материалы. - 1999. - №3. С. 6-9.]

56. Корнеев В.И., Крашенинникова Л.А. Сухие строительные смеси на основе портландцемента. // Цемент и его применение - 1999. - №6. С. 27-31.

57. Северинова Г.В. Сухие гипсовые отделочные смеси в строительстве. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 6-7.

58. Лепешенкова Г.Г. Сухие цементные ремонтно-строительные смеси се-

рии Емасо. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 41-44.

59. Григорьев А.Б. Санкт-Петербургские производители сухих смесей объединяются. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 18-20.

60. Проспект фирмы «Akzo Nobel». "Реагенты Vermocoll для латексных красок". 35 с. ил.

61. Проспект фирмы «Akzo Nobel». "Общие методы анализа эфира целлюлозы (этилгидроксиэтил целлюлозы) используемого для красок и строительных смесей". 28 с. ил.

62. Цюрбригген Р., Дильгер П., фирма «Elotex» Дисперсионные полимерные порошки - особенности поведения в сухих строительных смесях. // Строительные материалы. - 1999. - №3. С. 10-15.

63. Досков К., Биер Т., Вормейер К., Сухие смеси, содержащие алюминат-кальциевые цементы. // Строительные материалы. - 1999. - №3. С. 6-9.]

64. Корнеев В.И., Крашенинникова Л.А. Сухие строительные смеси на основе портландцемента. // Цемент и его применение - 1999. - №6. С. 27-31.

65. Викторович А.М. Продукция DOW «Chimical» для индустрии строительных материалов. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 10-16.

66. Бийтц Р., Линденау Х. Химические добавки для улучшения качества строительных материалов. // Строительные материалы. - 1999. - №3. С. 13-18.

67. Амиш Ф., Рюиз Н. Использование редисперсионных порошков «Rhoimat» в производстве сухих смесей. // Строительные материалы. - 2000.-№5. С.8-9.

68. Мирчи С.А., Полонская И.Н., Компания «Рон-Пуленк» - производителям сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 1999. -№3. С. 40-45.

69. Проспект фирмы «Wolff Walsrode». Метилцеллюлоза для строительных систем. 20 с. ил.

70. Вернер Ланге. Метилцеллюлоза «Walocel M» улучшает качество систем сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 1999. - №3.-С. 38-39.

71. Герман Литц (Wacker Chemie). Минеральные штукатурки – сухие строительные смеси, модифицированные дисперсными порошками: Материалы пред-

ставленные Ваккер-Хеми ГмбХ/Технологический центр строительной химии Бургхаузен. 32 с. ил.

72. Герман Лутц (Wacker Chemie). Системы наружной теплоизоляции с сухими смесями. // Строительные материалы. - 1999. - №3. С. 36-39.

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

74. Мешков В.И. Реология модифицированных строительных растворов. //Современные технологии сухих смесей в строительстве. - 2000. С.54-60.

75. Урецкая Е.А., Жукова Н.К. и др. Модифицированные сухие смеси «Полимикс» в современном строительстве. // Строительные материалы - 2000. - №5 С. 36-38.

76. Урецкая Е.А., Жукова Н.К., Филипчик З.И., Плотникова Е.М., Конюшик И.О. Преимущества полимерминеральных сухих смесей. // Современные конструктивно-технологические системы зданий и строительные материалы. Сборник трудов. Минск, 1997. С. 71-78.

77. Харди Г. Крепление плиток клеями, модифицированными редиспергируемыми порошками. // Современные технологии сухих смесей в строительстве - 2000. С. 70-77.

78. Дугуев СВ., Иванова В.Б. Механохимическая активация в производстве сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 2000. - №5. С. 28-29.

79. Большаков Э.Л. Сухие смеси с повышенной водонепроницаемостью. // Строительные материалы. -1998. - №11. С. 23-29.

80. Большаков Э.Л. Сухие смеси для гидраизоляционных работ. // Строительные материалы. - 1999. - №3 С. 28-34.

81. Демьянова В.С., Дубошина Н.М. Сухие строительные смеси, модифицированные химическими добавками. // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 1998. - №4-5. - С. 69-72.

82. Мипов СВ. Сухие смеси для комплексных систем ОАО СП «ТИГИ Кнауф» - новое производство. // Строительные материалы. - 1997. -№4.-0.18-19.

83. Урецкая Е.А., Жукова Н.К., Плотникова Е.М. Ремонт и восстановление

строительных конструкций полимерминеральными составами. // Белорусский строительный рынок. - 2000. - №8. С. 8-13.

84. Химическая промышленность США. Том 2, под ред. Коренькова Г.Л., 1972 год, с. 620, стр. 399.

85. Бузов Б.А., Модестова Т.А., Алыменкова Н.Д. Материаловедение швейного производства: Учеб. для вузов, - 4-е изд., перераб и доп., - М., Легпромбытиздат, 1986 – 424.

86. Пакшвер Э. А., в кн.: Карбоцепные синтетические волокна, под ред. К. Е. Перепелкина, М., 1973;

87. Энциклопедия полимеров, т. 2, М., 1974, с. 702.

88. Циперман В. Л., Нестерова Л. П., Полиакрилонитрильные волокна (типы, свойства, области применения, производители), М., 1984 (Обзорная информация НИИТЭХИМ. Синтетические волокна). В. Д. Фихман.

89. Большая советская энциклопедия. - М.: Советская энциклопедия. 1969 - 1978.

90. Большая энциклопедия нефти и газа.

91. Ricem ® AC - PETROSTROY

92. Применение волокон в сухих строительных смесях. Василик П.Г., Голубев И.В. Строительные материалы. №9 2002 г.

93. Принципы создания полимерных композиционных материалов. Ал.Ал. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Москва, “Химия”, 1990г.

94. Сборник аналитических и проблемных задач по курсу “Принципы создания полимерных композиционных материалов”. Л.Б. Кандырин, И.Д. Симонов-Емельянов, Москва, 1999г.

95. Основы технологии переработки пластмасс под редакцией В.Н.Кулезнёва, В.К.Гусева, Москва, “Химия”, 1995г.

96. От гарцовки – к модифицированным сухим смесям. П.И. Мешков, В.А. Мокин. Строительные материалы, №3, 1999 г.

97. Армированные волокнами вяжущие композиционные материалы: вклад полиамидных волокон. Доктор М. Сари, Дж. Лекселент. 3-я Международная на-

учно-техническая конференция: Современные технологии сухих смесей в строительстве. Сборник докладов. Санкт-Петербург, 2001г

98. Новицкий А.Г. Химическая стойкость базальтовых волокон для армирования бетонов. // Хімічна промисловість України. 2003. № 3, с. 16-19.

99. Деревянко В.Н. Саламаха Л. В. Дисперсно-армированные растворы для устройства стяжек полов // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. — 2009. — с. 14-19.

100. Аспекты применения базальтовой фибры для армирования бетонов / Новицкий А. Г., Ефремов М. В. // Сборник Строительный материалы, изделия и санитарная техника.- 2010, № 36.

101. Новицкий А. Г., Ефремов М.В. Волокно из горных пород для армирования бетонов (Доклады VII Всероссийской научно-практической конференции (г. Белокуриха). М.: ЦЭИ «Химмаш», 2007. — С. 116—120.

102. Новицкий А. Г., Ефремов М.В. Базальтовое волокно как продукт для армирования бетонов и композиционных материалов. // Тезисы докладов Международной конференции по химической технологии ХТ'07, Москва., 2007., т. 1, с. 218-220.

103. Ветров Ю.И. Новицкий А.Г Базальтовые вариации // Капитальное строительство. — 2002. — № 3. — С. 40-42;

104. Дьяков К.В. Особенности технологии приготовления магнезиального базальтофибробетона // Бетон и железобетон. — 2007. — № 3.

105. <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0110.html>

106. Ignatyev, Igor; Charlie Van Doorslaer, Pascal G.N. Mertens, Koen Binne-mans, Dirk. E. de Vos (2011). «Synthesis of glucose esters from cellulose in ionic liquids». *Holzforschung* 66 (4): 417-425.

107. Глинка Н.Л. Общая химия. — 22 изд., испр. — Ленинград: Химия, 1977. — 719 с.

108. Melissa R. Christopherson, et al. (2013). «The Genome Sequences of *Cellulomonas fimi* and “*Cellvibrio gilvus*” Reveal the Cellulolytic Strategies of Two Facultative Anaerobes, Transfer of “*Cellvibrio gilvus*” to the Genus *Cellulomonas*, and Pro-

posal of *Cellulomonas gilvus* sp. nov»

109. Muhammad Irfan, et al. (2012). «Isolation and screening of cellulolytic bacteria from soil and optimization of cellulase production and activity». *Turkish Journal of Biochemistry* 37 (3): 287-293.

110. Don J. Brenner, Noel R. Krieg, James R. Staley. Part B: The Gammaproteobacteria//Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. — Springer Science & Business Media, 2007. — Vol. 2. The Proteobacteria. — P. 402-403.

111. Brian Flannigan, Robert A. Samson, J. David Miller. *Microorganisms in Home and Indoor Work Environments: Diversity, Health Impacts, Investigation and Control*. — 2nd ed. — CRC Press, 2016. — P. 77.

112. <http://www.chem.eurohim.ru/upload/TECHNOCEL.pdf>

113. <http://www.tpinauka.ru/2017/05/Kraynova.pdf>

114. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учеб. пособие. / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. — М.: Высш. школа, 1981. — 335 с.

115. Кузнецова, Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ: методические указания / Г.А Кузнецова. — Иркутск, 2005. — 55-61с.

116. Румянцев В. Гранулометрический анализ с помощью лазерных анализаторов серии SALD КОМПАНИИ SHIMADZU / Оборудование и материалы №6, 2013 с.60-62.

117. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем / Строительные материалы №1 2013, с. 64-65.

118. Блохин А.Н., Кулижский С.П. Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2009. №1. С.37-43.

119. Болдырева В.Э., Шкуропадская К.В., Морозов И.В, Опыт использования метода лазерной дифракции для определения гранулометрического состава порошковых сред // «Живые и биокосные системы». — 2015. — № 12.

120. Плаченков Т. Г., Колосенцев С. Д. Порометрия. — Л.: Химия, 1988. —

175 с.

121. Бобрышев А.А. Отделочные клеевые растворы на основе сухих смесей с использованием комплексных порошковых полимерных добавок, диссертация, ПГУАиС, Пенза, 2003 г.

122. Волженский А.В. и др. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1979.

123. Ильина Л.В. Повышение эксплуатационных характеристик строительных материалов на основе цемента длительного хранения, диссертация, НГАСУ (Сибстрин), 2011 г.

124. Диссертация Никоненко.

125. Тимашев В.В. Влияние добавок карбонатов кальция на процессы гидратации портландцемента / В.В.Тимашев, П.Г.Кожемякин // Труды института МХТИ – 1978 – Выпуск №118 – С.70-78.

126. Тимашев В.В. Свойства цементов с карбонатными добавками/ В.В.Тимашев, В.М.Колбасов // Цемент. – 1981. – №10. – С.10-12.

127. Шахова Л.Д., Кучеров Д.Е. Микроструктура композиционных цементов /Л.Д.Шахова, Д.Е. Кучеров // Цемент и его применение. – 2010. – №5. –С.65-68.

128. Пьячев В.А. Свойства портландцементов с частичной заменой гипса известняком / В.А.Пьячев, К.С.Ишутин // Цемент и его применение. – 2009. –№1. – С. 59-60.

129. Шахова Л.Д., Кучеров Д.Е. Микроструктура композиционных цементов /Л.Д.Шахова, Д.Е. Кучеров // Цемент и его применение. – 2010. – №5. –С. 65-68.

130. Козлова В.К. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов / В.К.Козлова, А.М.Мануха, А.А.Лихошерстов, Е.В.Мануйлов, Е.Ю.Малова // Цемент и его применение. – 2012. – №3. – С.53-57.

131. Козлова В.К. Состав алюминатно-алюмоферритных фаз и их продукты гидратации в различных цементах и смешанных вяжущих: монография. Часть II: Продукты гидратации алюминатных фаз различных цементов и их участие в

процессах коррозии бетонов / В.К.Козлова, Ю.В.Карпова, А.В.Вольф; Изд-во АлтГТУ. – Барнаул, 2009. – 186 с.

132. Парикова Е.В. Сухие гипсовые отделочные смеси с введением карбоната, гидроксида кальция и отечественной метилцеллюлозы, диссертация, НГА-СУ (Сибстрин), 2004 г.

133. Лукьянов А.Б. Физическая и коллоидная химия. – М.: Химия, 1980 – 223 с.

134. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты, М: Химия, 1979, 439 с.

135. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М: Химия, 1982, 400 с.

136. Андреева А.Б. Пластифицирующие и гидрофобизирующие добавки в бетон и раствор. – М: Высшая школа, 1988. – 55 с.

137. Адомсон А. Физическая химия поверхностей. М: Мир, 1979. 367 с.

138. Абрамзон А.А. Физико-химические свойства оксиэтильных неионогенных поверхностно-активных веществ // Журнал прикладной химии. 1995. Т. 68. Вып. 12. С. 2023 – 2029.

139. Айвазов В.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. – М: Высшая школа, 1973, 208 с.

140. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. – Л: Изд-во ЛГУ, 1981. – 171 с.

141. Ежова Т.Г., Момот Л.Н. и др. Влияние температуры на реологические характеристики водорастворимых полимерных комплексов. Инженерно-физический журнал. Том 57 №3. Сентябрь 1989. с. 436 – 440.

142. Балезин С.А. Практикум по физической и коллоидной химии. – М: Просвещение, 1980. – 271 с.

143. Болдырев А.И. Физическая и коллоидная химия. – М: Высшая школа, 1978. – 407 с.

144. Берлин А.А., Попова Г.Л., Макарова Т.А. Высокомолекулярные соединения. 1959. т. 1. 962 с.

145. Проспект фирмы «Wolff Walsrode». Метилцеллюлоза для строительных систем. 20 с. ил.
146. Вернер Ланге. Метилцеллюлоза «Walocel M» улучшает качество систем сухих строительных смесей. // Строительные материалы. – 1999. - №3. – С. 38-39.
147. Никифоров Ю.В. Сухие строительные смеси, их производство и применение. // Цемент и его применение – 1999. - №5. С. 31-33.
148. Большаков Э.Л. Сухие смеси для отделочных работ. // Строительные материалы. – 1997. - №7. – С.8-9.
149. Демьянова В.С., Дубошина Н.М. Сухие строительные смеси, модифицированные химическими добавками. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1998. - №4-5. – С. 69-72.
150. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М., Стройиздат, 1990. – 195 с.
151. Демьянова В.С., Нестеров В.Ю., Калашников Д.В., Бобрышев А.А. К вопросу о механизме действия полиоксиэтилена в цементных системах. Стр. 81-84. Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ч 1. – Пенза, 2001. 172 с.
152. Добавки в бетон. Справочное пособие под ред. Рамачандрана. М., Стройиздат, 1988. – 571 с.
153. Тейлор Х.Ф. Химия цемента / Пер. с англ. Бойкова А.Н., Кузнецова Т.В. М.: Мир, 1996. 560 с.
154. Коломацкий А.С., Кучеев С.В., Коломацкий С.А. Гидратация клинкерных материалов с полимерными добавками. // Строительные материалы. – 2000. №9. С. 12-16.
155. Естемесов З.А., Шаяхметов Г.З. Влияние функциональных добавок на структурообразование системы цемент-вода // «Цемент», 2000, №1, с. 23 – 25.
156. Проспект фирмы «Wacker» Дисперсионные порошки Виннапас для строительной промышленности. 27с.

157. Цюрбригген Р., Дильгер П., фирма «Elotex» Дисперсионные полимерные порошки – особенности поведения в сухих строительных смесях. // Строительные материалы. – 1999. - №3. С 10-15.
158. Информационный проспект порошковых диспергируемых полимеров «DLP» 26 с.
159. Амиш Ф., Рюиз Н. Использование редисперсионных порошков «Rhoimat» в производстве сухих смесей. // Строительные материалы. – 2000. - №5. С. 8-9.
160. Герман Литц (Wacker Chemie). Минеральные штукатурки – сухие строительные смеси, модифицированные дисперсными порошками.
161. Проспект фирмы «Akzo Nobel». Реагенты Vermocoll для латексных красок. 35 с.
162. ГОСТ 28574-2014. Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий.
163. ГОСТ 33083-2014. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для напольных работ. Технические условия.
164. Андрусевич Л.И., Агеенко Н.Н., Заруева Л.В. Экономическое обоснование решений, принятых в дипломном проекте, Новосибирск, НГАСУ, 2011 г.
165. Курс химии. Ч.II. Специальная для строительных ин-тов и факультетов. Под ред. В.А. Киреева. Изд. 2-е. – М. Высш. школа, 1975. – 239 с.
166. Смирнов Ю.А. Роль текстильных волокон как армирующего материала фибробетонов / Ю.А. Смирнов [и др.] // Международная научно-практическая конференция "Достижения текстильной химии в производство". - Иваново, 2000. - С. 63-64.
167. Пичугин А.П. Экологические проблемы эффективного использования отходов и местного сырья в строительстве / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков // Строит. матер. - 2005. - № 3. - С. 2-4 .
168. Левченко В.Н. Особенности развития строительных материалов/ В.Н. Левченко, А.Н. Бачурин // Прогресс. конструкции и материалы для стр-ва в условиях Донбасса. - Киев, 1991. - С. 143-152.

169. Худякова Л.И. Строительные материалы на основе отходов горнодобывающей промышленности / Л.И. Худякова, О.В. Войлошников // Строит. матер. - 2009. - № 12. - С. 16-17.
170. Кузнецова Т.В. Бетоны - пути развития / Т.В. Кузнецова, Б.Э. Юдович // Цемент и его применение. - 2005. - N 5. - С. 68-69.
171. Чулкова И.Л. Высокоэффективные бетоны с новыми добавками / И.Л. Чулкова, А.Ф. Косач // Омский регион: стратегия устойчивого экономического и социального развития. - Омск: Изд-во СибАДИ, 1996. - Ч. 3. - С. 16-18.
172. Никифоров Ю.В. Сухие строительные смеси, их производство и применение. // Цемент и его применение - 1999. - №5. С. 31-33.
173. Харди Г. Крепление плиток клеями, модифицированными редиспергируемыми порошками. // Современные технологии сухих смесей в строительстве - 2000. С. 70-77.
174. Завражин Н.Н, Северинова Г.В., Громов Ю.Е. Производство отделочных работ в строительстве. Зарубежный опыт. - М: Стройиздат, 1987. -310 с.
175. Большаков Э.Л., Тюрина Т. Е. Систематизация сухих строительных смесей. // Mix Build. - 2001. - №11 С. 7-14.
176. Громов Ю.С, Лежепеков В.П., Северинова Г.В. Индустриальная отделка фасадов зданий. - М: Стройиздат, 1980. - 70 с.
177. Демьянова В.С., Калашников В.И., Дубошина Н.М. Журавлев В.М., Степанов В.И. Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов. - М : Изд-во АСВ 1999. - С. 3-24.
178. Кокин А.Д., Байер В.Е. Отделочные работы в строительстве. Справочник строителя. М: Стройиздат, 1987. - 656 с.
179. Коган Т.Е., Северинова Г.В. Индустриальная отделка зданий, М: Стройиздат, 1975, 191 с.
180. Тюрина Т.Е. Сертификация и нормативная база сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 1999. - №3. С. 20-26.
181. Завражин Н.Н., Северинова Г.В., Громов Ю.Е. Производство отделочных работ в строительстве. Зарубежный опыт. - М: Стройиздат, 1987.-310 с.

182. Федулов А.А. Техничко-экономическое обоснование преимущества применения сухих строительных смесей. // Строительные материалы. - 1999.-№3. С. 26-31.

183. Дерягин Б.В. Свойство тонких слоев воды вблизи твердых поверхностей / Б.В. Дерягин [и др.] // Связанная вода в дисперсных системах. - Вып. 5. – М.: Издательство МГУ, 1980. – С.4-13.

184. Мецик М.С. Свойства пленочной воды между пластинками слюды / М.С. Мецик // Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах. – М.: Наука, 1972. – С. 189-194.

185. Дерягин Б.В. Свойство тонких слоев воды вблизи твердых поверхностей / Б.В. Дерягина и др. // Связанная вода в дисперсных системах. – Вып. 5. – М.: Издательство МГУ, 1980. – С. 4 – 13.



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «Авангард»

Д.А. Кириченко

«16» января 2023 г.

АКТ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПЫТАНИЯ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ООО «Авангард»: главный технолог Бектемиров Р.Г., мастер цеха Шерстобитов Е.В. и представители Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин): директор ИЦИТ д.т.н., профессор Л.В. Ильина, старший преподаватель кафедры СМСС А.К. Туляганов составили настоящий акт о том, что в 16 января 2023 г. на ООО «Авангард» была выпущена опытная партия сухой строительной смеси в количестве 500 кг.

Расход материалов на 1кг сухой строительной смеси составил:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5Н – 225,0 г;
- песок – 720,0 г;
- алюминий-содержащая добавка – 2,5 г;
- гидратная известь – 40,5 г;
- метилцеллюлоза – 2 г;
- редиспергируемый порошок – 4 г;
- базальтовые волокна – 6 г.

Предварительная подготовка сырьевых компонентов сухой смеси производилась по существующей на предприятии технологической схеме.

Перемешивание предварительно отдозированных компонентов осуществлялось в смесителе. Компоненты смеси вводились в смеситель в следующем порядке: цемент, алюминий-содержащая добавка, гидратная известь, метилцеллюлоза, редиспергируемый порошок, базальтовые волокна, песок. Продолжительность перемешивания – 10 мин.

После смешивания сухая смесь сразу подавалась на упаковку.

Основные физико-механические свойства изготовленной сухой строительной смеси приведены в таблице.

Таблица

Наименование показателя	Значение
Влажность, % по массе	0,2
Насыпная плотность, кг/м ³	1600
Подвижность, см	9
Расслаиваемость, %	0,1
Прочность при сжатии, МПа	26
Прочность при изгибе, МПа	4,6
Прочность сцепления при отрыве от бетонного основания, МПа	1,6
Водоудерживающая способность, %	98,9
Стойкость к образованию трещин в слое раствора 20мм	отсутствуют

Результаты опытно-промышленных испытаний сухой строительной смеси на цементной основе подтвердили данные лабораторных испытаний проведенных в лаборатории кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации НГАСУ (Сибстрин).

Представители ООО «Авангард»



Главный технолог
Мастер цеха

Р.Г. Бектемиров

Е.В. Шерстобитов

Представители НГАСУ (Сибстрин):

Директор ИЦИТ

д.т.н., профессор

Ст. преподаватель кафедры СМСС

Л.В. Ильина

А.К. Туляганов

ООО «Авангард»

ОКП 574550

Группа Ж13

ОКС 91.100.10

УТВЕРЖДАЮ:

Директор

ООО «Авангард»



Д.А. Кириченко

«16» января 2023 г.

СМЕСИ СУХИЕ НАПОЛЬНЫЕ

Технические условия

ТУ 5745-022- 88817714 -2023

(вводятся впервые)

РАЗРАБОТАНО

Директор ИЦИТ, д.т.н., профессор

Л.В. Ильина

«16» января 2023 г.

Ст. преподаватель кафедры СМСС

А.К. Туляганов

«16» января 2023 г.

Новосибирск, 2023

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор ООО «СтройтехТСК»

«__» _____ 2023 г.

АКТ выполнения работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ООО «СтройтехТСК»: генеральный директор В.В. Ключко, прораб И.С. Мелихов и представители Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин): директор ИЦИТ, д.т.н., профессор Л.В. Ильина, преподаватель кафедры СМСС А.К. Туляганов составили настоящий акт о том, что в сентябре месяце в помещении для хранения строительного оборудования были выполнены работы по реставрации полов строительными напольными смесями.

Для отделочных работ была использована сухая строительная смесь на цементном вяжущем разработанная на кафедре СМСС Новосибирского архитектурно-строительного университета (Сибстрин), авторы: Л.В. Ильина, А.К. Туляганов. По внешнему виду полученная отделка высокого качества, гладкая, хорошо шлифуется. Площадь выполненной поверхности 200м².

Представители ООО "СтройтехТСК":

Генеральный директор

Прораб

Представители НГАСУ (Сибстрин):

Заведующий кафедрой строительных материалов,
стандартизации и сертификации (СМСС)

д.т.н., профессор

Преподаватель кафедры СМСС



В. В. Ключко

И. С. Мелихов

Two blue ink signatures are placed next to the names of the representatives from NGSU (Sibstrin).

Л.В. Ильина

А.К. Туляганов



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

ОКПО 02068976 ОГРН 1025401905484
ИНН/КПП 5405115866/540501001
Ленинградская ул., д. 113, Новосибирск 630008
Тел. (383) 266-41-25, факс (383) 266-40-83
E-mail: rector@sibstrin.ru

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор
ФГБОУ ВО НОСГУ (Сибстрин)



А.С. Евдокименко

№ _____

На № _____ от _____

» мая 2024 г

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Туляганова Александра Константиновича

Материалы кандидатской диссертации А.К. Туляганова «Смеси сухие цементные напольные с повышенными эксплуатационными характеристиками» используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистрантов по направлениям «Строительство», «Стандартизация и сертификация», а также аспирантов по направлению «Техника и технология строительства», по дисциплинам «Современные материалы и технологии», «Строительные материалы», «Технология отделочных материалов», «Технология производства строительных материалов и изделий», «Современные материалы для реконструкции и реставрации» в ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)».

Директор ИЦИТ

доктор техн. наук, профессор

Л.В. Ильина