

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

На правах рукописи



Жегера Кристина Владимировна

**Разработка клеевой сухой строительной смеси с применением
добавки на основе аморфных алюмосиликатов**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор

Логанина Валентина Ивановна



Пенза – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования.....	10
1.1. Развитие производства сухих строительных смесей в России.....	10
1.2. Модифицирующие добавки для клеевых сухих строительных смесей на цементной основе.....	18
1.3. Цели и задачи исследования.....	31
Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований..	32
2.1. Характеристика материалов.....	32
2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств композита на основе плиточного клея.....	37
2.3 Методика оценки физико-механических свойств композита на основе плиточного клея.....	40
2.4 Методика оценки гидрофизических свойств композита на основе плиточного клея.....	45
2.5 Методика оценки свойств композита на основе плиточного клея по отношению к действию температур.....	46
2.6. Прочие методы исследований.....	49
2.7 Статистическая обработка результатов испытаний.....	57
Глава 3. Закономерности структурообразования цементного камня в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов	60
3.1 Физико-химические показатели добавки на основе аморфных алюмосиликатов для сухих строительных смесей.....	60
3.2 Структурообразование цементной композиции в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов	63
Выводы по главе 3.....	89
Глава 4. Разработка рецептуры сухой клеевой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов	91
4.1. Оптимизация гранулометрического состава минерального заполнителя для сухих строительных смесей.....	91

4.2 Кинетика твердения цементного композита в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	96
4.3 Реологические и технологические свойства сухих строительных смесей с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов	104
Выводы по главе 4.....	116
Глава 5. Эксплуатационная стойкость клеевого слоя на основе сухой строительной смеси.....	118
5.1 Оценка прочности сцепления слоя плиточного клея с применением в рецептуре аморфных алюмосиликатов	118
5.2 Гидрофизические свойства плиточного клея с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов	122
5.3 Оценка свойств композита на основе плиточного клея по отношению к действию температур.....	125
5.4 Деформативные свойства покрытий на основе разработанной клеевой сухой строительной смеси.....	129
5.5 Оценка напряженного состояния плиточного клея на цементной основе с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	131
5.6 Опытно-производственное опробование. Разработка нормативных документов.....	144
5.6.1 Технология приготовления состава клеевой сухой строительной смеси.....	144
5.6.2 Техничко-экономические показатели производства клеевой сухой строительной смеси.....	146
Выводы по главе 5.....	150
Заключение.....	152
Список литературы.....	155
Приложения.....	172

Введение

Актуальность избранной темы. Для отделки наружных и внутренних стен зданий и сооружений облицовочной плиткой применяют плиточные клеи, изготовленные на основе сухой строительной смеси (ССС). Для повышения технологических и эксплуатационных свойств плиточного клея в рецептуру сухой строительной смеси вводят специальные добавки, способствующие ускорению отверждения, повышению устойчивости к сползанию. На сегодняшний день большинство модифицирующих добавок для ССС поступают из-за рубежа, что делает производство сухих строительных смесей зависимым от импортных поставок и удорожает производство ССС. В связи с этим, разработка клеевых сухих строительных смесей с применением в рецептуре отечественных модифицирующих добавок является актуальной проблемой.

Решением этой проблемы является разработка рецептуры ССС с применением добавок, содержащих в качестве отечественной модифицирующей добавки – аморфные алюмосиликаты. В настоящее время аморфные алюмосиликаты используются в качестве промышленных катализаторов крекинга, неорганических адсорбентов. Наличие аморфного алюмосиликата в структуре добавки создает предпосылки для химического взаимодействия алюмосиликатов с гидролизной известью с образованием дополнительных продуктов, способствующих упрочнению цементного композита. Однако не выявлен механизм взаимодействия аморфных алюмосиликатов с цементным вяжущим, не установлены закономерности структурообразования цементного композита. Таким образом, введение в рецептуру клеевых ССС на цементной основе в качестве отечественной модифицирующей добавки – аморфные алюмосиликаты, позволит повысить эксплуатационные свойства плиточного клея и снять зависимость отечественных производителей ССС от импортных поставок добавок.

Работа выполнялась в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации «Исследование закономерностей синтеза, кинетики

формирования химического и фазового состава неорганических силикатных нанодисперсных добавок для композиционных строительных материалов различного функционального назначения. Разработка составов, технология изготовления» (рег. номер 01201255199).

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки клеевых ССС на цементной основе для проведения облицовочных работ посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых. В связи с этим, проводился анализ справочной и нормативной документации, отечественной и зарубежной патентной литературы, а также научно-технической литературы. Установлено, что существенный вклад в исследование проблем, связанных с разработкой и эксплуатацией клеевых сухих строительных смесей, внесли такие ученые как – Калашников В.И., Рахимбаев Ш.М., Табачник Л.Б., Федулов А.А., Батраков В.Г., Воячек А.И., Пустовгар А.П., Зозуля П.В., Низина Т.А., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х. и др. Работы этих ученых содержат фундаментальные основы разработки рецептуры ССС на цементной основе, топологии структуры, выбора компонентов для смеси.

Проведенные исследования ученых имеют большую значимость полученных научных результатов, но стоит отметить, что некоторые аспекты недостаточно рассмотрены. В связи с этим, проблема расширения номенклатуры клеевых ССС на цементной основе с применением в рецептуре отечественных модифицирующих добавок, способствующих повышению адгезионной стойкости покрытий, устойчивости к сползанию, сокращению сроков твердения, является актуальной современной задачей научно-практических исследований.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка рецептуры клеевой сухой строительной смеси с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов, плиточный клей на основе которой обладает быстрыми сроками твердения, устойчивостью к сползанию, высокой адгезионной прочностью. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре клеевых ССС на цементной основе;
- выявить закономерности структурообразования цементной композиции в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов;
- разработать рецептуру клеевой ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов и установить технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на ее основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов в промышленное производство.

Научная новизна работы. Обоснована возможность применения в рецептуре плиточного клея добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Установлены закономерности структурообразования цементного композита с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов, заключающиеся дополнительно в образовании гидросиликатов кальция-натрия и минералов группы цеолитов, в уменьшении количества свободной извести и увеличении количества химически связанной воды, уменьшении общей и капиллярной пористости и увеличении контракционной и гелевой пористости.

Установлено, что введение в рецептуру клеевой ССС добавки на основе аморфных алюмосиликатов способствует ускорению набора прочности плиточного клея. Составлена модель прочности цементного композита, позволяющая подобрать оптимальное содержание компонентов в рецептуре сухой строительной смеси. Выявлено, что плиточный клей, изготовленный на основе разработанной рецептуры, является трещиностойким, устойчивым к сползанию, обладает высокой адгезионной прочностью. Установлены закономерности изменения напряженного состояния клеевого слоя от действия температур для различных климатических условий эксплуатации. Определена область применения разработанной клеевой сухой строительной смеси в зависимости от климатических условий эксплуатации. Выявлено, что плиточный клей на основе

разработанной клеевой ССС является трещиностойким для городов России, находящихся в условиях сухой зоны влажности и климатических подрайонах ПВ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Основные положения и выводы автора о закономерностях формирования механизма структурообразования цементных систем в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов представляют несомненный интерес для выработки практических рекомендаций по технологии изготовления клеевых сухих строительных смесей на цементной основе, предназначенных для облицовки отделочной плиткой внешних и внутренних стен зданий и сооружений. Ряд положений, приведенных в диссертационном исследовании, использованы в учебном процессе при изучении дисциплины «Строительные материалы».

Разработана рецептура клеевой сухой строительной смеси на цементной основе, предназначенная для приклеивания облицовочной плитки к поверхностям и содержащая портландцемент, песок кварцевый Ухтинского месторождения с оптимальным соотношением фракций, добавку на основе аморфных алюмосиликатов, пластифицирующую добавку Кратасол ПФМ и диспергируемый порошок Neolith P 4400. Плиточный клей, изготовленный на основе разработанной ССС, характеризуется следующими показателями: прочность сцепления при отрыве после 28 суток воздушно-сухого твердения составляет более $R_{адг} > 1,4$ МПа, марка по морозостойкости $F50$, марка по морозостойкости контактной зоны $F_{кз}50$, водопоглощение при капиллярном подсосе $W = 1,43$ кг/м²·ч^{0,5}, сползание плитки составляет менее 0,3 мм, усадочные деформации $\varepsilon = 0,029$ % – 0,034 %.

Разработаны технологическая схема производства клеевой сухой строительной смеси и проект стандарта организации СТО «Клеевые сухие строительные смеси на цементной основе. Технические условия». Определены технико-экономические показатели производства клеевой сухой строительной смеси.

Методология и методы диссертационного исследования. Методологической основой исследования служат общенаучные методы, которые

основаны на методе математического моделирования, эксперименте, обобщении, применении принципа рассмотрения во взаимосвязи, методе системного подхода, принципе детерминизма и сравнения.

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

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований процессов структурообразования цементных композитов с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов;
- состав и технология производства клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов,
- результаты расчета напряжений в клеевом слое при действии температуры.

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

Основные результаты работы представлены и доложены на международной научной конференции «Наука и образование: проблемы развития строительной отрасли» (г. Пенза, 2014 г.), международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии и инновации» (г. Белгород, 2014 г.), научно-практической конференции «У.М.Н.И.К.» (г. Пенза, 2014 г.), конкурсе проектов презентационной сессии «Start up Поиск» (г. Пенза, 2014 г.), научно-практической конференции «У.М.Н.И.К.» (г. Пенза, 2015 г.), научно-практической конференции «Эффективные строительные композиты» (г. Белгород, 2015 г.), молодежном

форуме ПФО iВолга 2015 (г. Самара, 2015 г.), The second international conference on civil engineering energy and environment (Hong Kong, 2015 г.).

Внедрение результатов исследований. Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ПТО ООО РСУ «Спецработ», г. Пенза.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 25 научных работ, в том числе 13 работ в российских рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 2 статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 167 наименований, приложений. Диссертация изложена на 202 страницах машинописного текста и содержит 77 рисунков, 42 таблицы.

Глава 1. Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Развитие производства сухих строительных смесей в России

При отделке стен зданий и сооружений облицовочной плиткой, реставрации памятников архитектуры, производстве строительных и отделочных работ в России, так же как и во многих других странах, применяют модифицированные сухие строительные смеси (ССС). Основными преимуществами при применении СССР является простота использования и высокие технологические и эксплуатационные показатели [4, 7, 16, 48, 62, 112].

Сухие строительные смеси представляют собой модифицированный мелкозернистый строительный материал, в состав которого входят минеральные вяжущие (цемент, известь, гипс, редисперсионные полимерные составы), наполнители с оптимальной гранулометрией и определенного фракционного состава, а также необходимые химические модифицирующие добавки [2, 12, 24, 50, 67, 70]. В качестве наполнителей СССР применяются кварцевые пески с определенными фракциями и разные виды мелкодисперсных наполнителей. Для изменения технических характеристик сухих строительных смесей в их рецептуру вводят пластифицирующие, водоудерживающие, противоморозные, уплотняющие и другие химические добавки.

Анализируя мировой и отечественный опыт применения сухих строительных смесей, можно отметить их высокую эффективность и некоторые преимущества по сравнению с традиционными методами проведения работ. К таким преимуществам можно отнести:

- снижение расхода материалов по сравнению с традиционными видами работ в 4 – 12 раз в зависимости от вида работ;
- увеличение срока хранения без потери свойств и расхождение по мере необходимости;
- возможность хранения и транспортировки при отрицательных температурах;

- неизменность рецептуры составов и, следовательно, повышение качества и долговечности проводимых работ;
- увеличение производительности труда в 2 – 5,5 раз в зависимости от вида проводимых работ, их механизации и т.д. [49, 118].

Кроме того, сухие строительные смеси просты в использовании и имеют высокие технологические и эксплуатационные показатели, дающие несомненное преимущество при применении данного вида продукции, в связи с этим, они пользуются потребительским спросом.

На территории РФ на данный момент действует более 200 предприятий, которые производят сухие строительные смеси как общестроительного, так и специального (гидроизоляция, теплоизоляция и др.) назначения. Наибольшая концентрация предприятий наблюдается в Центральном (61 %) и Северо-Западном (15 %) федеральных округах (ФО), так как в данные ФО входят города федерального значения – Москва и Санкт – Петербург (рисунок 1.1).

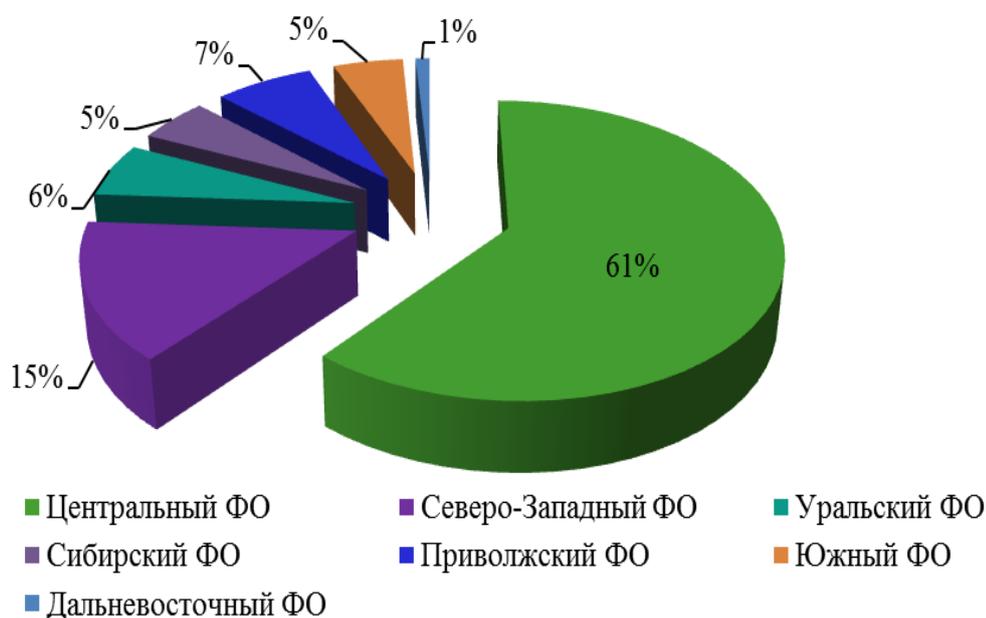


Рисунок 1.1 – Доли внутреннего объема производства сухих строительных смесей на территории РФ по федеральным округам («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 122]

Рынок производства сухих строительных смесей различного назначения становится все более конкурентоспособным и согласно статистике (рисунок 1.2) объемы производства ССС в России увеличиваются. Наиболее распространенной

среди модифицированных ССС являются клеевые смеси, составляющие более 40% от общего объема производства (рисунок 1.3) [94, 120, 122].

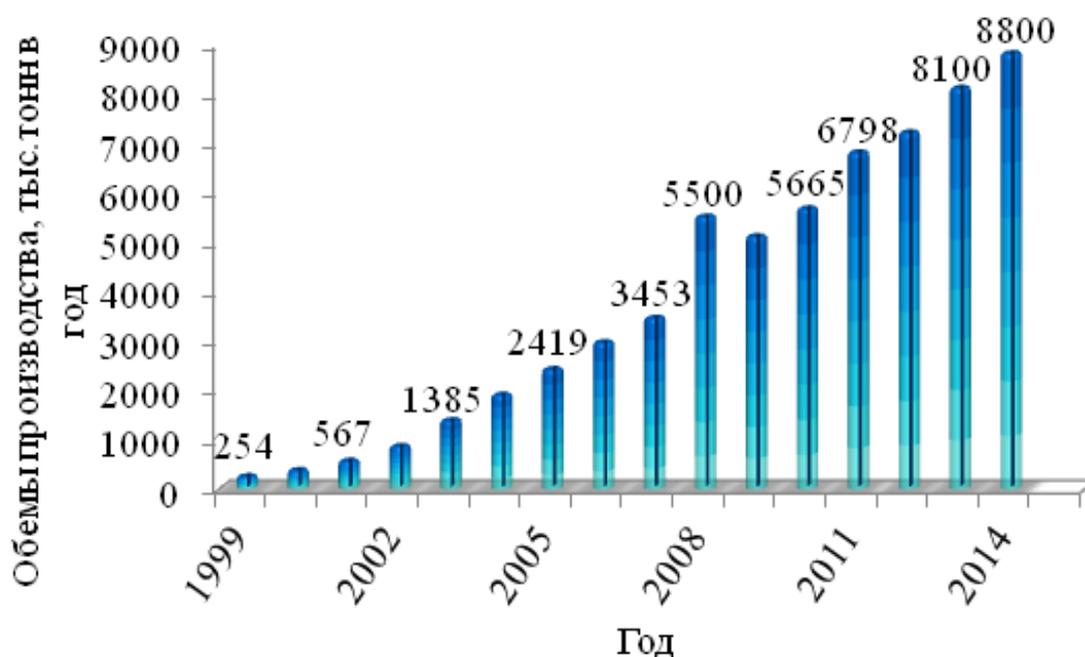


Рисунок 1.2 – Объемы производства модифицированных сухих строительных смесей в России («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 122]

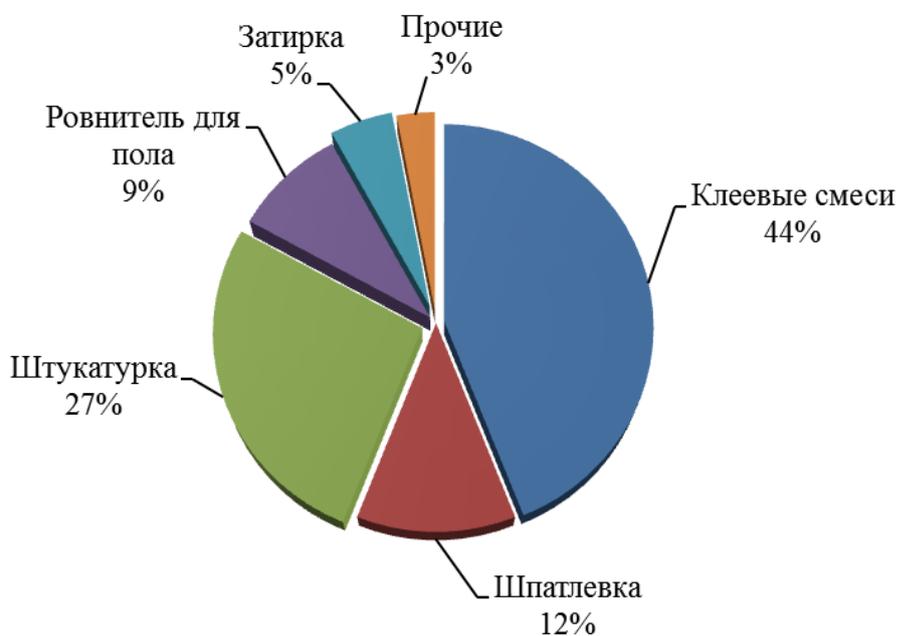


Рисунок 1.3 – Структура рынка сухих строительных смесей в России («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 122]

Среди группы клеевых смесей наиболее распространены плиточные клеи на цементной основе, используемые для наружных и внутренних работ и

предназначенные для облицовки поверхностей стен и пола любыми видами керамической плитки, плитки из мрамора и природного камня, мозаики и т.п. Кроме того, плиточный клей может применяться для крепления изоляционных материалов, таких как плиты из минеральной ваты, пенополистирола, пенополиуретана [7, 136].

Клеевая сухая строительная смесь на цементной основе представляет собой ССС, содержащую в качестве вяжущего цемент, в качестве минерального наполнителя – песок и необходимые модифицирующие добавки.

На рисунке 1.4 представлены отечественные производители клеевых сухих строительных смесей и их доля на рынке. Установлено, что на данный момент лидируют по объемам выпуска и реализации плиточного клея такие производители как Кнауф (14,5 %), Юнис (8,3 %) и Старатели (4,7 %), которые зарекомендовали себя за счет выпуска продукции стабильного качества.

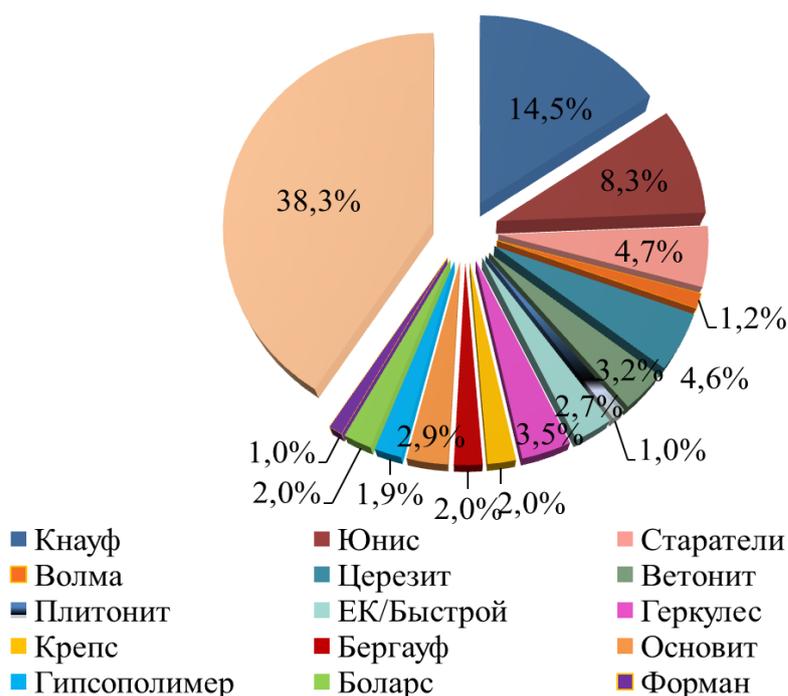


Рисунок 1.4 – Доли отечественных производителей клеевых сухих строительных смесей в России («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 121]

Клей плиточный марки Knauf [117] представляет собой клеевую ССС на цементной основе с применением в рецептуре специальных модифицирующих

добавок, применяемый в качестве плиточного клея для проведения наружных и внутренних работ. Смесь марки «КНАУФ-Флизен» предназначена для:

- облицовки стен керамической плиткой (размерами до 30 см × 30 см) внутри и снаружи зданий (кроме цоколя);
- пола (без подогрева) керамической плиткой и керамогранитом размером до 60 см × 60 см на полах внутри помещений, отвечающих требованиям СНиП 2.03.13-88.

При применении клея плиточного марки Кнауф поверхность нанесения должна быть ровной, недеформирующейся (бетон, гипсовые и цементно-песчаные штукатурки, цементные плиты, стяжки и др.).

Основным преимуществом плиточного клея марки Кнауф является минимальный расход клеевой смеси за счет тонкослойного нанесения. Основные характеристики клея плиточного марки «КНАУФ-Флизен» представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Характеристики клея плиточного «КНАУФ-Флизен»

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Жизнеспособность раствора	около 3 часов
2	Адгезия к бетону	не менее 0,5 МПа
3	Время корректировки плитки	около 10 минут
4	Затирка швов	не ранее 2 суток
5	Рабочая температура	от +5°C до +25°C
6	Температура эксплуатации	до +80°C
7	Морозостойкость	не менее 25 циклов
8	Расход	~2,2-2,9 кг/м ²
9	Упаковка	бумажные мешки по 25 и 10 кг
10	Срок хранения	12 месяцев в неповрежденной упаковке

На ранке хорошо известен плиточный клей марки UNIS, предназначенный для укладки керамической и мозаичной плитки, а так же плит из природного камня.

Плиточный клей «ЮНИС 2000» [68] представляет собой ССС, применяемую в качестве плиточного клея для укладки керамической и мозаичной плитки как внутри, так и снаружи зданий. Приклеиваемая плитка должна иметь максимальный вес не более 80 кг/м² поверхности.

Плиточный клей марки «ЮНИС 2000» применяется для облицовки наружных стен зданий выше цокольной части, проведения плиточных работ внутри помещений. Основные характеристики клея плиточного марки «ЮНИС 2000» представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики клея плиточного марки «ЮНИС 2000»

№ п/п	Характеристика	Значение
1.	Температура выполнения работ	от +5 до +30°С
2.	Количество воды на 1 кг сухой смеси	0,18-0,22 л
3.	Толщина слоя	3 мм -15 мм
4.	Расход при использовании шпателя 6×6 мм	6,0 кг/м ²
5.	Жизнеспособность раствора	180 минут
6.	Время укладки плитки	30 минут
7.	Время корректировки плитки	30 минут
8.	Прочность сцепления с основанием	10 кг/см ² (1 МПа)
9.	Удерживаемый вес плитки	80 кг/м ²
10.	Морозостойкость	не менее 50 циклов
11.	Температура эксплуатации	от -50 до +50°С
12.	Варианты фасовки	5; 25 кг

Одним из известных производителей плиточного клея является марка Старатели. Плиточный клей «Стандарт», выпускаемый под маркой Старатели, предназначен для облицовки керамической плиткой стен и полов в помещениях с любой влажностью [116]. В качестве основания для облицовки применяются недеформирующиеся основания, такие как кирпич, бетон, штукатурка и др.

Подходит для монтажа блоков из пено- и газобетона. Основные характеристики клея плиточного «Стандарт» марки Старатели представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Характеристики клея плиточного «Стандарт» марки Старатели

№ п/п	Характеристика	Значение
1.	Жизнеспособность раствора	4 ч
2.	Открытое время	не менее 20 мин
3.	Адгезия	не менее 0,5 МПа
4.	Сползание плитки	не более 1 мм
5.	Время перемешивания	5 мин
6.	Время корректировки	10 мин
7.	Рабочая температура	от +5 до +30°C
8.	Время твердения	24 ч
9.	Расход	3-5 кг/м ²
10.	Упаковка	крафт-мешки по 5 кг и 25 кг
11.	Срок хранения	12 месяцев в неповрежденной упаковке

Анализ таблиц 1.1 – 1.3 показал, что клеевые смеси, изготовленные на основе ССС, обладают высокой адгезией, несущей способностью и рядом других свойств. Корректировка и контроль свойств плиточного клея достигается за счет введения в его рецептуру значительного количества модифицирующих добавок (4 – 7 наименований).

Так, широкое применение получили порошкообразные эфиры целлюлозы (Bermocoll, Akzo Nobel, Sweden и др.), которые являются основными модифицирующими добавками, обеспечивающими значительное удержание воды в массе раствора. Благодаря этим добавкам плиточный клей при оптимальном водоцементном отношении спустя 20-30 минут после нанесения будет сохранять клеящую способность и пластичную консистенцию. При введении в рецептуру клеевой ССС на цементной основе этих добавок цемент гидратирует больше, в

том числе на границе с поверхностью и с внешней средой, при твердении клеевой раствор на основе ССС набирает значительную прочность при сжатии и при изгибе. Плиточный клей, модифицированный порошкообразными эфирами целлюлозы, после выдерживания в воздушно-сухой среде обладает адгезионной прочностью не менее 0,5 МПа, что соответствует нормативу DIN EN 18156 "Вещества для керамической облицовки по тонкослойной технологии".

При эксплуатации цементно-песчаного раствора в сложных условиях (климатических, конструкционных и т.д.) ему необходимо придавать еще более высокую прочность при отрыве. Так, для работающих в цокольной области штукатурок, фасадных красок, клеев и шпаклевок, для эластичных плиточных клеев, водоизолирующих масс, для клеев и армирующих масс и для самонивелирующихся полов применяются совместно и эфиры целлюлозы, и редиспергируемые порошки (редисперсионные порошки Dairen, DCC, Taiwan [55]). Редиспергируемые порошки изготавливаются из синтетических дисперсий методом распылительной сушки.

Основными характеристиками плиточного клея на основе клеевой ССС служат минимальная температура пленкообразования, адгезионная прочность, наличие или отсутствие пластификаторов. Данные характеристики регулируются с помощью дисперсионных порошков.

Для получения особо трещиностойких и гибких материалов применяют двухкомпонентные системы, то есть заранее приготовленную модифицированную цементную смесь затворяют не в воде, а в разбавленной полимерной дисперсии. В настоящее время полимерные дисперсии нашли довольно широкое применение как самостоятельное вяжущее (связующее) в производстве красок, лаков и строительных материалов.

Модифицирующие добавки, применяемые в рецептуре отечественных клеевых ССС, представлены, в основном, импортными производителями, что на сегодняшний момент значительно удорожает стоимость готовой ССС. Отечественный рынок производства модифицирующих добавок невелик. В связи с этим, основной проблемой отечественного рынка по производству клеевых сухих

строительных смесей является отсутствие клеевых ССС на цементной основе с применением в рецептуре отечественных модифицирующих добавок, позволяющих заменить импортные. Это приводит к повышенной стоимости клеевых ССС и зависимости отечественных производителей от импортных поставщиков модифицирующих добавок. Разработка модифицирующих добавок отечественного производства и подбор рецептуры клеевой ССС с их применением позволит значительно снизить себестоимость клеевой сухой строительной.

1.2 Модифицирующие добавки для клеевых сухих строительных смесей на цементной основе

Применение модификаторов или специальных добавок при создании рецептуры модифицированных сухих строительных смесей необходимо для получения заданных технологических и технических характеристик ССС, в основном – это удержание воды в затворенном растворе после нанесения материала.

Модифицирующие добавки, применяемые в ССС, различны по химическому составу и физическим характеристикам, таким, как степень кристалличности и цвет, размер частиц и их распределение по размерам, удельная площадь поверхности, содержание и состав активной фазы.

Существующие ГОСТ 28013 «Растворы строительные. Общие технические условия» и ГОСТ 24211 «Добавки для бетонов. Общие требования» устанавливают применение добавок в строительных растворах и бетонах. Основной особенностью использования модифицирующих добавок в рецептурах ССС является технология их применения. Так, для приготовления бетонных и растворных смесей добавки вводятся с водой затворения в виде растворов (дисперсий, эмульсий, суспензий), то для ССС добавки используются только в виде порошков, обладающих низкой гигроскопичностью [37, 40].

В соответствии с основными принципами классификации модифицирующих добавок, изложенными в ГОСТ 24211 «Добавки для бетонов и

строительных растворов» модифицирующие добавки для ССС в зависимости от основного эффекта действия подразделяются на классы:

1. добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов:

- регуляторы реологических свойств;
- регуляторы процессов схватывания и твердения;
- регуляторы структуры;
- специального назначения;
- полифункционального действия.

2. минеральные добавки, в зависимости от характера взаимодействия с продуктами гидратации цемента:

а) тип I - активные минеральные:

- обладающие вяжущими свойствами;
- обладающие пуццолановой активностью;
- обладающие одновременно вяжущими свойствами и пуццолановой

активностью;

б) тип II – инертные минеральные [37].

В рецептурах ССС практически любого назначения наиболее широко применяются модифицирующие добавки первого класса – регуляторы реологических свойств. Второй класс модифицирующих добавок – регуляторов сроков схватывания и твердения применяется чаще всего для модификации составов для устройства полов, ремонтных составов и т.д. Регуляторы структуры, т.е. модифицирующие добавки третьего класса, используются для улучшения свойств штукатурных, ремонтных и других составов. Модифицирующие добавки четвертого класса, которые придают растворам специальные свойства, применяют в рецептурах ССС в том случае, если к поверхностям на их основе предъявляются особые функциональные требования по условиям применения или эксплуатации.

В таблице 1.4 приведена классификация модифицирующих добавок для сухих строительных смесей, широко используемых производителями ССС.

Таблица 1.4 – Классификация и показатели основного эффекта действия модифицирующих добавок для ССС

Вид добавок	Основа добавки	Эффекты действия
1	2	3
Регуляторы реологических свойств строительных растворных смесей		
1. Пластифицирующие 1.1 Суперпластифицирующие 1.2 Гиперпластифицирующие 1.3 Сильнопластифицирующие 1.4 Слабопластифицирующие	Поликарбоксилаты, полиакрилаты, меламинсульфонаты, нафталинсульфонаты лигносульфонаты	Замедление схватывания смесей и твердения бетонов и растворов в ранние сроки; увеличение расслаиваемости смесей; воздухововлечение; повышение деформаций усадки и ползучести растворов
2. Водоудерживающие	Водорастворимые эфиры целлюлозы, поливиниловый спирт, полиэтиленоксид полисахариды, ксантан, сукциногликан	Снижение расслаиваемости смесей и проницаемости бетонов и растворов; повышение прочности, морозостойкости, снижение деформаций усадки и ползучести растворов
3. Стабилизирующие (структурирующие)	Водорастворимые эфиры крахмала, тонкодисперсная аморфная окись кремния (аэросил), бентониты	Повышение водоудерживающей способности и однородности, улучшение перекачиваемости, замедление схватывания, изменение удобоукладываемости смесей; повышение однородности, замедление твердения растворов

1	2	3
Регуляторы схватывания и твердения		
4.1.Замедлители схватывания	Фосфаты, сахара, декстрин, соли лимонной и винной кислот, дигидросульфат калия	Повышение подвижности смеси и ее сохраняемости; снижение скорости тепловыделения растворов;увеличение времени переработки.
4.2. Ускорители - схватывания - твердения	Алюминат натрия, фторид натрия, карбонат калия, хлорид кальция, аморфная окись алюминия, карбонат лития, формиат кальция, тонкодисперсный аморфный кремнезем	Повышение электропроводности смесей, растворов; увеличение скорости тепловыделения растворов; образование высолов;ускорение схватывания; ускорение набора прочности.
Регуляторы структуры		
5.1. Воздухововлекающие	Ионогенные и неионогенные поверхностно-активные вещества, лаурил сульфат натрия, алкенсульфаты натрия, этоксилированные жирные спирты	Повышение морозостойкости, непроницаемости, стойкости в агрессивных средах, снижение средней плотности. Улучшение удобоукладываемости, повышение морозостойкости, снижение опасности высолов.

1	2	3
5.2. Уплотняющие	Нитрат кальция, сульфат алюминия, хлорид железа, нитрат железа, аморфная окись кремния, бентонит	Улучшение удобоукладываемости, повышение морозостойкости, снижение опасности высолов.
Специального назначения		
6.1. Гидрофобизирующие	Стеараты кальция, цинка, алюминия, олеатнатрия, полисилоксаны	Снижение водопоглощения раствора, повышение морозостойкости и стойкости в агрессивных средах
6.2. Повышающие адгезию	Редиспергируемые порошки сополимеров винил ацетата, этилена, акрилата, версатата, виниллаурата и винилхлорида, бутадиенстирола, бутилакрилат-стирола	Увеличение прочности сцепления с основанием, повышение водонепроницаемости
6.3. Противоморозные	Карбамид, карбонат калия, формиат натрия, формиат кальция, нитрит нитрат кальция	Обеспечение твердения раствора при отрицательной температуре; повышение стойкости растворов в условиях многократного попеременного замораживания и оттаивания
6.4. Дисперсноармирующие	Асбест, стальная фибра, волокна целлюлозы, полиамида, базальта	Увеличение прочности, повышение трещи нестойкости, улучшение тиксотропных свойств

Классификация модифицирующих добавок, применяемых в рецептуре ССС (таблица 1.4), представлена не в полном объеме, но, основные принципы построения данной классификации позволяют установить место как для уже существующих, так и вновь создаваемых модифицирующих добавок.

Следует отметить, что производителями большинства модифицирующих добавок, применяемых в рецептуре сухих строительных смесей, являются зарубежные фирмы, такие как: «EMP1», «Sopro», «Scanmix», «SKW Polymers», Samsung Fine Chemicals, EVONIK, Wacker Chemie AG и др. [15, 150, 159].

В качестве отечественной модифицирующей добавки можно рассматривать добавки на основе аморфных алюмосиликатов, содержащихся в природных и синтетических цеолитах. Известно, что природные цеолиты являются активной минеральной добавкой, применяемой при производстве строительных материалов, в том числе, цемента, бетона и сухих строительных смесей [6, 14, 53, 54, 76, 77, 87, 115, 123, 124].

В литературе [8, 9, 61] цеолитами называют кристаллические водные алюмосиликаты каркасной структуры, из которых путем умеренного нагревания вода может быть обратимо удалена без разрушения кремнеалюмоокислородного каркаса; при этом в каркасе образуется система регулярных каналов и полостей, доступных для адсорбции молекул малых размеров. В связи с этим, можно сделать вывод, что цеолиты являются пористыми кристаллами.

Цеолиты являются водными алюмосиликатами щелочных и щелочноземельных металлов с открытой каркасно-полостной структурой. Их кристаллический трехмерный каркас состоит из алюмокремнеокислородных тетраэдров $[(\text{Si},\text{Al})\text{O}_4]$, объединенных в простые, двойные и более сложные кольца; каждое кольцо включает 4, 5, 6, 8 и более тетраэдров. Поскольку часть четырехвалентных ионов кремния (Si^{+4}) замещена трехвалентными ионами алюминия (Al^{+3}), этот каркас имеет отрицательный заряд, компенсируемый присутствием на стенках полостей одно- и двухвалентных катионов натрия, калия, кальция, магния, реже бария, стронция, лития и других металлов.

Суммарный объем полостей и соединяющих их каналов в цеолитах составляет около 50 % объема кристалла, а диаметр этих каналов на поверхности кристалла варьирует от 0,26 до 0,8 нм. Внутренние полости и соединяющие их каналы заполнены молекулами так называемой «цеолитной» воды. В общем виде состав цеолитов может быть выражен формулой:



где M и D – одно- и двухвалентные катионы, соответственно;

x+y – сумма тетраэдров в элементарной ячейке.

Природные цеолиты введены в перечень активных минеральных добавок в соответствии с ГОСТ 24211, а их применение в производстве цементов регламентировано ГОСТ 10178 [37, 27]. Природный цеолит может использоваться в качестве интенсификатора помола клинкера, увеличивая производительность мельницы на 5-15 %.

В работе Фахртдинова О.А., Назаренко О.Б., Мартемьянов Д.В., Путенпуракалчира М.В. исследуются свойства модифицированного шивыртуйского цеолита и предлагается использовать модифицированный природный цеолит как пламегасящую добавку в полимеры [135]. В диссертации Варкова Р.И. [10] предлагается использовать природные цеолиты для повышения пожарной безопасности строительных конструкций и технологического оборудования. В работе Народова В.В. [93] предложено применять природные цеолиты в качестве добавки для тампонажных цементно-гипсовых материалов, применяемых для строительства в условиях вечной мерзлоты. Овчаренко Г.И. [96] проведены исследования в области применения природных цеолитов в строительстве. Смиренской В.Н [130] предложено использовать цеолиты в вяжущих для повышения водостойкости изделий на их основе. В работах Селяева В. П. [125 – 128] исследовано влияние цеолитов на свойства и структуру цементных композитов.

Исследование в области применения цеолитов в строительстве проводились во многих странах – СССР, Канада, Франция, Болгария, ФРГ, Япония и Великобритания. Одними из самых выдающихся исследователей в данной

области стали – Рабо Дж., Сендеров Э.Э., Хитаров Н.И., Жданов С. П., Егорова Е. Н., Брек Д. В., Мамптон Фредерик А., Баррер Р., Кронштедт А.Ф. [3, 8, 60, 74, 118, 119, 129, 141, 143, 154].

Цеолиты встречаются в природе в виде минералов, поэтому техническое значение могут иметь искусственно полученные синтетические цеолиты [72]. Для придания природным цеолитам различных свойств проводят их структурное и химическое модифицирование, т.е. синтез. Синтетические цеолиты могут быть отнесены к новому классу синтетических неорганических материалов – классу пористых кристаллов [61]. Вопросами разработки методов получения синтетических цеолитов занимались в СССР такие ученые как Жданов С. П., Мирский Я. В., Липкинд Б. А., Цицишвили Г. В., Николина В. Я., Пигузова Л. И. и другие [51, 89, 90, 91, 92, 97, 98, 114, 137, 167]. Известны также зарубежные исследователи – школа Баррера, Мильтон, Брек и др. [103, 119, 149, 152, 162, 165, 166]. Известно более ста различных видов синтетических цеолитов и их разновидностей [56, 57, 95, 99, 100].

На рисунках 1.5 – 1.6 представлены структуры синтетических и природных цеолитов в зависимости от природы обменных катионов, их количества и распределения по позициям в кристаллической решетке.

Существуют различные технологии приготовления синтетических цеолитов [99, 100, 104, 105, 106, 109].

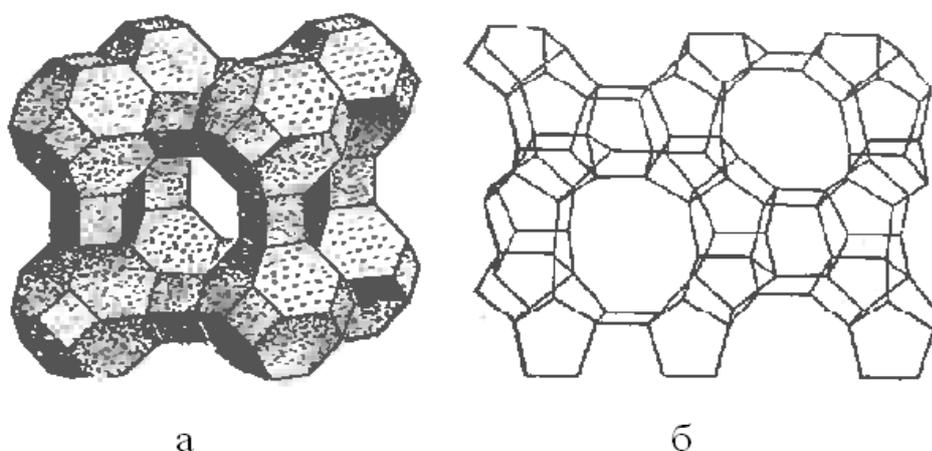


Рисунок 1.5 – Структура синтетического цеолита: а – восьмичленные окна в синтетическом цеолите типа А; б – десятичленные кольца в каркасе цеолитов

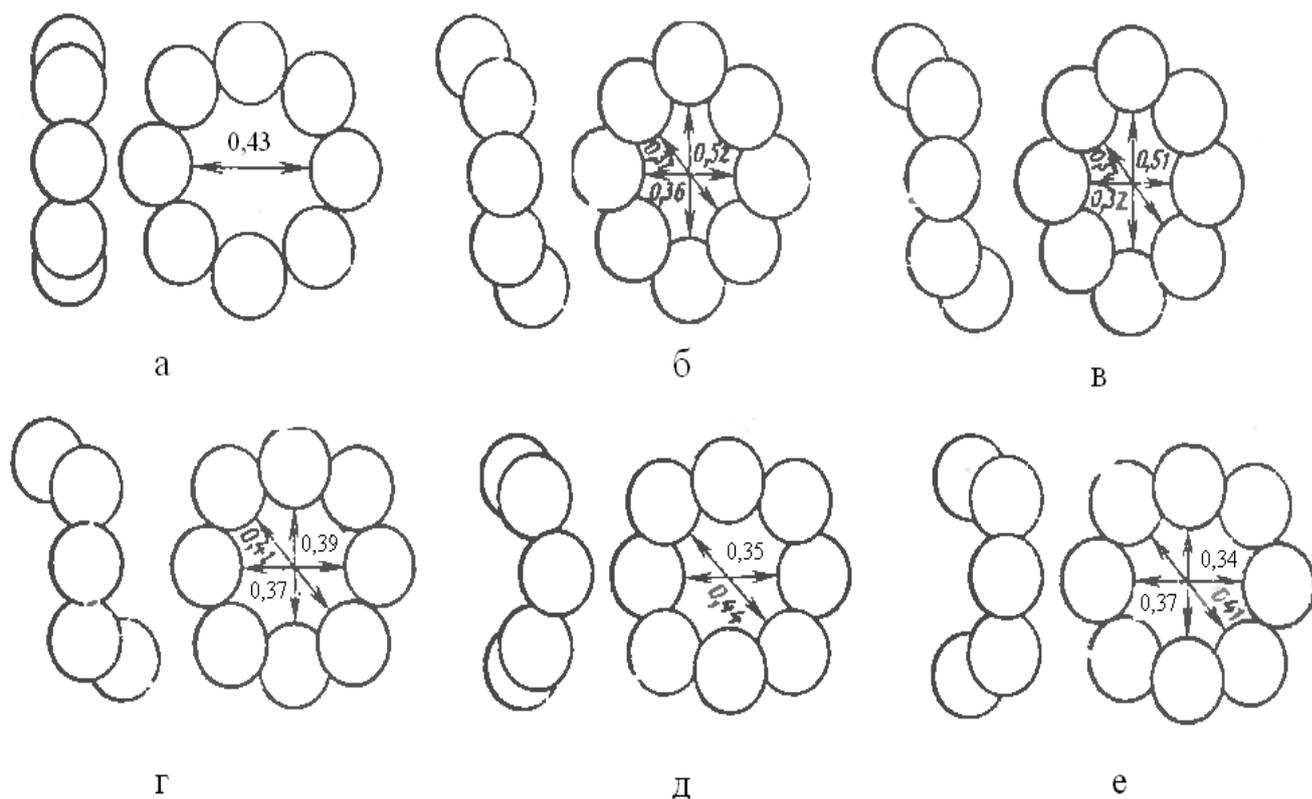


Рисунок 1.6 – Конфигурации и размеры кислородных колец в цеолитах [60]: а – цеолит Na-A; б – эрионит; в – левинит; г – шабазит; д – синтетический цеолит Na-PI; е – гмелнинт

В литературе [8, 60] приведены результаты исследований, доказывающие, что синтетические цеолиты получаются при нагревании водных щелочных алюмосиликатных смесей (смесей, содержащих в качестве обязательных компонентов воду, щелочь, SiO_2 и Al_2O_3).

Установлено, что синтетические цеолиты можно получать путем гидротермальной кристаллизации щелочных алюмосиликатных смесей, компоненты которых можно вводить в них в самых разнообразных исходных состояниях. Синтез цеолитов заключается в перемешивании таких компонентов как щелочной раствор, силикаалюмогели, получаемые из смесей силикатных и алюминатных растворов, так же применяют смеси силикагеля и алюмогеля, золь SiO_2 и алюминатные растворы, смеси окислов, алюмосиликатные стекла [75, 138, 164], алюмосиликатные минералы [142], другие цеолиты [156, 160] и т.д.

Одним из способов получения цеолитов является способ непрерывной гидротермальной кристаллизации алюмосиликата [100]. По этому способу

суспензию, содержащую щелочной алюмокремнегидрогель, непрерывно подают в колонну, снабженную валом, мешалкой с диском и спиральной лентой, которая вращается вокруг вала. Вращение спирали и дисков приводит к интенсивному перемешиванию во всех направлениях, поэтому процесс кристаллизации протекает в смешанном режиме вытеснения и смешения. После кристаллизации проводят отмывку цеолита в другом аппарате с мешалкой в режиме смешения.

Такой процесс приводит к образованию цеолита с разными размерами частиц, в период выгрузки цеолита и подачи его на отмывку происходит рост кристаллов.

Существует способ получения цеолитов типа NaX [109]. Этот способ заключается в приготовлении растворов метасиликата натрия и алюмината натрия, добавление в растворы аминсодержащего соединения из ряда: триэтаноламин, полиэтиленполиамин или мфенилендиамин, приготовление геля путем смешивания полученных растворов. Гель смешивают с диметилсульфоксидом и проводят гидротермальную кристаллизацию при температуре $70^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$.

Известен еще один способ получения синтетических цеолитов NaX, NaY или их смесей, или их смесей с цеолитом NaA [109], при котором алюмосиликатный гель готовят при интенсивном смешивании раствора алюмината натрия, раствора жидкого стекла и воды (раствор А), смеси жидкого стекла и воды (раствор Б), с последующим интенсивным смешиванием раствора А и раствора Б. После такого смешивания в геле образуются зерна синтеза.

В патенте [99] описан способ получения цеолита типа ZSM-5, который включает в себя: приготовление затравки, приготовление пульпы, состоящей из источников кремния, алюминия, изоморфно-замещающих алюминий элементов или без них, воды, щелочи, органического вещества в количестве не более 10 мас.% от массы пульпы или без него и предварительно измельченной затравки.

Патент [108] описывает получение синтетического алюмосиликатного цеолита на основе оксидов алюминия и кремния, заключающийся в приготовлении реакционной смеси, содержащей источник алюминия, кремния,

щелочного металла, воду и органическую структурообразующую добавку, кристаллизацию реакционной смеси, отделение образовавшегося осадка, сушку и прокаливание.

Известен цеолит и способ получения цеолитов, имеющих кристаллическую структуру МТТ, с использованием малых нейтральных аминов [107]. Получение цеолита включает приготовление водного раствора из источников оксида щелочного металла, оксида щелочно-земельного металла или их смесей, источников оксида, выбранного из оксидов алюминия, железа, галлия, индия, титана или их смесей, источников оксида, выбранного из оксидов кремния, германия или их смесей, и по крайней мере одного нейтрального амина, имеющего в сумме от четырех до восьми углеродных атомов и способного к образованию указанного цеолита, указанный амин содержит только атомы углерода, азота и водорода, одну первичную, вторичную или третичную, но не четвертичную аминогруппу и третичный атом азота или по крайней мере один третичный атом углерода или атом азота, присоединенный непосредственно к, по крайней мере, одному вторичному атому углерода; поддержание водного раствора при условиях, достаточных для образования кристаллов цеолита. В качестве малых нейтральных аминов для синтеза цеолита типа МТТ используют изобутиламин, диизобутиламин, диизопропиламин и триметиламин и гидротермальный синтез проводят при температуре от 100 до 250°C в течение 1-7 суток.

Патент [111] описывает композицию аморфного алюмосиликата, характеризующуюся поверхностно-объемным отношением Si/Al (SB отношение) в диапазоне от 0,7 до 1,3 и содержащую менее 10 % фазы кристаллического алюминия. Этот аморфный алюмосиликат получают путем смешивания раствора силиката (силикат натрия) и раствора кислой соли алюминия (сульфат алюминия), при этом поддерживают pH перемешиваемого раствора меньше 3, затем к перемешиваемому раствору постепенно добавляют основной осаждающий реактив с целью образования осажденного ко-геля, который может быть извлечен,

промыт и подвергнут сушке распылением. Этот ко-гель может быть использован для производства алюмосиликатного катализатора или подложки катализатора.

В патенте [111] описано использование в различных вариантах гидропереработки композиций, включающих аморфный алюмосиликат, изготовленный обычно путем приготовления золя, содержащего оксид кремния и оксид алюминия, и последующего огеливания этого золя. Ко-гель может быть использован в качестве материала подложки катализатора или может быть соединен с другими компонентами в матрицы. Этот ко-гель применим в гидрокрекинге, депарафинизации и каталитической гидроочистке.

Известен еще один способ получения синтетического цеолита, включающий взаимодействие раствора силиката натрия и соли алюминия в смеси трибутилфосфата, несмешивающегося с водой [100]. В процессе взаимодействия, 1-2 мин, соли алюминия в смеси с трибутилфосфатом образуется алюмосиликат, который скапливается на поверхности воды. Органическую фазу из реакционной массы сливают, а осадок отделяют фильтрацией и промывают ацетатом и водой. Высушенный при температуре 150°C цеолит имеет удельную поверхность по БЭТ 452 м²/г – 476 м²/г.

Этот способ позволяет повысить выход алюмосиликата до 96% – 99%. В цеолит, находящийся в лабораторных условиях, путем ионного обмена или прямым синтезом можно ввести широкий набор других катионов. Общая формула цеолита выглядит следующим образом: $M_p D_q Al_{p2q} Si_r O_{2p4q2rs} \cdot nH_2O$. Из-за того что каждая вершина в каркасной решетке цеолита принадлежит двум тетраэдрам, атомов кислорода должно больше чем Т-атомов в два раза. Поскольку заряд должен компенсироваться, то число трехзарядных ионов Al должно быть равно сумме чисел однозарядных катионов (p) и удвоенному числу двухзарядных катионов (2q).

Известно, что цеолиты имеют широкие поры, в которые могут проникать молекулы после дегидратации. Алюмосиликатный каркас и обменные катионы можно модифицировать с помощью химической обработки, что позволит регулировать химические силы, действующие на сорбированные молекулы. При

правильном выборе условий модифицирования цеолит действует как катализатор, что приводит к химическому превращению адсорбированных молекул в желаемом направлении. Единственным признаком, по которому можно точно идентифицировать структуру цеолита является топология алюмосиликатного каркаса.

В последнее время все больше повышается интерес к получению новых алюмосиликатных адсорбентов. Получаемые адсорбенты имеют высокую термическую стойкость и при высоких температурах способны удалять катионы металлов из водных растворов, что делает перспективным их применение для очистки водных и газовых сред на АЭС, а так же предприятиях топливно-энергетического комплекса [138].

Алюмосиликатный адсорбент характеризуется наличием свободного пористого пространства, которое представляет собой трехмерный лабиринт из взаимосвязанных расширений и сужений различного размера и формы в виде нано- и микропор, придающих адсорбенту высокую удельную поверхность и способность поглощать различные вещества из жидкостей и газов.

Наличие в структуре адсорбентов аморфных алюмосиликатов делает перспективным использование их в строительстве при разработке известковых, цементных, гипсовых ССС.

Однако, вопросы их применения в строительной отрасли не освещены и требуют тщательной проработки. Не выявлен механизм взаимодействия синтетических адсорбентов с вяжущим, не установлены закономерности структурообразования композита. Это свидетельствует о целесообразности исследования возможности применения добавок на основе аморфных алюмосиликатов в цементных композитах.

При взаимодействии аморфных алюмосиликатов с цементом возможно образование кальциевого алюмосиликата и гидросиликатов кальция, что будет способствовать ускорению отверждения и повышению прочности цементных композитов.

1.3 Цели и задачи исследования

Анализируя научно-техническую литературу выявлено, что применение добавки на основе аморфных алюмосиликатов, а так же разработка на их основе клеевых строительных смесей на сегодняшний день является актуальным и перспективным направлением в области производства строительных материалов и строительства в целом.

В связи с этим, целью настоящей работы является разработка состава и технологии производства клеевой сухой строительной смеси с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре клеевых ССС на цементной основе;
- выявить закономерности структурообразования цементной композиции в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов;
- разработать рецептуру клеевой ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов и установить технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на ее основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов в промышленное производство;

Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований

2.1 Характеристика материалов

Для приготовления добавки на основе аморфных алюмосиликатов применялись следующие компоненты:

- жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078 [30]), характеризующееся показателями, представленными в таблице 2.1;
- технический (очищенный) сульфат алюминия (ГОСТ 12966 с изм. 1,2 [29]), характеризующийся следующими показателями (таблица 2.2);
- вода дистиллированная.

Таблица 2.1 – Физико-химические показатели жидкого натриевого стекла

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя в соответствии с ГОСТ 13078
1	Силикатный модуль	2,66-2,88
2	Плотность при 20°С, г/см ³	1,36-1,48
3	Массовая доля оксида кремния, %	10,2-12,5
4	Массовая доля оксида натрия, %	20,0-26,0
5	Массовая доля нерастворимого в воде остатка не более, %	1,8

Таблица 2.2 – Физико-химические показатели сульфата алюминия технического (очищенного)

№ п/п	Наименование показателя	Норма для 1-го сорта
1	2	3
1	Внешний вид	Неслеживающиеся пластинки, брикеты, куски, неопределенной формы и разного размера массой не более 10 кг белого цвета.

1	2	3
		Допускаются бледные оттенки серого, голубого или розового цвета
2	Массовая доля оксида алюминия, %, не менее	16
3	Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более	0,3
4	Массовая доля железа в пересчете на оксид железа (III), %, не более	0,02
5	Массовая доля свободной серной кислоты H_2SO_4 , %, не более	Выдерживает испытание по пункту 4.8
6	Массовая доля мышьяка в пересчете на оксид мышьяка, %, не более	0,001

Для приготовления сухой клеевой смеси на цементной основе использовали следующие материалы:

- портландцемент Вольский, ПЦ 400 – Д20, тонкостью помола (сито № 008) 93,6 %, истинной плотностью $\rho_{ист.} = 3000 \text{ кг/м}^3$, насыпной плотностью $\rho_{нас.} = 1300 \text{ кг/м}^3$, с удельной поверхностью $S_{уд.} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$ (ГОСТ 31108) [42];

- кварцевый песок Ухтинского месторождения. Данный песок относится к группе мелких песков с массовой долей кремнезема не более 97%. По минеральному составу являются кварцевыми с примесью полевого шпата, глауконита, глинисто-опаловых агрегатов, а также фракций тяжелых минералов – циркона, рутила, ильменита, дистена и др. [25]. Среднее значение модуля крупности составляет 1,38. Кварцевый песок Ухтинского месторождения

характеризуется истинной плотностью, равной $\rho_{ист.} = 2650 \text{ кг/м}^3$, насыпной плотностью, составляющей $\rho_{нас.} = 1340 \text{ кг/м}^3$ и удельной поверхностью, равной $S_{уд.} = 20 \text{ м}^2/\text{кг}$.

– кварцевый песок Чаадаевского месторождения. Массовая доля кварца составляет не более 95 % – 96 %. По минеральному составу песок относится к кварцевым с примесью полевых шпатов, глауконита, магнетита, ильменита и рутила [25]. Пески Чаадаевского месторождения характеризуются средней плотностью, составляющей $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ и удельной поверхностью, равной $S_{уд.} = 18 \text{ м}^2/\text{кг}$. Среднее содержание глинистых частиц – 0,53 % – 1,20 % .

В качестве пластифицирующих добавок применяли:

- Кратасол (ТУ 5745-365-05800142-2011);
- Sika ViscoCrete 3180.

Добавка Кратасол ПФМ – продукт, получаемый при многостадийном органическом синтезе, и представляет собой сополимер на основе полиметиленафталинсульфонатов натрия с добавлением воздухововлекающего и гидрофобизирующего компонента, представляющий собой полифункциональную добавку для бетонов, соответствующую требованиям ГОСТ 24211 [37]. Физико-химические показатели добавки Кратасол ПФМ приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Физико-химические показатели Кратасол ПФМ

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Внешний вид	Порошок темно-коричневого цвета
2	Массовая доля воды, %, не более	8
3	Показатель активности водородных ионов 2,5%-ного водного раствора, ед. рН	7–9
4	Массовая доля сухих веществ, % не менее	95
5	Содержание хлоридов, % не более	0,1

Суперпластификатор Sika ViscoCrete 3180 – это суперпластификатор на

основе поликарбоксилатных эфиров для бетонных смесей с длительной сохраняемостью подвижности для изготовления бетонов с низкой экзотермией. Добавка Sika ViscoCrete 3180 применяется как высокоэффективный пластификатор с длительным временем сохранения подвижности для любых бетонных смесей и удовлетворяет требованиям ТУ [131]. Основные технические характеристики суперпластификатора Sika ViscoCrete 3180 представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики Sika ViscoCrete 3180

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Основа	Водные композиции модифицированных поликарбоксилатных эфиров
2	Внешний вид	Мутная жидкость светло-коричневого цвета
3	Плотность	(1060 – 1090) кг/м ³ (при 20 ⁰ С)
4	Показатель рН	4,0 – 6,0
5	Высокое водоредуцирование, %	40
6	Сохраняемость подвижности смеси, мин	180
7	Пластифицирующий эффект без снижения прочности во все сроки твердения, мм, не менее	125

В качестве редиспергируемых порошков, содержащих антикоагулянты и средства против слеживания, применялся:

- Neolith P 4400.

Редиспергируемые полимерные порошки Neolith[®] производятся на базе сополимеров винилацетата, акрилатов и версататов. Редиспергируемый порошок Neolith P 4400 является сополимерным порошком, основанным на винилацетате и версатате винила. Он производится процессом сушки распылением латексной

дисперсии с поливинилспиртом в качестве защитного коллоида, и это легко повторно растворяется в воде. Neolith P 4400 подходит для подготовки цементных клеев для плитки. Поставляется в Россию фирмой «ЕвроХим-1». Свойства редиспергируемого порошка Neolith P 4400 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Свойства редиспергируемого порошка Neolith P 4400

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Внешний вид	Порошок белого цвета
2	Система стабилизации	Поливиниловый спирт
3	Плотность, кг/м ³ , не менее	400 – 600
4	Содержание твердых частиц, %	98 – 100

В качестве водоудерживающих добавок применяли добавку Vermocolл ССА 425 [79] и метилцеллюлозу марки FMC 2094 [69].

Vermocolл ССА 425 – это модифицированный неионогенный водорастворимый эфир целлюлозы, улучшающий консистенцию, стабильность и водоудержание в строительных смесях на основе гипса и цемента. Основные характеристики модифицирующей добавки Vermocolл ССА 425 представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Свойства водоудерживающей добавки Vermocolл ССА 425

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Внешний вид	Порошок белого цвета
2	Размер частиц < 300 μm	98 %
3	Содержание воды	max 4 %

Метилцеллюлоза марки FMC 2094 – это волокна различных оттенков белого цвета, представляющие собой эфир целлюлозы и метанола. В таблице 2.7

представлены физико-химические характеристики водоудерживающей добавки МЦ марки FMC 2094.

Таблица 2.7 – Физико-химические свойства метилцеллюлозы марки FMC 2094

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Внешний вид	Порошок
2	Цвет	белый или почти белый
3	Запах	отсутствует
4	Точка плавления	290-305 ⁰ С
5	рН (1%-ый водный раствор)	5,5 – 8,0

В качестве подложек в работе применялся цементно-песчаный раствор, пенополистирол, керамзитобетон и гипсовый раствор.

Для затворения смесей применяли воду из хозяйственно-питьевого водопровода, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 23732 [34].

2.2 Методика оценки реологических и технологических свойств композита на основе плиточного клея

Определение **пластической прочности** или предельного напряжения сдвига проводилось при помощи конического пластометра КП-3 [121]. Для этого в исследуемую систему с определенным интервалом погружался металлический конус, на который действовала нагрузка с одинаковой массой. Измерение проводилось систематически вплоть до момента превращения смеси в цементный камень. Пластическую прочность цементного теста P_m (МПа) рассчитывали по формуле:

$$P_m = K \alpha \frac{F}{h_m^2}, \quad (2.1)$$

где F – нагрузка на конус, г;

h_m – глубина погружения конуса, см;

K_α – константа конуса, причем

$$K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2.2)$$

где α – угол при вершине конуса (в его осевом сечении).

Определялось **изменение нормальной густоты и сроков схватывания** цементного теста с помощью прибора Вика [19]. Для определения нормальной густоты в чашу укладывался испытуемый раствор и разравнивался. Пестик прибора Вика доводили до соприкосновения с раствором, отмечали начальное значение по шкале прибора и отпускали стопорящий его механизм. Спустя 5 мин отмечали полученное (конечное) значение по шкале прибора. Нормальной густотой раствора принималась разность между начальным и конечным значениями равная 5 мм – 7 мм.

Изменение сроков схватывания раствора измерялась прибором Вика при помощи иглы. Раствор укладывался в чашу прибора и разравнивался. Иглу прибора доводили до соприкосновения с поверхностью раствора и отпускали стопорящий механизм. Началом схватывания раствора принимали время, когда игла прибора не доходила до дна чаши на 1 мм – 2 мм, концом схватывания принимали время, когда игла прибора не входила в раствор более чем на 1 мм – 2мм.

Определение **жизнеспособности раствора**. Жизнеспособностью раствора называется время от момента смешения компонентов на месте применения до момента потери способности состава наносится на ту или иную поверхность [146].

Жизнеспособность определяли временем с момента нанесения до момента изменения подвижности состава. Готовился раствор, тщательно перемешивался и хранился в герметично закрытой емкости. По истечении времени ($t = 0,5$ ч; 1 ч; 1,5 ч; 2 ч) смесь перемешивали 30 сек и производили измерение подвижности. За результат испытания принималось время, в течение которого разница показаний составила не более 10%.

Сползание керамической плитки, закрепленной на подложке исследуемым составом плиточного клея, определялось по европейскому стандарту DIN EN 1308 [143]. Метод заключался в измерении максимального сползания плитки под действием собственного веса с помощью разности показаний штангенциркуля.

Испытание проходило при нормальных условиях – температура $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $(50 \pm 5) \%$, скорость циркуляции воздуха в зоне испытаний менее 0,2 м/с.

Стальную линейку закрепляли зажимами к верхнему концу подложки таким образом, чтобы ее нижний край после установки подложки в вертикальное положение проходил горизонтально.

Непосредственно под стальной линейкой приклеивали защитную ленту шириной 25 мм, а затем на подложку шпателем наносили тонкий слой исследуемого состава плиточного клея. Далее, на подложку наносили толстый слой исследуемого раствора таким образом, чтобы он закрывал нижний край защитной ленты, после чего разглаживали раствор зубчатым шпателем перпендикулярно стальной линейке. Непосредственно после разглаживания раствора зубчатым шпателем удалили защитную ленту. Два упора шириной 25 мм приложили к стальной линейке, через 2 мин к упору приложили керамическую плитку и нагрузили грузом весом $(50 \pm 0,1) \text{ Н}$.

Расстояние между линейкой и плиткой измеряли штангенциркулем в трех точках с точностью $\pm 0,1$ мм. Спустя (30 ± 5) сек сняли грузы и упоры и установили подложку с нанесенным исследуемым составом и керамической плиткой в вертикальное положение. Через (20 ± 2) мин вновь измерили расстояние в измеренных ранее трех точках.

Максимальное сползание плитки под действием собственного веса рассчитывали как разность обоих показаний штангенциркуля.

Время коррекции керамической плитки, закрепленной исследуемым составом плиточного клея относительно подложки определялось по ТУ 5745-011-58239148-04 [133]. Испытание проходило на цементно-волокнистой пластине, на

которую с помощью зубчатого шпателя наносился слой клея и сразу же наклеивались 4 – 5 керамических плиток (100 мм × 100 мм × 5 мм) с их дальнейшим нагружением на 30 сек силой 5 Н, прикладываемой к центру плитки. С интервалом в 5 мин с момента приклеивания плиток выполнялась корректировка их положения поворотом на 180° в горизонтальной плоскости без приложения усилия прижатия или отрыва.

Время возможной корректировки положения плитки определялось как время от начала приклеивания первой плитки до момента испытания последней плитки, при котором еще не происходил ее отрыв после корректировки положения.

Открытое время выдержки измерялось по методике, описанной в европейском стандарте DIN EN [145]. Готовый раствор плиточного клея наносился на подложку рабочим слоем в 5 мм и разравнивался зубчатым шпателем под углом 60° к поверхности. На нанесенный раствор в течение 30 мин с интервалом 5 мин поочередно укладывалась керамическая плитка, размерами 50×50×5 мм, и нагружалась гирей, массой 2 кг на 30 сек. Спустя 40 мин все плитки снимали и переворачивали приклеиваемой стороной вверх. Затем визуально определяли площадь контакта между нанесенным слоем плиточного клея и керамической плиткой в процентах к общей площади керамической плитки. За открытое время выдержки принималось время, в течение которого на 50% поверхности керамической плитки присутствовал плиточный клей.

2.3 Методика оценки физико-механических свойств композита на основе плиточного клея

Прочность при сжатии образцов определялась по ГОСТ 5802 [23] на образцах-кубах размером 70 мм × 70 мм × 70 мм в возрасте 28 суток. Изготавливалось три образца.

В качестве испытательного оборудования для исследования прочности при сжатии образцов использовалась испытательная машина типа ИР 5057-50. В зависимости от вида использованного силового датчика ИР 5057-50 диапазон

измерения усилий составляет от 50 до 50 КН с точностью до 1 Н (0,1 кгс). Встроенные регуляторы скорости перемещения траверсы позволяют задавать скорость приложения нагрузки от 1 до 100 мм/мин (по величине перемещения). Прочность при сжатии образцов определялась по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.3)$$

где P – разрушающая сила, Н;

F – площадь поперечного сечения образца до испытания, мм².

Для оценки **прочности сцепления с основанием** применялся метод отрыва штампа (нормальный отрыв) по европейскому стандарту DIN EN 1348 [146]. Метод основан на определении силы отслаивания штампа от поверхности отрывом. Изготавливались образцы, представляющие собой: подложку, на которую наносился исследуемый состав плиточного клея, и керамическая плитка, размером (10×10×5) мм. Через 27 суток хранения образцов при нормальных условиях к плиткам, с помощью эпоксидного клея (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00), приклеивали штампы цилиндрической формы, диаметром 20 мм. Еще через 24 ч хранения образцов при нормальных условиях определяли прочность сцепления исследуемого раствора с основанием.

Для этого к штампу прикладывали нагрузку с постоянной скоростью возрастания (250 ± 50) Н/с. Прочность сцепления отделочного состава с подложкой определялась по формуле:

$$R_{адг} = \frac{P}{F}, \quad (2.4)$$

где P – общая сила растяжения, Н;

F – поверхность приклеивания, мм².

Прочность сцепления с основанием во влагонасыщенном состоянии определялась методом отрыва штампа (нормальный отрыв) по европейскому стандарту DIN EN 1348 [146]. Испытываемые образцы выдерживали 7 суток при нормальных условиях, затем хранили в воде при комнатной температуре. Через 20 суток испытываемые образцы вынули из воды, вытерли насухо полотенцем и

приклеили к плиткам штампы цилиндрической формы диаметром 20 мм с помощью эпоксидного клея (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00). Спустя 7 ч испытываемые образцы вновь опустили в воду комнатной температуры. Спустя 24 ч испытываемые образцы вынули из воды и сразу провели испытание на определение прочности сцепления с основанием. Прочность сцепления клеевого состава с основанием во влагонасыщенном состоянии определяли по формуле:

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

где P – общая сила растяжения, Н;

F – поверхность приклеивания, мм².

Растворный слой в процессе эксплуатации испытывает сдвиговые нагрузки относительно подложки [80]. Принцип определения сдвиговой нагрузки клеевого слоя заключался в создании в испытательной установке (ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек»» [102]), представленной на рисунке 2.1, горизонтальной сдвигающей нагрузки на испытываемый образец на основе исследуемого состава [59]. Испытание образцов проходило по схеме, представленной на рисунке 2.2.



Рисунок 2.1 – Внешний вид испытательной установки ГТ 2.2.3

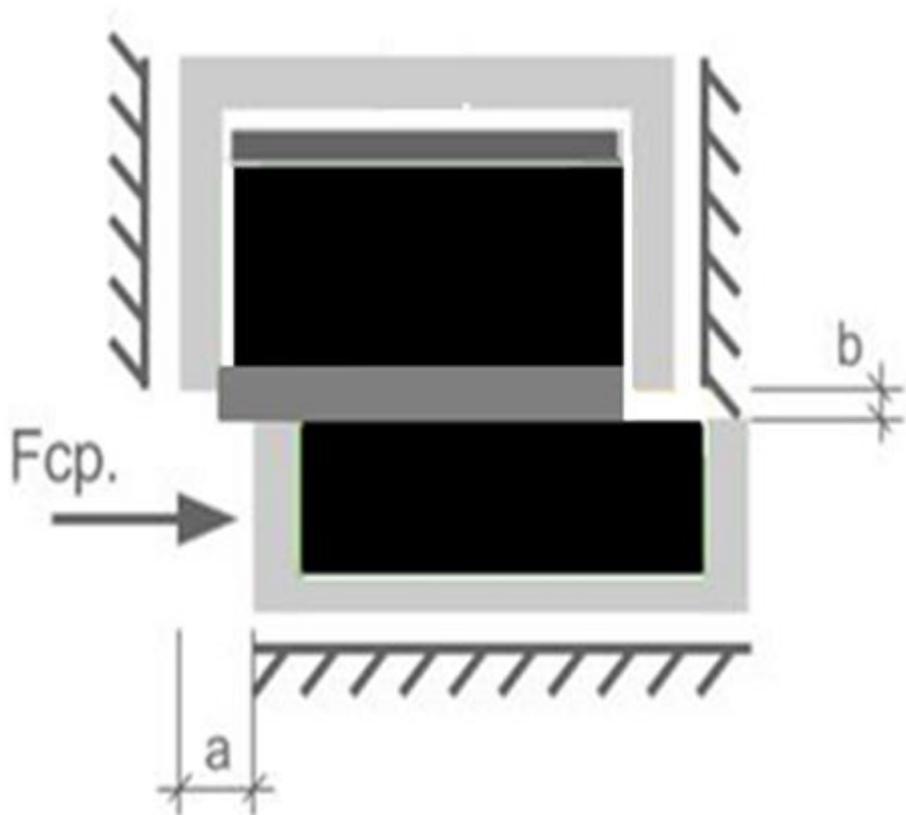


Рисунок 2.2 – Схема испытания исследуемых образцов на срез

Испытываемый образец помещался в каретку прибора таким образом, чтобы подложка находилась в малом срезном кольце, а исследуемый состав – в большом срезном кольце. Технологический зазор размером 1 мм образует область среза. В процессе испытаний при увеличении касательной нагрузки, применяемой к нижнему срезному кольцу, фиксировалось значение деформаций сдвига исследуемого состава относительно подложки. Устанавливалась скорость сдвига растворного клеевого слоя равная 0,2 мм/мин.

Усадочные деформации плиточного клея на цементной основе определялась с помощью оптического компаратора ИЗА-2 [39] и вычислялась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_o - l_i}{l_o} \cdot 100\% , \quad (2.6)$$

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

l_i – длина образца в промежуточные периоды твердения, мм.

Определение **предела прочности при растяжении** проводилось по ГОСТ 18299 [32] на разрывной машине ИР 5057-50. Метод основан на растяжении испытуемого образца до разрыва при скорости деформирования 1 мм/мин. Образцы составов размерами 10×10×50 мм закреплялись в зажимах разрывной машины так, чтобы его продольная ось была расположена в направлении растяжения, а приложенные силы действовали равномерно по всему сечению образца. Испытания проводилось при температуре воздуха $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60 %. Образцы, которые в процессе испытания разрушались за пределами рабочей части (20 мм) или перед зажимами, в расчёт не принимались.

Расчёт предела прочности при растяжении проводился по результатам испытания не менее четырех образцов каждого состава. Предел прочности при растяжении R_{kog} (МПа) для каждого образца вычислялся по формуле:

$$R_{kog} = \frac{F_{Pi}}{S_{Oi}}, \quad (2.7)$$

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

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

Модуль упругости [38] вычислялся по диаграмме «напряжение – деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной (Z), проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

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

$$E_{упр} = \frac{R'_{kog}}{\varepsilon'_i} \cdot 100, \quad (2.8)$$

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

ε'_i – относительное удлинение при разрыве, %.

2.4 Методика оценки гидрофизических свойств композита на основе плиточного клея

Кинетика водопоглощения покрытий на основе отделочных составов на основе сухой смеси определялась по ГОСТ 5802 [23].

Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы, помещались в емкость, наполненную водой с температурой в емкости (20 ± 2) °С. Образцы взвешивались с интервалом в 1 ч на обычных весах с погрешностью не более 0,1%. При взвешивании образцы, вынутые из воды, предварительно вытирались отжатой влажной тканью. Масса воды, вытекшая из пор образца на чашку весов, включалась в массу насыщенного образца. Испытание проводилось до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний отличались не более чем на 0,1 %. Определялось водопоглощение по массе.

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

$$W_m = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (2.9)$$

где $m_{сух}$ – масса высушенного образца, г;

$m_{вл}$ – масса водонасыщенного образца, г.

Определение **водопоглощения при капиллярном подсосе** проходило по ГОСТ 31356 [43]. Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{кл}$ образца, высушенного до постоянной массы, определялось по количеству поглощенной им воды при атмосферном давлении за счет капиллярных и адсорбционных сил. Испытание проводилось на образцах–балочках, размером 40×40×160 мм, выдержанных 28 суток при температуре, равной, $t = (20 \pm 2)$ °С, по следующему режиму: 2 суток – хранение образцов в форме; 5 суток – хранение распалубленных образцов при влажности окружающего воздуха (95 ± 5) % и, затем, 21 сутки образцы хранились при влажности окружающего воздуха, равной (65 ± 5) %. По истечении 28 суток торцевые грани испытываемых образцов обрабатывались штукатурной теркой для получения шероховатой поверхности.

Данные образцы высушивали до постоянной массы при температуре, равной, $t = (105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$. После этого, боковые грани образцов покрывали водонепроницаемым составом (расплавленным парафином) и взвешивали с погрешностью $\pm 0,01 \text{ г}$ (масса m_1). Линейные размеры увлажняемой торцевой грани балочек измеряли штангенциркулем с погрешностью $\pm 0,1 \text{ мм}$.

Подготовленные образцы помещали торцевой гранью в ванну, заполненную водой, температурой $t = (20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, на сетчатую подставку таким образом, чтобы торец образца был погружен в воду на $5 \text{ мм} - 10 \text{ мм}$. Уровень воды поддерживался в ванне постоянным на протяжении всего испытания. Через 24 ч испытываемые образцы извлекли из воды, удалили с поверхности образцов лишнюю воду при помощи влажной ткани и взвесили с погрешностью $\pm 0,01 \text{ г}$ (масса m_2).

Водопоглощение при капиллярном подсосе W_{kn} , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$, определялось по формуле:

$$W_{kn} = K_w \cdot \frac{m_2 - m_1}{S}, \quad (2.10)$$

где K_w – коэффициент, учитывающий время насыщения образца и равный $\frac{1}{\sqrt{24}} \text{ ч}^{-0,5}$;

m_1 – масса сухого образца, кг ;

m_2 – масса образца после насыщения водой, кг ;

S – площадь увлажняемой грани образца, м^2 .

За результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов испытания трех образцов, округленное до $0,1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$.

2.5 Методика оценки свойств композита на основе плиточного клея по отношению к действию температур

Морозостойкость раствора [43] определяли путем многократного попеременного замораживания образцов-кубов с ребром $70 \text{ мм} \times 70 \text{ мм}$ в состоянии насыщения водой при температуре минус $(15 - 20) \text{ }^\circ\text{C}$ и оттаивания их в воде при температуре $(15 - 20) \text{ }^\circ\text{C}$ и в воздушной среде при температуре $(20 \pm$

5)°С.

Для проведения испытания готовили 6 образцов-кубов, из которых 3 образца подвергали испытанию, а остальные 3 образца являлись контрольными. За марку раствора по морозостойкости принимали наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое при испытании выдерживали образцы.

Для проведения испытаний применяли следующее оборудование: камера морозильная с принудительной вентиляцией и автоматическим регулированием температуры в пределах минус (15 – 20) °С; емкость для насыщения образцов водой с прибором, обеспечивающим поддержание температуры воды в сосуде в пределах плюс (15 – 20) °С; формы для изготовления образцов по ГОСТ 22685 [33].

Образцы раствора, которые предназначены для проведения испытания на морозостойкость, и контрольные образцы, предназначенные для определения прочности при сжатии в возрасте 28 суток твердения насыщались водой (без предварительного высушивания) в течение 48 ч при температуре (15 – 20) °С. При этом, каждый образец был окружен с каждой стороны слоем воды, толщина которого составляла не менее 20 мм. Время, за которое образцы насыщаются водой, включали в общий возраст раствора.

Образцы подвергались заморозке в морозильной установке, обеспечивающей возможность охлаждения камеры с образцами и поддержания в ней температуры минус (15 – 20) °С. Температура измерялась на уровне половины высоты камеры.

Образцы загружались в камеру после охлаждения в ней воздуха до температуры не выше минус 15 °С. Продолжительность одного замораживания составляла не менее 4 ч. Образцы после выгрузки из морозильной камеры оттаивали в ванне с водой при температуре (15 – 20) °С в течение 3 ч.

При оценке морозостойкости по степени повреждения образцы подвергали визуальному осмотру через каждые 5 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

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

Потерю прочности образцов Δ в процентах вычисляли по формуле:

$$\Delta = \frac{R_{\text{контр}} - R_{\text{осн}}}{R_{\text{контр}}} \cdot 100, \quad (2.11)$$

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

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

По полученным результатам назначали марку смеси по морозостойкости.

Морозостойкость контактной зоны исследуемого состава определялась по прочности сцепления с основанием после циклов замораживания-оттаивания влагонасыщенного образца по методу отрыва штампа (нормальный отрыв) по ГОСТ 31356 [43]. Испытываемые образцы выдерживали 7 суток при нормальных условиях, затем хранили в воде в течение 21 суток, после чего подвергли 25 циклам замораживания и размораживания. Цикл замораживания и размораживания проводился согласно методике, указанной в стандарте. По окончании последнего цикла испытываемые образцы вынимали из воды, насухо вытерли полотенцем и приклеили к плиткам штампы цилиндрической формы диаметром 20 мм с помощью эпоксидного клея (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00). Испытываемые образцы выдерживали еще 24 ч при нормальных условиях. Прочность сцепления клеевого слоя с основанием после попеременных циклов замораживания-оттаивания определяли согласно формуле:

$$R_{\text{адг}} = \frac{P}{F}, \quad (2.12)$$

где P – общая сила растяжения, Н;

F – поверхность приклеивания, мм².

2.6 Прочие методы исследований

Истинная плотность определялась с помощью прибора Ле-Шателье [45]. Прибор наполнялся обезвоженным керосином до нижней нулевой метки (по нижнему мениску), после чего верхняя свободная от керосина часть прибора протиралась тампоном из фильтровальной бумаги. Исследуемый материал перед испытанием высушивался в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до постоянной массы. На технических весах в стаканчике взвешивалась навеска порошка массой около 70 г с погрешностью не более $\pm 0,01$ г. Порошок высыпался в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигал одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка со стаканчиком взвешивался. Определялся уровень жидкости в приборе. Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствовало объему высыпанного порошка. Истинная плотность исследуемого материала $\rho_{ист}$ вычислялась по формуле:

$$\rho_{ист} = \frac{(m_1 - m_2)}{V}, \quad (2.13)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком, г;

m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком, г;

V – объем высыпанного порошка, см^3 .

Насыпная плотность материалов определялась с помощью методики, установленной ГОСТ 9758 [26], с использованием сосуда, объемом, 1000 см^3 . Проба материала массой около 1,5 кг насыпалась в стандартную воронку. Предварительно взвешенный мерный сосуд помещался под воронку и заполнялся измеряемым материалом с небольшим избытком. После заполнения сосуда деревянной линейкой осторожно срезался излишек материала на уровне с краями сосуда. Затем сосуд с исследуемым материалом взвешивался и, вычитая из полученного результата массу сосуда, находилась масса порошка.

Насыпная плотность материала $\rho_{нас}$ ($\text{г}/\text{см}^3$) вычислялась по формуле:

$$\rho_{нас} = \frac{m}{V}, \quad (2.14)$$

где m – масса материала, г;

V – объем сосуда, см³.

Определение **межзерновой пустотности** песка в стандартном неуплотненном состоянии заключалось в вычислении, основанном на значениях истинной и насыпной плотностей песка [25].

Межзерновая пустотность песка ($V_{м.п.}$) в процентах по объему вычислялась по формуле:

$$V_{м.п.} = \left(1 - \frac{\rho_{нас}}{\rho_{ист}} \right) \cdot 100, \quad (2.15)$$

где $\rho_{нас}$ – насыпная плотность материала, г/см³;

$\rho_{ист}$ – истинная плотность материала, г/см³.

Плотность растворной смеси определяется отношением массы уплотненной растворной смеси к ее объему и выражается в г/см³ [23]. Для проведения испытаний применяли следующее оборудование: сосуд цилиндрический стальной, емкостью 1000 мл; стержень стальной, диаметром 12 мм, длиной 300 мм; весы лабораторные по ГОСТ 24104 [36] и стальную линейку 400мм по ГОСТ 427 [21].

Перед проведением испытания цилиндрический стальной сосуд предварительно взвешивали с погрешностью до ± 2 г, затем наполнили его с избытком растворной смесью. Растворную смесь уплотняли путем 5 – 6 кратным легким постукиванием о стол и штыкованием стальным стержнем 25 раз. После уплотнения растворной смеси ее избыток срезали стальной линейкой. Поверхность тщательно выравнивали с краями сосуда. Стенки мерного сосуда очищали влажной тканью от попавшей на них растворной смеси. Далее сосуд с растворной смесью взвешивали с точностью до ± 2 г.

Плотность растворной смеси ρ , г/см³, вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{1000}, \quad (2.16)$$

где m – масса мерного сосуда с растворной смесью, г;

m_1 – масса мерного сосуда без смеси, г.

Модуль жидкого стекла рассчитывали в соответствии с ГОСТ 13078 [30] для натриевого жидкого стекла, исходя из значений плотности и концентрации Na_2O по следующему уравнению:

$$n = \frac{A \cdot (\rho - 1)}{x \cdot \frac{10 \cdot \rho}{m \left(1 - N \cdot \sqrt{x \cdot \frac{10 \cdot \rho}{m}} \right)}} - C, \quad (2.17)$$

где A , N и C – константы, для натриевого жидкого стекла соответственно равные 24,88; 0,071 и 2,071;

ρ – плотность жидкого стекла, г/см³;

x – массовая доля оксида натрия, % (по анализу);

m – молекулярная масса щелочного оксида ($\text{Na}_2\text{O} = 62$).

Определение массовой доли оксида натрия проводили ацидиметрическим методом [30]. На часовое стекло помещалась навеска жидкого стекла массой 0,5 г. Затем, в коническую колбу, вместимостью 250 см³, смывали навеску жидкого стекла горячей водой, объемом 75 см³ – 100 см³, и кипятили при тщательном перемешивании в течение 20 мин. Полученный раствор охлаждался и титровался раствором 0,1 моль/дм³ соляной кислоты в присутствии 3 – 4 капель метилового оранжевого до перехода желтой окраски в бледно-розовую.

Массовую долю оксида натрия в процентах вычисляли по формуле:

$$X_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{V \cdot 0,0031 \cdot 100}{m}, \quad (2.18)$$

где V – объем точно 0,1 моль/дм³ раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование, см³;

m – масса навески жидкого стекла, г;

0,0031 – количество оксида натрия, соответствующее 1 см³ точно 0,1 моль/дм³ раствора соляной кислоты, г.

Удельную поверхность определяли при помощи прибора ПСХ-9 [18]. Принцип действия прибора основан на измерении удельной поверхности сыпучих материалов методом Козени-Кармана – по воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка.

Газопроницаемость слоя порошка определялась по продолжительности фильтрации через него заданного объема воздуха при фиксированном разряжении в рабочем объеме прибора.

Применяемый прибор стандартизирован в качестве средств контроля дисперсности строительных материалов (ГОСТ 310.2, ГОСТ 23789) [18, 35]. Результаты измерений удельной поверхности прибором ПСХ соответствуют европейским (DIN EN, ISO) и американскому (ASTM) стандартам.

Водоудерживающая способность определялась выраженным в процентах содержанием воды в пробе до и после эксперимента [40]. Для проведения эксперимента применялись: листы бумаги промокательной с размером 150 мм × 150 мм по ТУ 13-7308001-758-88; прокладки из марлевой ткани размером 250 мм × 350 мм по ГОСТ 11109 [28]; кольцо металлическое с внутренним диаметром 100 мм, высотой 12 мм и толщиной стенки 5 мм; стеклянная пластинка с размером 150 мм × 150 мм и толщиной 5 мм; весы лабораторные по ГОСТ 24104 [36] и прибор для определения водоудерживающей способности.

Перед испытанием 10 листов промокательной бумаги взвешивали с погрешностью до ± 0,1 г. Взвешанные листы бумаги промокательной укладывали на стеклянную пластинку, на которые укладывали прокладку из марлевой ткани, устанавливали кольцо металлическое и еще раз взвешивали. Растворную смесь тщательно перемешивали и укладывали вровень с краями металлического кольца, выравнивали, взвешивали и оставили на 10 мин. Металлическое кольцо вместе с раствором осторожно снималось вместе с марлей. Промокательную бумагу взвешивали с погрешностью до ± 0,1 г.

Водоудерживающую способность смеси определяли по формуле:

$$V = \left(100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100 \right), \quad (2.19)$$

где m_1 – масса промокательной бумаги до испытаний, г;

m_2 – масса промокательной бумаги после испытания, г;

m_3 – масса установки без растворной смеси, г;

m_4 – масса установки с растворной смесью, г.

Для достоверности полученных результатов водоудерживающую способность растворной смеси определяли дважды для каждой пробы, вычисляли среднее арифметическое значение результатов, отличающихся между собой не более чем на 20 % от меньшего значения.

Кинетика тепловыделения при твердении образцов определялась с помощью сосуда Дьюара [20]. В сосуд погружали испытуемый раствор, закрывали герметично пробкой прибора, имеющей отверстие для термометра, и фиксировали изменение температуры с течением времени. Концом испытания принимали время, когда температура раствора в течение 30 мин не изменялась.

Проводили измерение **кинетики изменения рН раствора при твердении образцов** с помощью рН – метра марки «Аквилон» рН – 410 №9514. В цементный раствор (контрольный образец) и раствор композиционного вяжущего (с применением добавки) опускался пестик прибора через каждые 5 мин. На приборе фиксировалось значение рН исследуемого раствора. Эксперимент считался оконченным, когда пестик прибора не входил в исследуемый раствор, т.к. раствор затвердевал.

Определялось **количество свободной извести** в цементном камне для оценки процесса структурообразования [22]. Содержание в цементном камне свободного СаО определялось титрованием навески цементного камня соляной кислотой до тех пор, пока все свободные частицы СаО не были нейтрализованы кислотой. Для этого предварительно измельченная и просеянная через сито № 008 навеска цементного камня массой 1 г помещалась в коническую колбу 250 мл, добавлялось 150 мл дистиллированной воды, закрывалась часовым стеклом и нагревалась в течение 5 мин – 7 мин, не доводя до кипения. После остывания

добавлялось 15 капель однопроцентного спиртового раствора фенолфталеина и титровалось 1 Н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого. Титрование проводилось медленно, с добавлением кислоты по каплям. Эксперимент заканчивался, когда при периодическом перемешивании в течение 10 мин раствор оставался бесцветным. Количество свободной извести определялось по формуле:

$$A_{изв} = \frac{V_{HCl} \cdot 2,804 \cdot K}{m} \cdot 100, \quad (2.20)$$

где $A_{изв}$ – содержание активного CaO, %;

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

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

K – поправка к титру 1 Н раствора соляной кислоты;

m – навеска измельченного цементного камня, г.

Содержание свободной и связанной воды в образцах определялось с помощью изменения массы навески измельченного исследуемого образца, твердевшего 28 сут в воздушно-сухих условиях, после ее высушивания в сушильной камере при температурах $t_1 = (100 - 110) ^\circ\text{C}$ и $t_2 = (900 - 1000) ^\circ\text{C}$ [17]. Для проведения расчетов применялись следующие формулы:

$$H_2O_{своб} = \frac{m_1 - m_2}{m_2}, \quad (2.21)$$

$$H_2O_{связ} = \frac{m_2 - m_3}{m_3}, \quad (2.22)$$

где m_1 – навеска исследуемого образца, г;

m_2 – высушенная навеска ($t_1 = (100 - 110) ^\circ\text{C}$);

m_3 – высушенная навеска ($t_2 = (900 - 1000) ^\circ\text{C}$).

Пористость цементного камня определялась по полученным значениям содержания свободной и химически связанной воды в цементном камне и его

водо-цементному соотношению. Расчет проводился по следующим формулам [17]:

$$P_1 = \frac{B/C - 0,5 \cdot \alpha}{B/C + 0,32} \cdot 100, \quad (2.23)$$

$$P_2 = \frac{0,09 \cdot \alpha}{B/C + 0,32} \cdot 100, \quad (2.24)$$

$$P_3 = \frac{0,2 \cdot \alpha}{B/C + 0,32} \cdot 100, \quad (2.25)$$

$$P_{\text{общ}} = \frac{B/C - 0,21 \cdot \alpha}{B/C + 0,32} \cdot 100, \quad (2.26)$$

где P_1 – капиллярная пористость, %;

P_2 – контракционная пористость, %;

P_3 – гелевая пористость, %;

$P_{\text{общ}}$ – общая пористость, %;

B/C – водо-цементное соотношение;

α – степень гидратации цемента, определяемая по формуле:

$$\alpha = 4 \cdot W_n, \quad (2.27)$$

где W_n – химически связанная вода.

Открытая пористость определялась по следующей формуле:

$$P_{\text{отк}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{ест}}} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100, \quad (2.28)$$

где $m_{\text{нас}}$ – масса материала в насыщенном состоянии, кг;

$m_{\text{сух}}$ – масса материала в сухом состоянии, кг;

$V_{\text{ест}}$ – естественный объем материала, м³;

ρ_{H_2O} – плотность воды, принимаемая $\rho = 1000$ кг/м³.

Фазовый состав образцов материала определяли с помощью рентгенофазового анализа. Ионизационные рентгенограммы исследуемых образцов были сняты на рентгеновской станции ARL 9900 X-ray Work Station

(Thermo Scientific) Thermo Scientific модели ARLX`TRA фирмы Thermo Electron SA (Швейцария).

Рентгеновские дифракционные спектры получены с использованием λ - $\text{Co}_{K\alpha 1,2}$ излучения. Интервал углов дифракции $2\Theta = 12^{\circ} - 80^{\circ}$, шаг сканирования равен $0,02^{\circ}$. Расшифровка рентгенограмм проходила путем сравнения межплоскостных расстояний и интенсивности соответствующих линий на полученных рентгенограммах с данными для эталонных веществ [134].

Дифференциальный термический анализ позволил изучить фазовые переходы индивидуальных веществ и многокомпонентных систем: температуры и энтальпии плавления, полиморфные превращения, дегидратацию кристаллогидратов, идентификацию веществ, их чистоту и др. [134].

Дериватограммы образцов были получены на дериватографе Q – 1500. Программный нагрев печей от 20°C до 1000°C осуществлялся электронным термонагревателем со скоростью $20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Платиновой термопарой с точностью $\pm 5^{\circ}\text{C}$ производится измерение температуры, при этом со скоростью развертки $2,5\text{мм}/\text{мин}$ четырехканальным самописцем на бумаге регистрировался сигнал. Разность температур между изучаемым веществом и эталоном, пропорциональная тепловому эффекту, записывалась в виде ДТА кривой (чувствительность 500мкВ). Одновременно с кривой ДТА проходила запись кривой потери веса и ее производной (чувствительность 500 мкВ).

Активность минеральных добавок определяли по их растворимости в 20% - м растворе КОН следующим образом: исходную минеральную добавку измельчали до полного прохождения через сито № 008 и высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу в течение 2 ч при температуре $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Высушенную добавку помещали в стеклянный стакан и заливали 20%-м раствором КОН. Полученный раствор помещали на 3 ч в кипящую водяную баню, после чего отстоявшийся раствор отфильтровывали через неплотный беззольный фильтр. Осадок в стакане промывали горячей дистиллированной водой полного перенесения осадка на фильтр. Промытый осадок вместе с фильтром на воронке высушивали до постоянной массы.

Количество растворимого в КОН вещества минеральной добавки определяли по формуле:

$$M = \frac{P - P_1}{P} \cdot 100\% , \quad (2.29)$$

где M – количество растворимого в КОН вещества добавки, %

P – исходная навеска, г;

P_1 – навеска после растворения в КОН и высушивания при $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, г.

Зависимость между величиной растворимости в 20%-ном растворе КОН и активностью добавки (в мг СаО на 1 г добавки) представлена на рисунке 2.3.

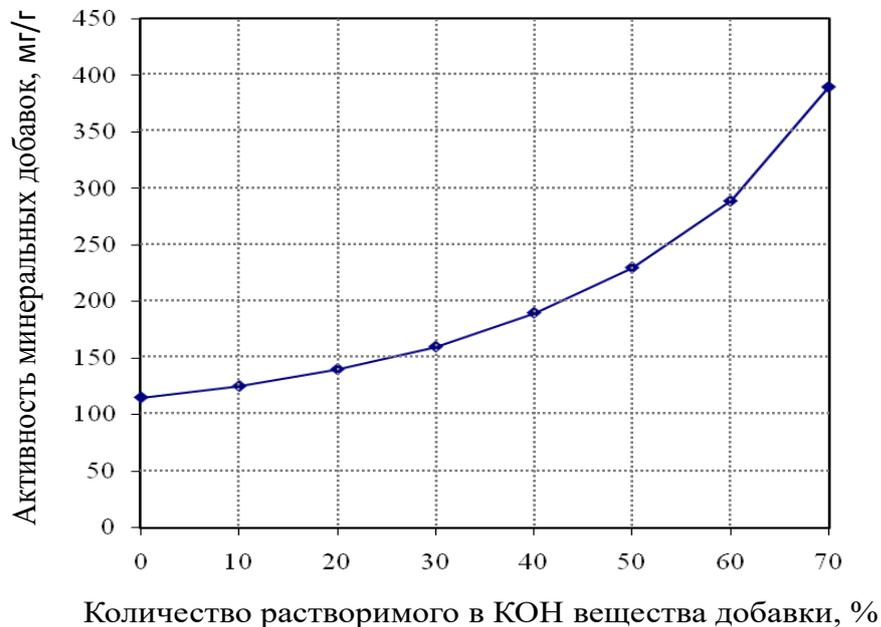


Рисунок 2.3 – График зависимости активности минеральных добавок от растворимости в 20%-ном растворе КОН [1]

2.7 Статистическая обработка результатов испытаний

Оценка достоверности полученных экспериментальных данных проводилась с помощью их статистической обработки.

Оценка точности измерений определялась нахождением абсолютной и относительной погрешности Δx_i и ε по формулам:

$$\Delta x_i = x - x_i , \quad (2.30)$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.31)$$

где x – истинное значение измеряемой величины;

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

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений.

Результаты, вызывающие подозрение, проверялись с помощью критерия Шофене. Среднее арифметическое значение \bar{x} вычислялось по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.32)$$

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

n – общее число наблюдений.

Среднее квадратическое отклонение измерений определялось по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (2.33)$$

где x_i – среднее арифметическое значение i -го испытания;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений;

n – общее число наблюдений.

Коэффициент вариации (V) рассчитывался по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.34)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений

При условии выполнения нормального закона распределения, с учетом заданных коэффициентов надежности (α) и вероятности (P) значения доверительных интервалов, покрывающих параметр α , могут рассчитаться по формуле:

$$P\left(\bar{x} - t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \alpha < \bar{x} + t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2 \cdot \Phi = \alpha, \quad (2.35)$$

где n – объем выборки;

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

При этом точность оценки составляла:

$$\delta = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.36)$$

Для доказательства выполнения нормальности закона распределения применялся критерий Пирсона, определяемый по формуле:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \right], \quad (2.37)$$

где n_i – эмпирические частоты;

n'_i – теоретические частоты.

Глава 3. Закономерности структурообразования цементного камня в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов

3.1 Физико-химические показатели добавки на основе аморфных алюмосиликатов для сухих строительных смесей

Для расширения рынка сырья и снижения поставок импортных добавок исследовалась возможность применения в рецептуре сухих строительных смесей добавки на основе аморфных алюмосиликатов, полученных путем смешивания натриевого жидкого стекла сульфатом алюминия $Al_2(SO_4)_3$ [110].

Добавку на основе аморфных алюмосиликатов получали осаждением алюмосиликатов из жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 путем введения 15 % - ного раствора технического сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ (ГОСТ 12966 с изм.1, 2) [29] с последующим промыванием полученного осадка дистиллированной водой, его высушиванием в сушильном шкафу при температуре $t = (105 \pm 5) ^\circ C$ до постоянной массы и измельчением [81]. Физико-химические показатели минеральной добавки на основе аморфных алюмосиликатов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Физико-химические показатели минеральной добавки

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Внешний вид	Порошок белого цвета
2	Активность, мг/г	350
3	Удельная поверхность, $S_{уд}$, м ² /кг	688,6
4	Плотность насыпная, кг/м ³	568,2
5	Плотность истинная, кг/м ³	2140

Микроструктура добавки на основе аморфных алюмосиликатов изучена при помощи электронного микроскопа и представлена на рисунках 3.1 и 3.2.

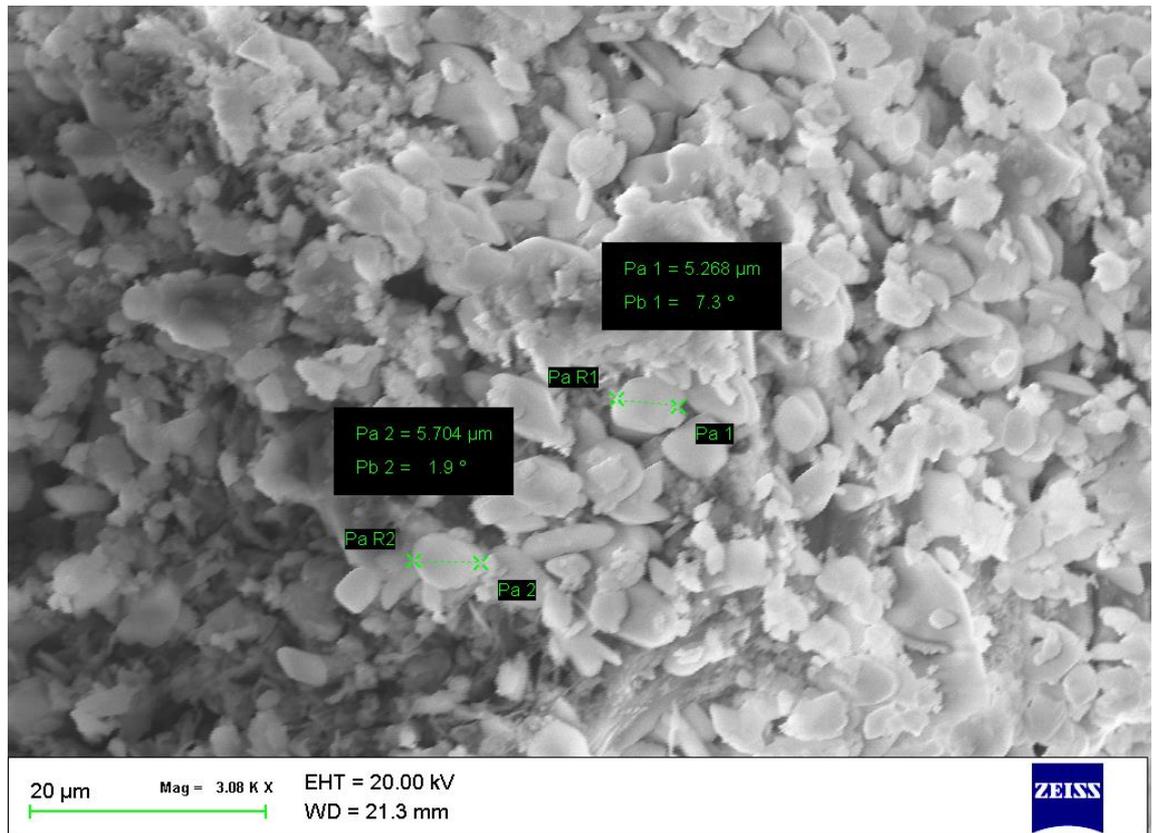


Рисунок 3.1 – Микроструктура аморфных алюмосиликатов

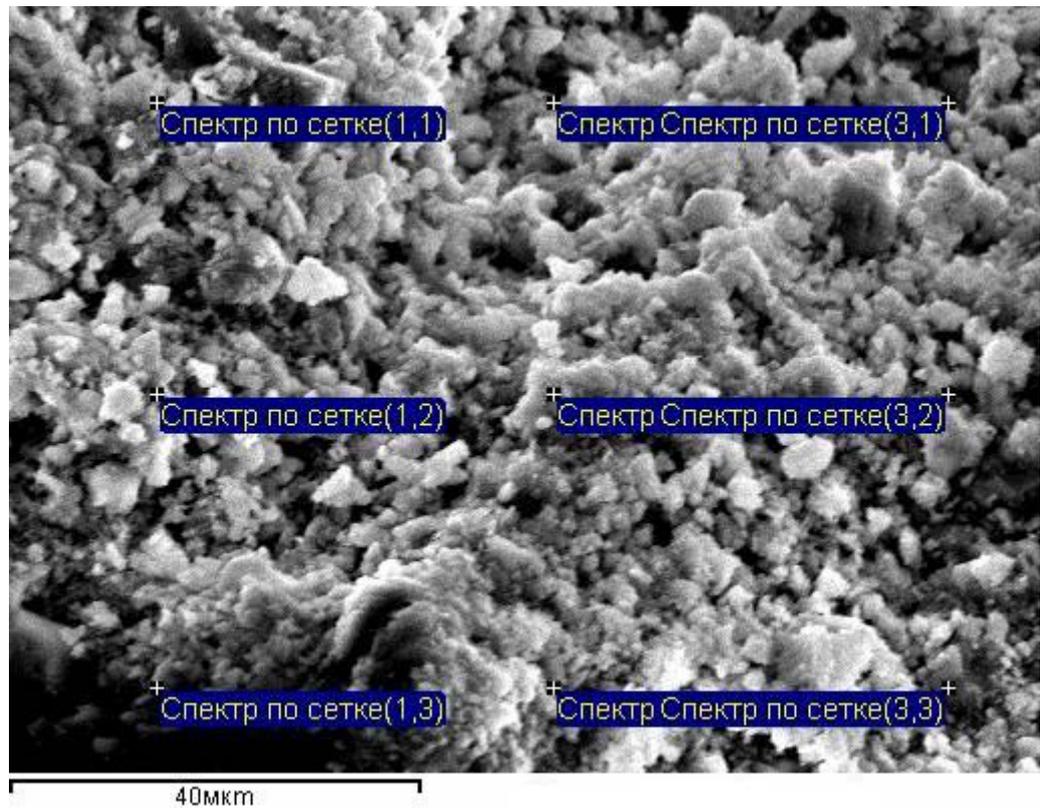


Рисунок 3.2 – Микроструктура добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Выявлено, что микроструктура добавки представлена частицами округлой формы с размерами 5,208 мкм – 5,704 мкм, но встречаются так же частицы лещадной формы с размером 7,13 мкм – 8,56 мкм. Удельная поверхность частиц добавки, измеренная методом БЭТ, составила $S_{уд} = (68,6 \pm 3,5) \text{ м}^2/\text{г}$ [82]. Химический состав добавки на основе аморфных алюмосиликатов представлен в таблице 3.2 по спектрам, представленным на рисунке 3.2.

Таблица 3.2 – Химический состав добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Спектр (по данным рис.3.2)	Химические элементы добавки, весовые %				
	O	Na	Al	Si	S
Спектр по сетке (1,1)	52.42	24.23	1.10	7.92	14.34
Спектр по сетке (3,1)	57.71	8.61	2.59	31.09	-
Спектр по сетке (1,2)	60.69	12.36	8.29	17.27	1.40
Спектр по сетке (3,2)	60.23	8.67	3.15	27.95	-
Спектр по сетке (1,3)	36.73	10.67	2.66	31.26	18.69
Спектр по сетке (3,3)	60.00	10.22	1.75	27.35	0.68
Максимальное	60.69	24.23	8.29	31.26	18.69
Минимальное	36.73	8.61	1.10	7.92	0.68
Среднее	48.71	16.42	4.70	19.59	9.67

Анализ данных, приведенных в таблице 3.2, показал, что в составе добавки на основе аморфных алюмосиликатов в основном преобладает высокое содержание химических элементов, таких как – O, Si, Na, S и Al – с содержанием соответственно 48,71 %, 19,59 %, 16,42 %, 9,67 % и 4,7 %.

3.2 Структурообразование цементной композиции в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуру цементного композита приводит к ускорению сроков схватывания и увеличению значения нормальной густоты цементного теста в зависимости от количества добавки. Полученные данные приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Изменение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста в зависимости от содержания добавки

Содержание добавки, % от массы цемента	Нормальная густота цементного теста (НГЦТ), %	Сроки схватывания	
		Начало схватывания	Конец схватывания
-	28	2ч 30мин	5ч
10	34	50мин	1ч 40 мин
20	41	40 мин	1ч 30 мин
30	43	20мин	1 ч 15 мин

Анализ данных, представленных в таблице 3.3, свидетельствует, что цементное тесто, содержащее добавку на основе аморфных алюмосиликатов, имеет более высокое значение нормальной густоты, составляющее 34% – 43% в зависимости от содержания добавки. Наблюдается ускорение сроков схватывания. Так, у цементного теста без добавки начало и конец схватывания составляют соответственно 2 ч 30 мин и 5 ч, а у цементного вяжущего, содержащего 20 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов, соответственно – 40 мин и 1 ч 30мин. С увеличением содержания добавки сроки схватывания ускоряются. Таким

образом, присутствие в рецептуре цементного теста добавки на основе аморфных алюмосиликатов оказывает влияние на структурообразование цементного камня.

Для подтверждения полученных данных был изучен характер изменения реологических свойств цементного теста. Цементное тесто имело одинаковое водоцементное соотношение В/Ц, равное $В/Ц = 0,47$. Результаты исследований приведены на рисунке 3.3.

Анализ пластограмм, представленных на рисунке 3.3, подтверждает полученные ранее данные того, что введение в рецептуру цементного теста добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к более раннему структурообразованию раствора.

Так, значение пластической прочности контрольного состава (без применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов) в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,0015$ МПа (рисунок 3.3, кривая 1), а при введении добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 10%, 20 % и 30 % от массы вяжущего в возрасте 20 мин с момента затворения составляет соответственно $\tau = 0,011$ МПа (рисунок 3.3, кривая 1), $\tau = 0,014$ МПа (рисунок 3.3, кривая 2) и $\tau = 0,020$ МПа (рисунок 3.3, кривая 3).

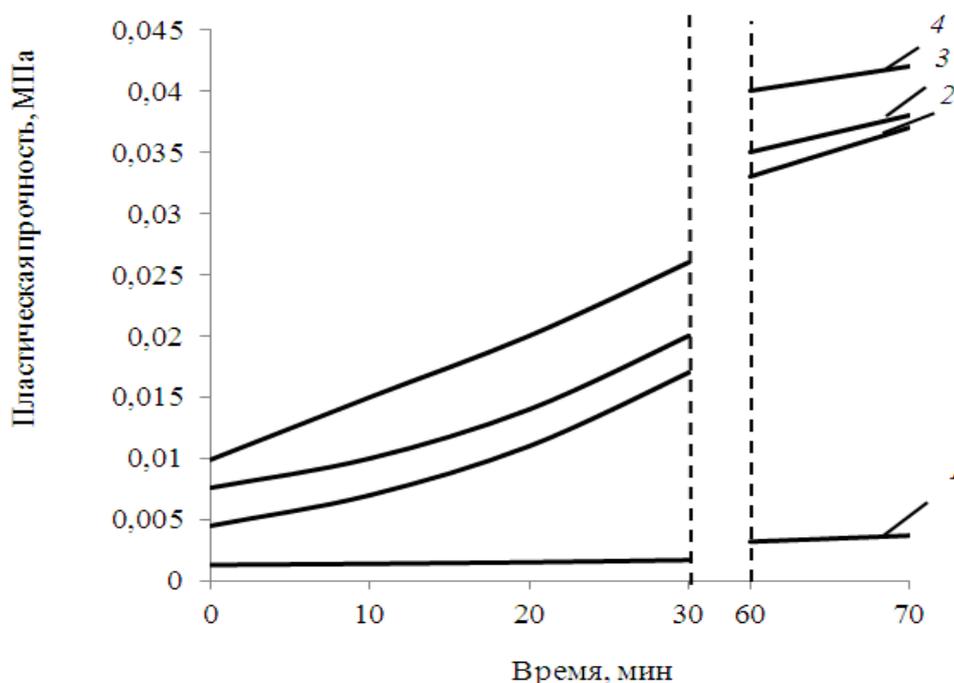


Рисунок 3.3 – Изменение пластической прочности цементного теста: 1 – контрольный образец (без содержания синтетической добавки); 2 – содержание

синтетической добавки 10 % от массы цемента; 3 – содержание синтетической добавки 20 % от массы цемента; 4 – содержание синтетической добавки 30 % от массы цемента

Исследовалось влияние дисперсности добавки на основе аморфных алюмосиликатов на изменение реологических свойств цементного теста. Смеси изготавливались с водоцементным соотношением В/Ц, равным $V/C = 0,47$. Применяли Вольский портландцемент с удельной поверхностью $S_{уд}$, равной $S_{уд} = 0,34 \text{ м}^2/\text{г}$. Содержание добавки составляло 20 % от массы цемента. Результаты исследований приведены на рисунке 3.4.

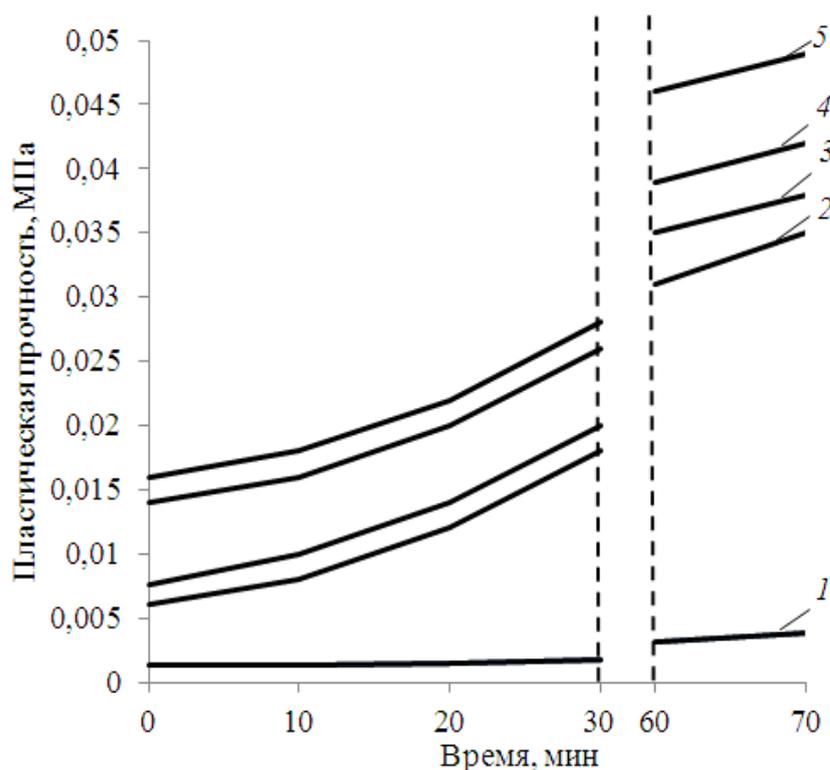


Рисунок 3.4 – Изменение пластической прочности цементного теста: 1 – контрольный (без добавки); 2 – цементное тесто (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 1,03 \text{ м}^2/\text{г}$); 3 – цементное тесто (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,69 \text{ м}^2/\text{г}$); 4 – цементное тесто (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,31 \text{ м}^2/\text{г}$); 5 – цементное тесто (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$)

Анализ пластограмм, представленных на рисунке 3.4, свидетельствует, что на время структурообразования цементного теста оказывает влияние величина удельной поверхности добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Так, значение пластической прочности цементного теста (контрольный состав) в

возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,0015$ МПа (рисунок 3.4, кривая 1), а при введении в рецептуру добавки на основе аморфных алюмосиликатов пластическая прочность в возрасте 20 мин с момента затворения составила $\tau = 0,012$ МПа – $0,022$ МПа в зависимости от дисперсности добавки.

Полученные данные реологических характеристик цементного теста при введении в его рецептуру добавки на основе аморфных алюмосиликатов разной дисперсности подтверждаются результатами проведенного анализа кинетики твердения цементного камня (рисунок 3.5). В рецептуру цементного теста вводили синтетическую добавку в объеме 20 % от массы цемента. Набор прочности цементных образцов проходил в воздушно-сухих условиях при температуре (20 ± 2) °С.

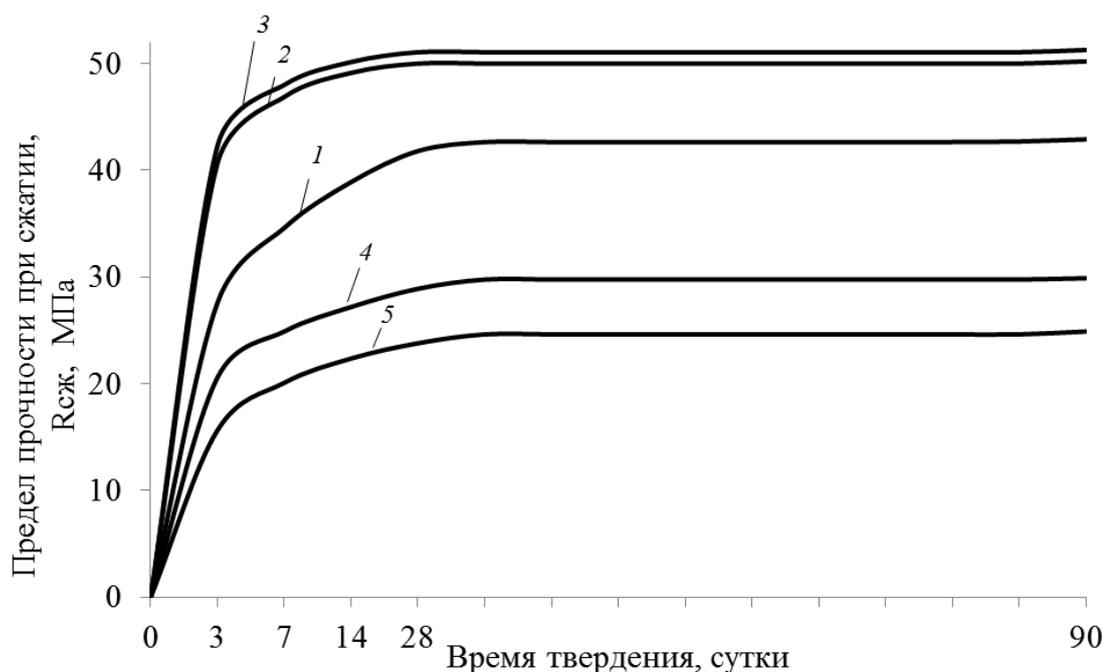


Рисунок 3.5 – Кинетика набора прочности образцов в воздушно-сухих условиях твердения: 1 – контрольный (без содержания синтетической добавки); 2 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 1,03$ м²/г); 3 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,69$ м²/г); 4 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,31$ м²/г); 5 – композиционное вяжущее (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,1$ м²/г)

Анализ полученных данных, представленных на рисунке 3.5, свидетельствует, что введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов с

удельной поверхностью $S_{уд} = 1,03 \text{ м}^2/\text{г}$ и $S_{уд} = 0,69 \text{ м}^2/\text{г}$ приводит к увеличению прочности при сжатии цементных образцов в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 13 % – 20 % по сравнению с контрольным образцом (без добавки).

Применение в рецептуре цементного камня добавки на основе аморфных алюмосиликатов с удельной поверхностью $S_{уд} = 0,31 \text{ м}^2/\text{г}$ и $S_{уд} = 0,1 \text{ м}^2/\text{г}$ приводит к снижению прочности при сжатии образцов на 35 % – 41 % по сравнению с контрольным образцом (без добавки).

На структурообразование цементного камня оказывает влияние как содержание синтезируемой добавки в его рецептуре, так и условия твердения образцов. Для подтверждения этого, исследована кинетика твердения цементного камня при разных условиях твердения: влажные (рисунок 3.6) и воздушно-сухие (рисунок 3.7).

Под влажными условиями принимали температуру окружающей среды, $t = (20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ с относительной влажностью воздуха не менее 90 %. Воздушно-сухие условия твердения – температура $(18 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха 60% – 70 %.

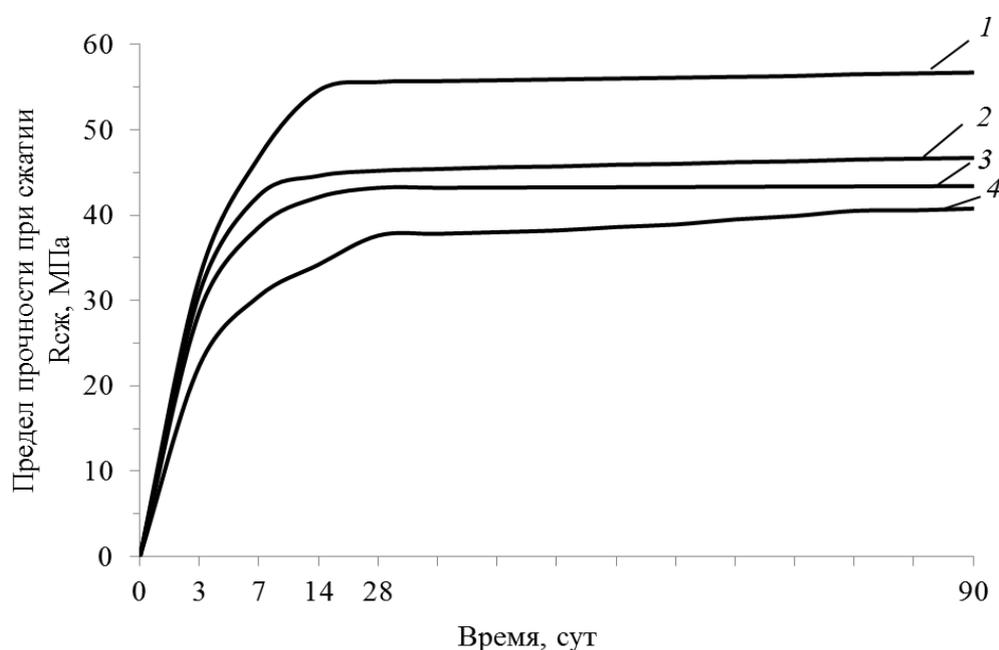


Рисунок 3.6 – Кинетика твердения цементных образцов во влажных условиях: 1 – контрольный (без содержания добавки); 2 – образец с содержанием 10 % добавки от массы цемента; 3 – образец с содержанием 20% добавки от массы цемента; 4 – образец с содержанием 30 % добавки от массы цемента

Анализируя экспериментальные данные, представленные на рисунке 3.6, установили, что при твердении во влажных условиях цементный камень, в рецептуру которого введена добавка на основе аморфных алюмосиликатов, имеет более низкую прочность, чем контрольный образец (без добавки). Так, прочность при сжатии контрольного образца в возрасте 90 суток составила 56,7 МПа, а у образцов с содержанием добавки в количестве 10 % – 30 % от массы цемента соответственно 46,7 МПа – 40,76 МПа.

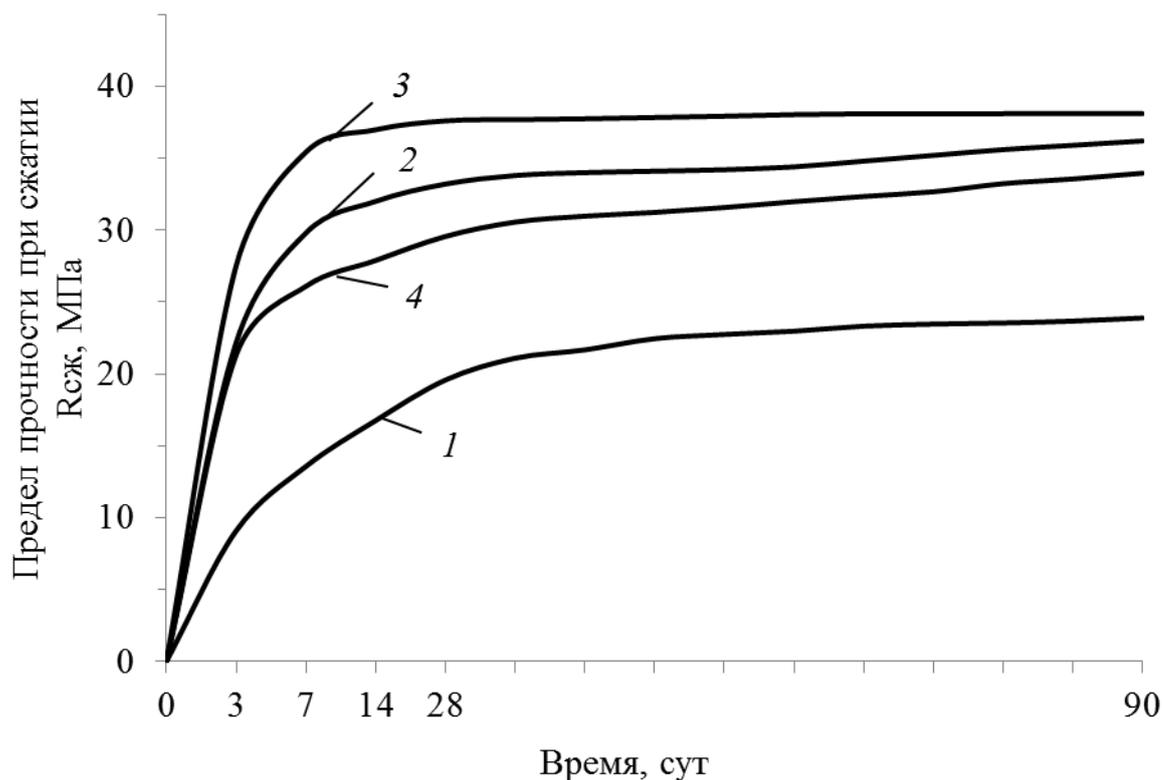


Рисунок 3.7 – Кинетика твердения цементных образцов в воздушно-сухих условиях: 1 – контрольный (без содержания добавки); 2 – образец с содержанием 10 % добавки от массы цемента; 3 – образец с содержанием 20% добавки от массы цемента; 4 – образец с содержанием 30 % добавки от массы цемента

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунке 3.7, свидетельствует, что при введении в рецептуру цементного камня добавки на основе аморфных алюмосиликатов повышается прочность при сжатии в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 40,2 % – 52,7 % в зависимости от содержания добавки.

Анализируя рисунки 3.6 – 3.7 выявлено, что твердение цементного камня, в рецептуре которого присутствует добавка на основе аморфных алюмосиликатов, проходит в более благоприятных влажностных условиях. Таким образом, можно предположить, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов обладает влагоудерживающей способностью.

Для подтверждения этого было исследовано изменение содержания количества воды в образцах цементного камня при твердении в воздушно-сухих условиях. Исследуемые образцы изготавливались с водоцементным отношением В/Ц, равным $В/Ц = 0,43$. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3.8.

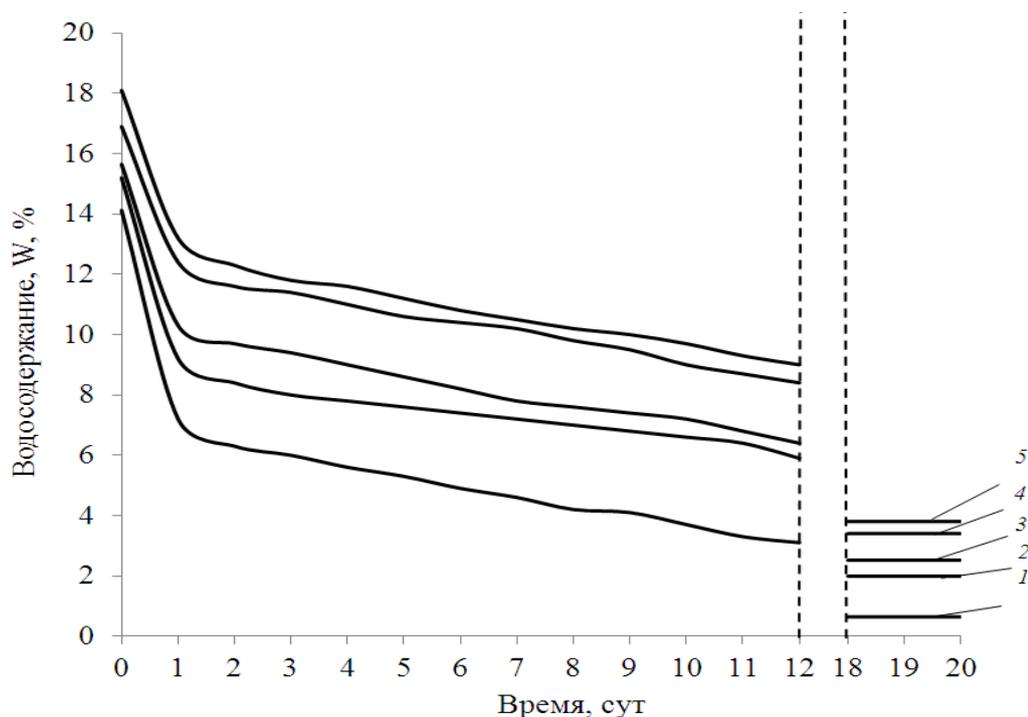


Рисунок 3.8 – Изменение влажности цементных образцов при твердении: 1 – контрольный образец; 2 – содержание добавки 1% от массы цемента; 3 – содержание добавки 10% от массы цемента; 4 – содержание добавки 20% от массы цемента; 5 – содержание добавки 30% от массы цемента

Анализ рисунка 3.8 показал, что из образцов цементного камня без содержания добавки при воздушно-сухом твердении влага испаряется интенсивней (рисунок 3.8, кривая 1) по сравнению с цементными образцами, в рецептуре которых содержится добавка на основе аморфных алюмосиликатов (рисунок 3.8, кривые 2 – 5). Так, у цементного камня (без добавки)

водосодержание на 20-е сутки твердения составило 0,64 %, а у цементного камня с содержанием добавки 1 %, 10 %, 20 % и 30 % от массы цемента составило соответственно 1,99 %; 2,52 %; 2,45 % и 2,75 %.

Для подтверждения полученных результатов исследований водоудерживающий эффект добавки на основе аморфных алюмосиликатов, применяемой в рецептуре цементного камня, в зависимости от ее процентного содержания (рисунок 3.9).

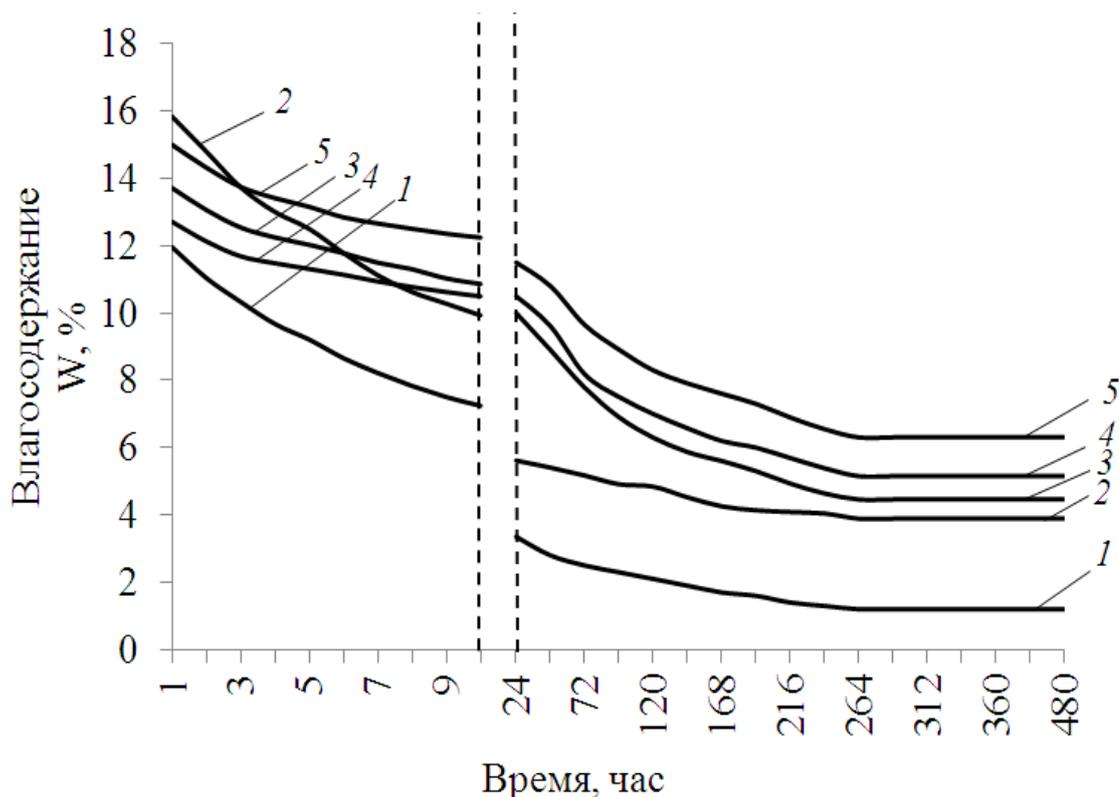


Рисунок 3.9 – Кинетика изменения массы цементных образцов при высыхании: 1- контрольный образец (без содержания добавки); 2 – содержание синтетической добавки 1 % от массы цемента; 3 – содержание добавки 10% от массы цемента; 4 – содержание добавки 20 % от массы цемента; 5 – содержание добавки 30 % от массы цемента

Анализ данных рисунка 3.9 установил, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов обладает значительным водоудерживающим эффектом по сравнению с контрольным образцом (без содержания добавки). Так, у цементного камня без содержания добавки влагосодержание на 20-е сутки (480 ч) твердения составило 1,2 % (рисунок 3.9, кривая 1), а у цементного камня с содержанием

добавки в количестве 1 % – 30 % соответственно составило 3,89 % – 6,3 % в зависимости от содержания добавки (рисунок 3.9, кривая 2 – 5).

Для сравнения водоудерживающего эффекта добавки на основе аморфных алюмосиликатов были выбраны добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 и Vermokool 425. Результаты испытаний приведены на рисунке 3.10.

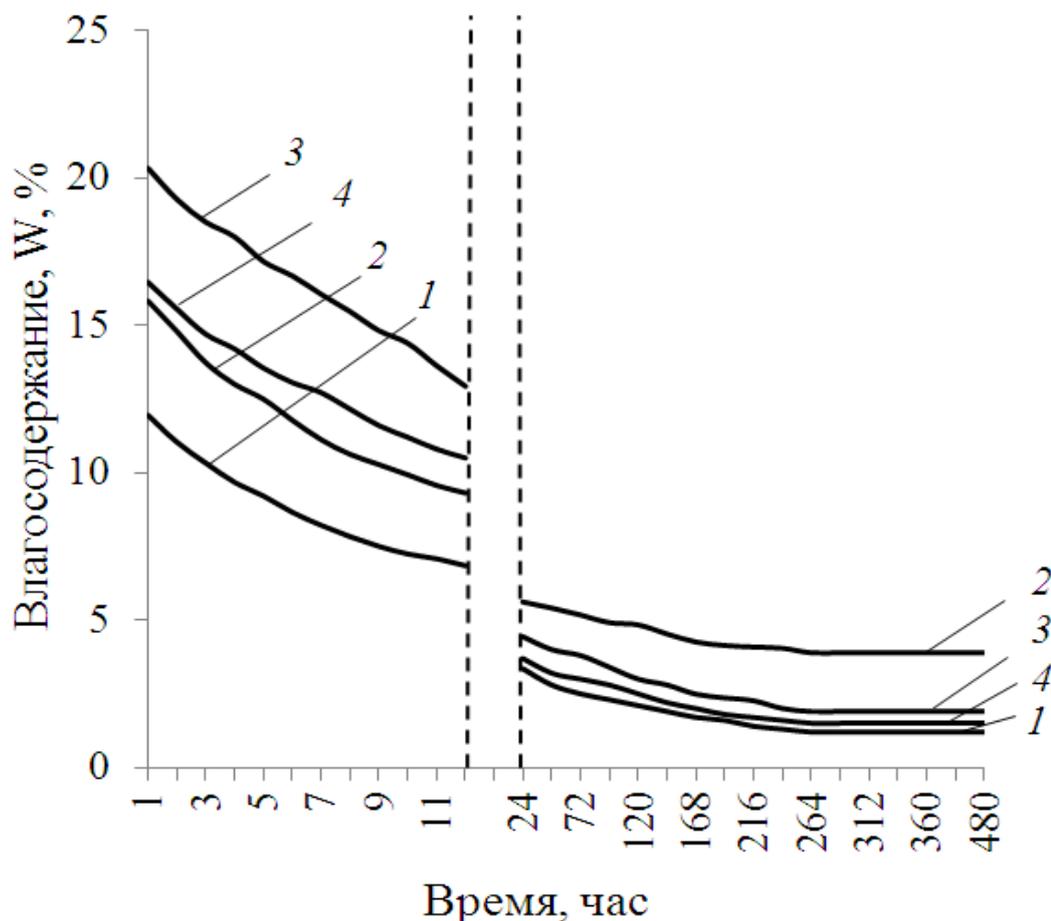


Рисунок 3.10 – Кинетика изменения массы цементных образцов при высыхании: 1- контрольный образец; 2 – содержание синтетической добавки 1% от массы цемента; 3 – содержание добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 – 1% от массы цемента; 4 – содержание добавки Vermokool 425 – 1% от массы цемента

Анализ данных рисунка 3.10 установил, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов обладает одинаковым водоудерживающим эффектом по сравнению с импортными влагоудерживающими добавками, такими, как метилцеллюлоза марки FMC 2094 и Vermokool 425. Так, у цементного камня с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 1 % от массы

цемента влагосодержание на 20-е сутки (480 ч) твердения составило 3,89 % (рисунок 3.10, кривая 2), а у цементного камня с содержанием 1 % метилцеллюлозы марки FMC 2094 и 1 % Вермокол 425 соответственно – 1,9% (рисунок 3.10, кривая 3) и 1,5 % (рисунок 3.10, кривая 4).

Наличие в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов способствует изменению pH жидкой фазы цементного теста (рисунок 3.11).

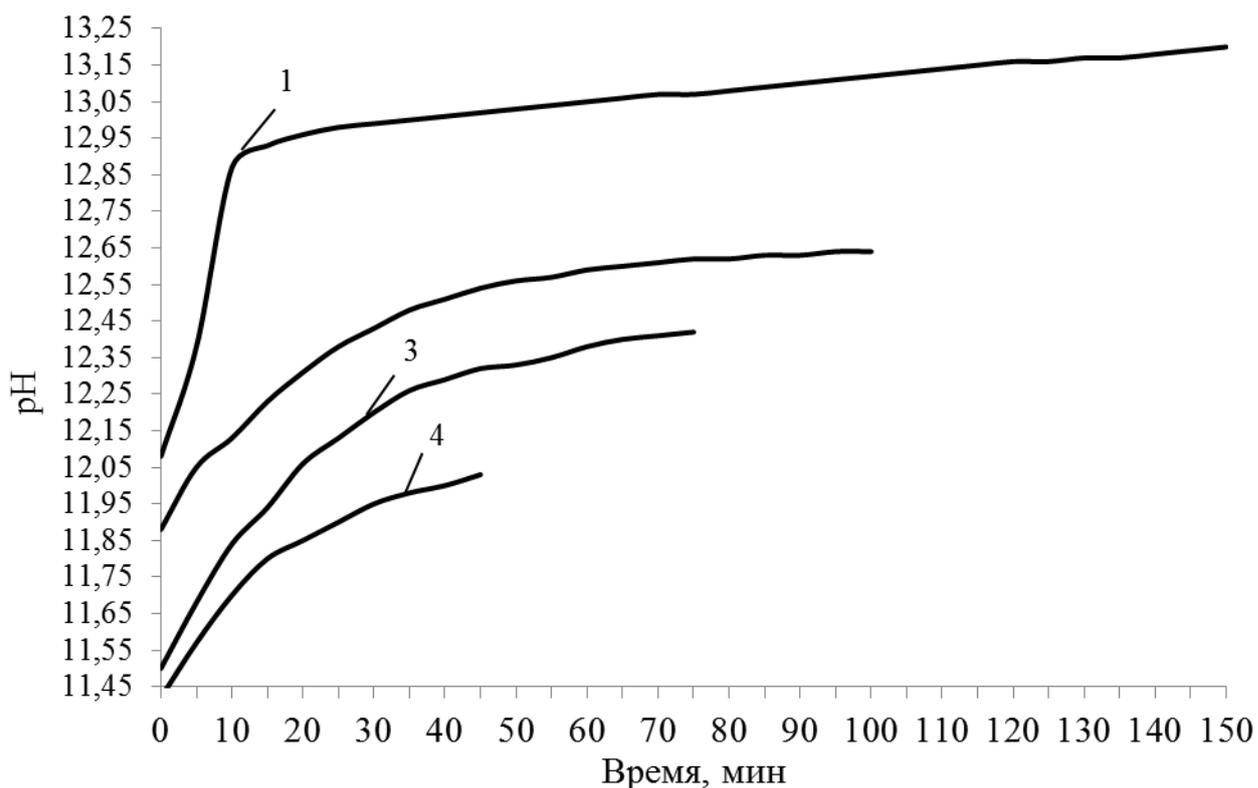


Рисунок 3.11 – Изменение значения показателя pH жидкой фазы цементного теста: 1 – контрольный образец; 2 – содержание добавки 10% от массы цемента; 3 – содержание добавки 20% от массы цемента; 4 – содержание добавки 30% от массы цемента

Как видно из приведенных на рисунке 3.11 данных, для жидкой фазы цементного теста контрольного образца характерно более высокое начальное значение водородного показателя pH, равного 12,08, в то время как у цементного теста с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 10 % и 20 % показатель pH составляет соответственно 11,88 и 11,50. Это объясняется, очевидно, взаимодействием аморфных алюмосиликатов, присутствующих в добавке, с гидроксидом кальция, что приводит к уменьшению

концентрации последнего в жидкой фазе цементного теста, а также химическим составом добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Оценивалась также кинетика тепловыделения при твердении цементного вяжущего в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Результаты исследований представлены на рисунке 3.12.

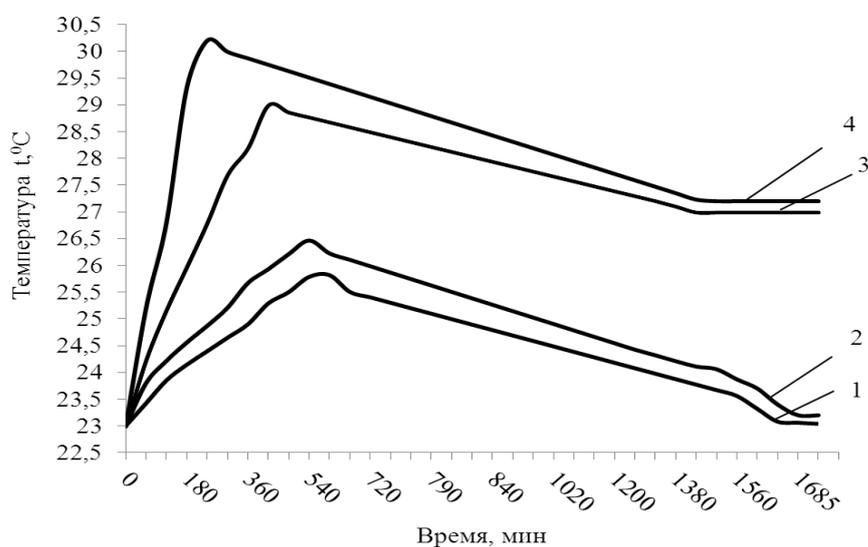


Рисунок 3.12 – Кинетика тепловыделения при твердении образцов: 1- контрольный образец; 2– содержание добавки 10% от массы цемента; 3 – содержание добавки 20% от массы цемента; 4 – содержание добавки 30% от массы цемента

Из представленных данных (рисунок 3.12) видно, что максимальная температура в процессе гидратации цементного теста контрольного состава составляет 26°C за время t , равное $t = 565$ мин. Максимальная температура в процессе гидратации образцов цементного теста, содержащего в рецептуре добавку на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 10 %, 20 % и 30 % от массы цемента, составляет соответственно $26,5^{\circ}\text{C}$ за 530 мин, 29°C за 420 мин и $30,2^{\circ}\text{C}$ за 240 мин.

Для изучения физико-химических процессов твердения цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов был проведен рентгенофазовый и дифференциально термический анализы (РФА и ДТА) образцов цементного камня, твердевшего в воздушно-сухих условиях.

Анализ фазового состава цементного камня, который определялся при помощи рентгеновской станции ARL 9900 X-ray Work Station (Thermo Scientific) на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова, показал, что минералогический состав представлен следующими гидратными образованиями: портландит ($d, (\text{Å}) = 6.57, 4.93, 3.11, 2.67, 2.62, 2.28$), гидросиликаты CSH ($d, (\text{Å}) = 6.46, 5.74, 3.21$), этtringит ($d, (\text{Å}) = 5.61, 4.704$), гидроалюминаты кальция ($d, (\text{Å}) = 5.30, 5.14, 4.44, 4.303, 3.50, 2.80, 2.30$), CSH(II) ($d, (\text{Å}) = 2.88, 2.00, 1.83$), тоберморит ($d, (\text{Å}) = 4.89, 3.09, 3.03, 2.78$), гидроферрит кальция ($d, (\text{Å}) = 4.50, 4.48, 2.70$) и кальцит CaCO_3 ($d, (\text{Å}) = 3.88, 2.75, 2.204, 2.189, 2.088$) (рисунок 3.13).

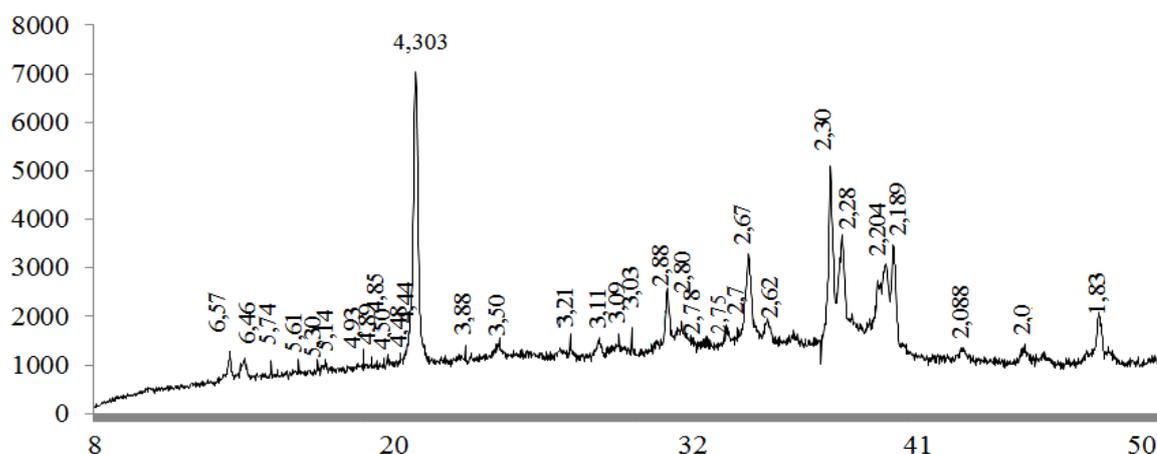


Рисунок 3.13 – Рентгенограмма цементного камня

При малых углах (до 20°) наблюдаются следующие соединения: портландит ($d, (\text{Å}) = 7.32, 6.62, 6.28, 4.92, 4.63$), гидросиликаты CSH ($d, (\text{Å}) = 9.8, 6.46, 5.77$), этtringит ($d, (\text{Å}) = 9.73, 7.00, 5.61, 4.704$), гидроалюминаты кальция ($d, (\text{Å}) = 10.60, 8.20, 6.71, 6.34$), гидроферрит кальция ($d, (\text{Å}) = 7.60, 5.46, 5.18, 4.50, 4.48$) и тоберморит ($d, (\text{Å}) = 11.5, 6.00, 5.86$) (рисунок 3.14) [11,78].

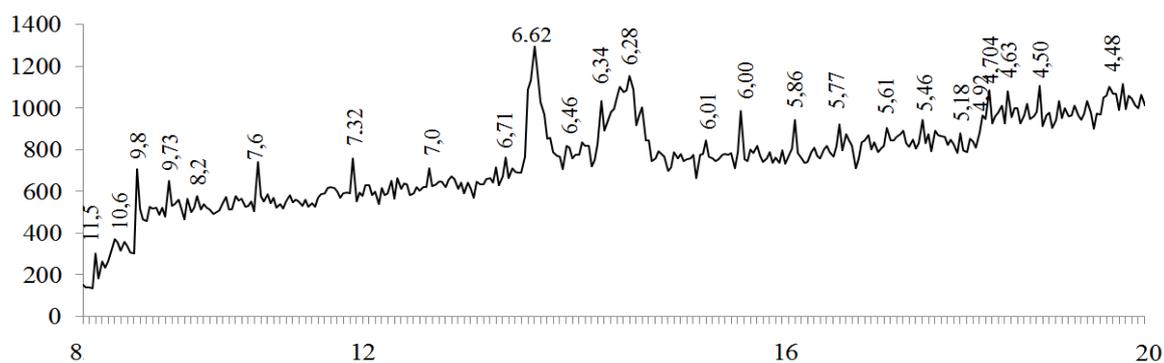


Рисунок 3.14 – Рентгенограмма цементного камня при малых углах

Минералогический состав цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов представлен такими минералами, как портландит ($d, (\text{Å}) = 4.93, 2.67, 2.28$), гидросиликаты CSH ($d, (\text{Å}) = 6.62, 6.46, 6.42$), этtringит ($d, (\text{Å}) = 4.704, 3.88$), гидроалюминаты кальция ($d, (\text{Å}) = 4.48, 4.303, 2.30$), CSH(II) ($d, (\text{Å}) = 2.88, 2.00, 1.83$), белит ($d, (\text{Å}) = 2.67, 2.74, 2.61, 2.189$), C_3A ($d, (\text{Å}) = 2.72, 2.204, 2.04$), цеолит ($d, (\text{Å}) = 3.21, 3.37$), $CaNaHSiO_4$ ($d, (\text{Å}) = 2.84, 2.23$), гидросиликат алюминия ($d, (\text{Å}) = 4.67, 3.45, 3.14$), кальцит $CaCO_3$ ($d, (\text{Å}) = 3.86, 2.42, 2.088, 1.86$), натролит ($d, (\text{Å}) = 6.53, 3.64, 3.18$), $Ca_3Al_2[SiO_4]_{1.53}(OH)_{5.88}$ ($d, (\text{Å}) = 3.043, 2.72, 2.22$), гидросиликаты гидраты натрия ($d, (\text{Å}) = 6.25, 4.099, 3.92$) и гидроферрит ($d, (\text{Å}) = 4.5, 3.19, 1.7$) (рисунок 3.15).

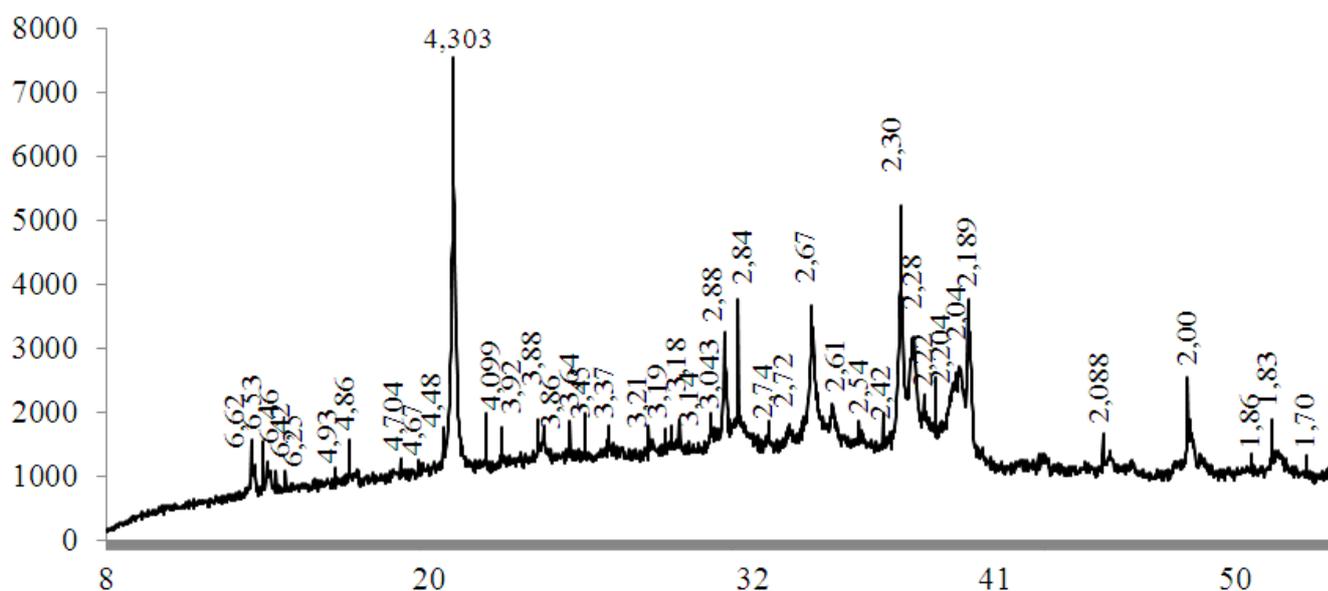


Рисунок 3.15 – Рентгенограмма цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

При малых углах (до 20°) идентифицированы гидросиликаты CSH ($d, (\text{Å}) = 6.62, 6.46, 6.42$), этtringит ($d, (\text{Å}) = 5.61, 5.62$), CSH(II) ($d, (\text{Å}) = 8.67, 6.51$), цеолит ($d, (\text{Å}) = 10.67, 7.54, 6.16, 5.48$), гидроалюминаты кальция ($d, (\text{Å}) = 8.2, 7.8, 5.14, 4.86, 4.50, 4.48$), гидросиликаты гидраты натрия ($d, (\text{Å}) = 6.25$) и натролит ($d, (\text{Å}) = 6.53$) (рисунок 3.16).

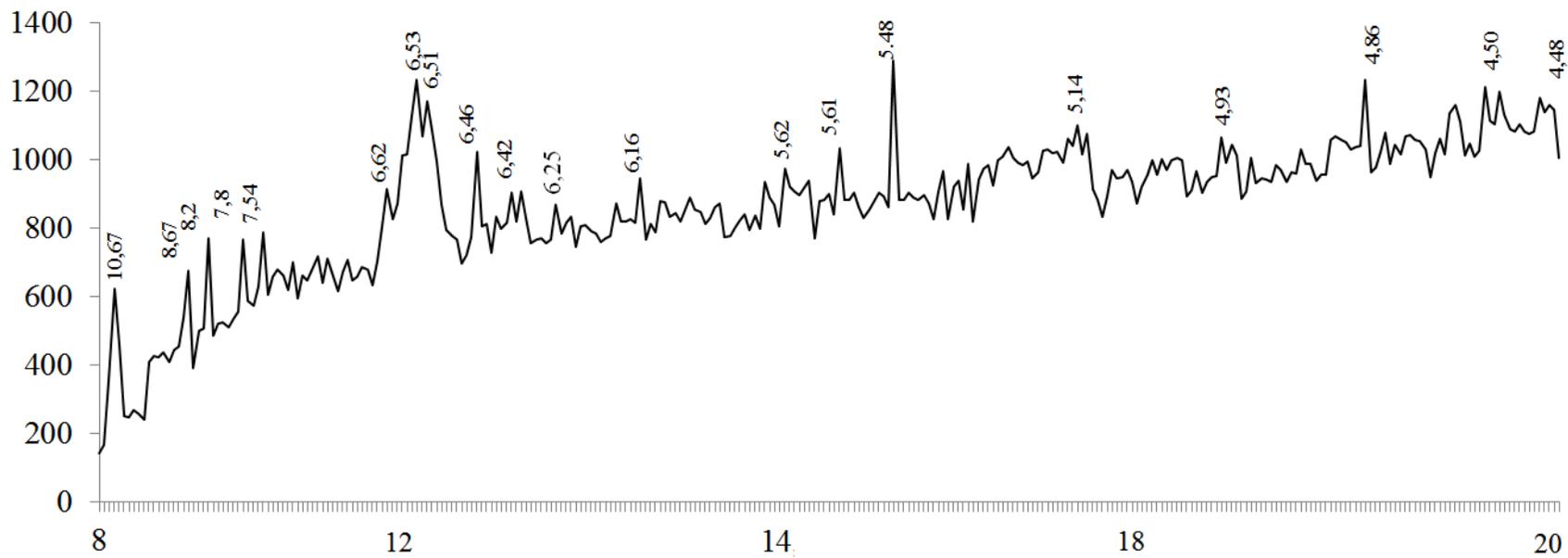


Рисунок 3.16 – Рентгенограмма цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов при малых углах

Рентгенограммы контрольного цементного камня и с добавкой $\text{Na-Al}_2\text{O-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ представлены на рисунке 3.17.

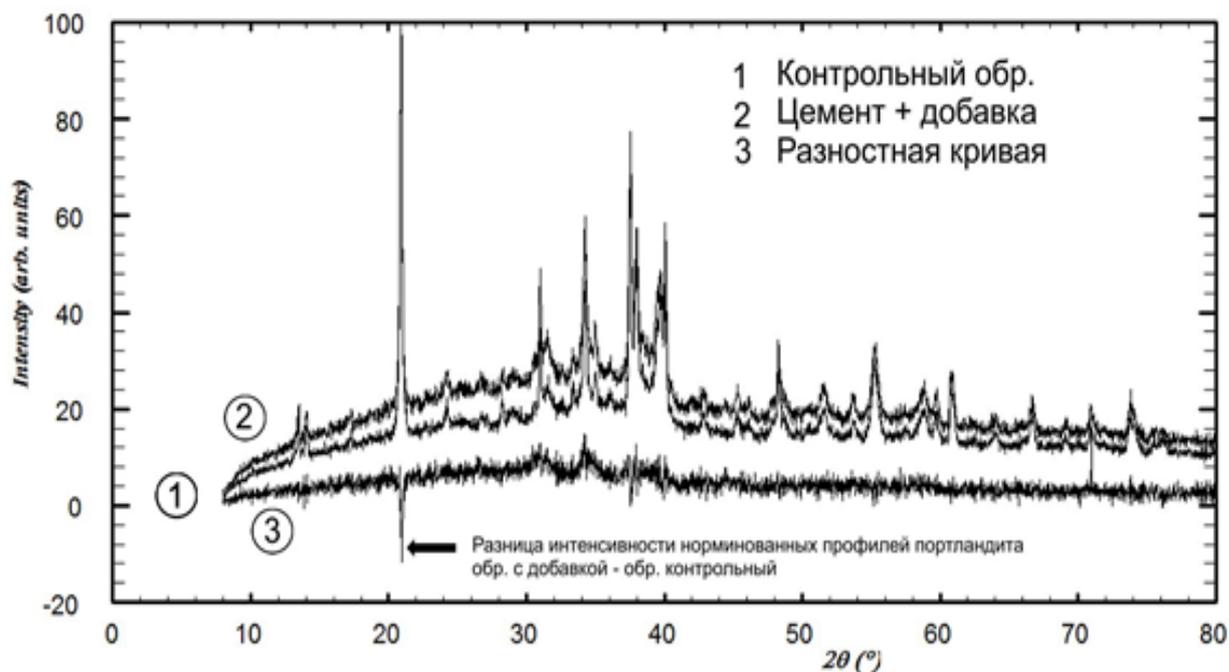


Рисунок 3.17 – Рентгенограммы контрольного цементного камня и с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Различия рентгенограмм (рисунок 3.17, кривая 3) заключаются в более высокой интенсивности фоновой кривой образца с добавкой, что, вероятно обусловлено присутствием в добавке аморфного вещества. Небольшие профили на разностной кривой в области углов дифракции $2\Theta = 30^{\circ} - 40^{\circ}$ обусловлены различной фоновой интенсивностью в «основаниях» дифракционных максимумов.

Для получения более детальной информации о минеральном составе анализируемых образцов, был проведен полнопрофильный количественный РФА. Расчеты проводились с помощью программы DDM v. 1.95e, адаптированной для проведения расчетов с многоатомными структурами. Предварительная рентгенометрическая диагностика кристаллических фаз (качественный РФА) проводилась с использованием базы дифракционных данных PDF-2. Структурные модели для полнопрофильных расчетов взяты из структурной базы неорганических веществ (ICSD). Результаты расчетов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты количественного полнопрофильного РФА (минеральный состав, вес.%)

	ICSD	Контрольный образец	Образец с добавкой
C_3S	4331	26.95±1.15	24.54±1.03
β - C_2S	81096	6.40±1.02	6.67±1.24
α' - C_2S	82997	4.51±1.07	6.82±1.97
C_4AF	9197	15.28±1.47	15.47±1.50
CH	202226	11.19±1.14	9.89±1.15
Gypsum	2057	4.40±0.60	4.77±0.61
Vaterite	15879	24.45±4.82	24.05±3.56
Calcite	18166	3.13±0.39	4.01±0.45

Полнопрофильные диаграммы расчетов представлены на рисунке 3.18.

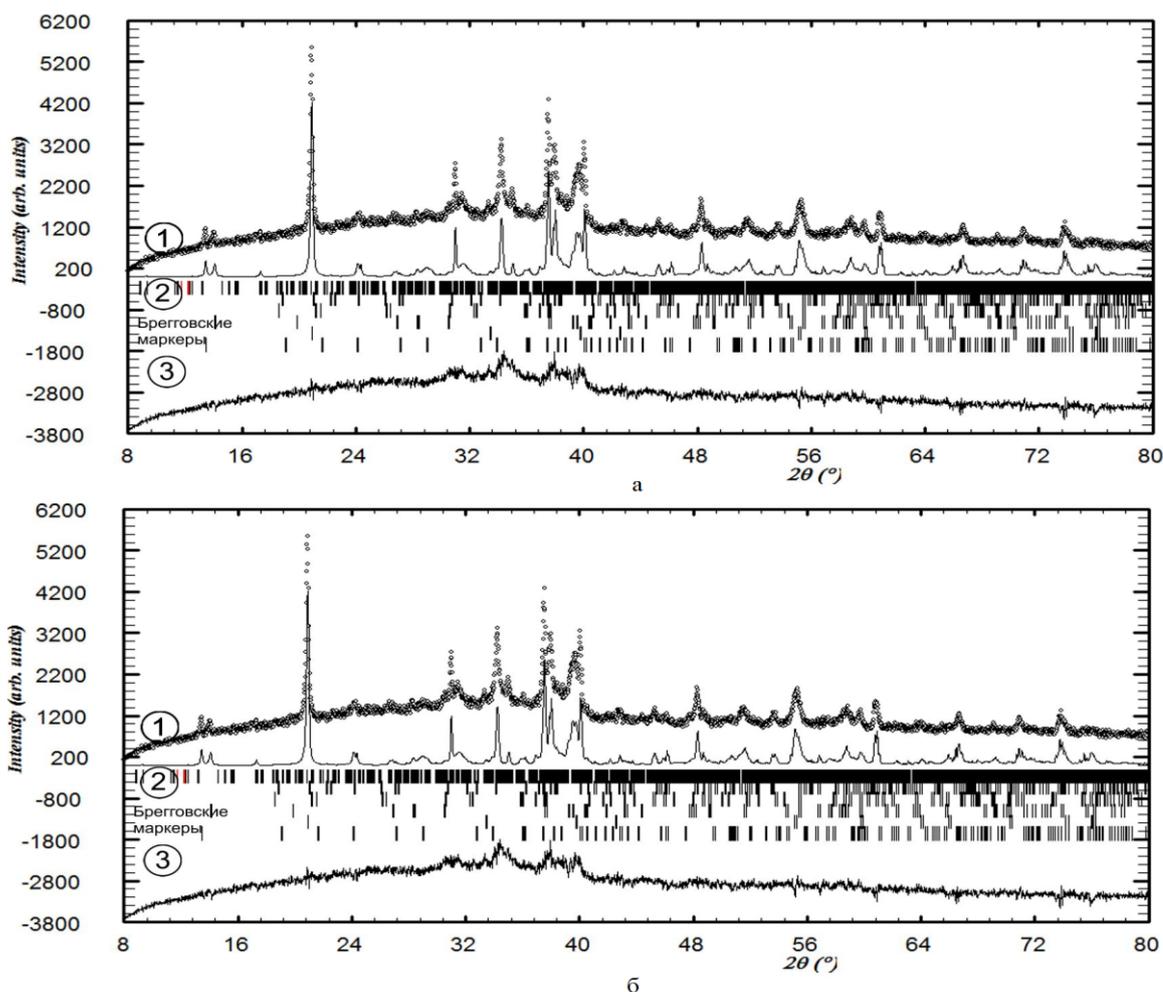


Рисунок 3.18 – Полнопрофильные диаграммы расчета количественного минерального состава: а – контрольный образец, б – образец с добавкой. 1 –

экспериментальная дифракционная кривая, 2 – расчетная кривая, 3 – разностная кривая экспериментального и расчетного дифракционных профилей

Установлено, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов является потенциальным «носителем» фазообразующих компонентов, диссоциирует в щелочной среде затворителя и вносит свой вклад в гидратное фазообразование рентгеноаморфных С–S–Н-образований.

На рисунке 3.19 приведены разнесенные по оси интенсивностей разностные кривые обоих образцов. Сопоставление значимых профилей интенсивностей отражений с базой данных PDF-2 показало соответствие их гидросиликату натрия (возможный слабо закристаллизованный продукт диссоциации алюмосиликата натрия) и гидратным образованиям С–S–Н (II) (по Х.Ф.У. Тейлору).

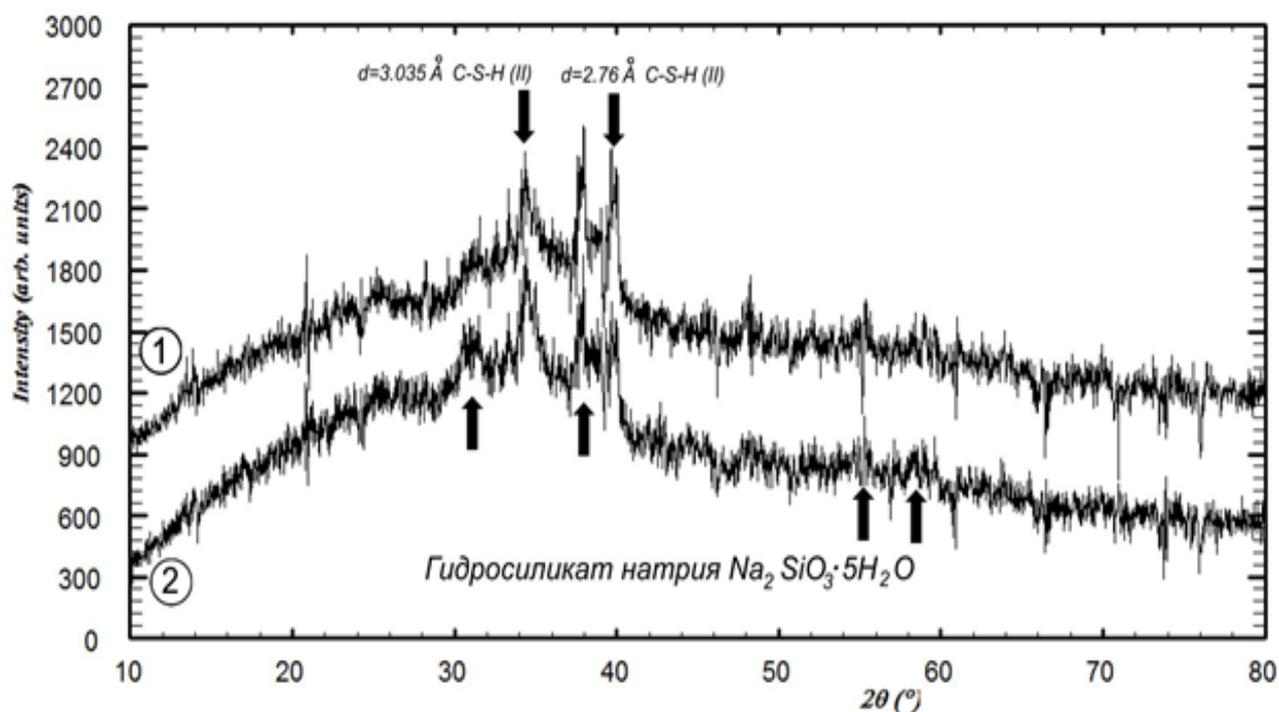


Рисунок 3.19 – Разностные кривые 1 – контрольный образец, 2 – образец с добавкой

Для подтверждения влияния добавки на дополнительное образование в образце с добавкой С–S–Н (II), по сравнению с контрольным образцом, из разностного профиля 2 вычли разностный профиль 1 (обозначения на рисунке 3.19). Результаты этой процедуры представлены на рисунке 3.20.

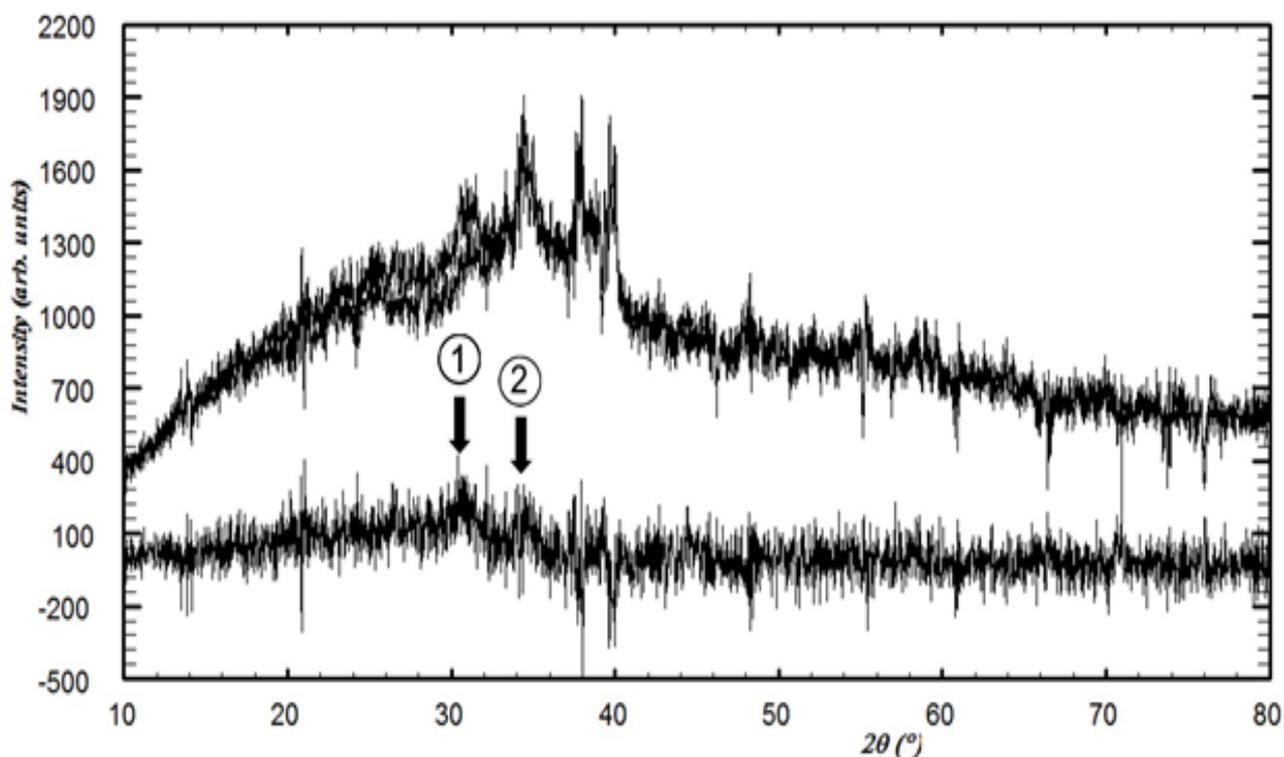


Рисунок 3.20 – Разностная кривая (внизу) как результат вычитания разностных профилей контрольного образца от образца с добавкой: 1 – дифракционный профиль гидросиликата натрия, 2 – дифракционный профиль, соответствующий отражению с $d=3.035\text{\AA}$ $C-S-H (II)$

Выделение над линией фона положительных профилей интенсивности упомянутых фаз, как результат вычитания: разностная кривая образца с добавкой – (минус) разностная кривая контрольного образца, позволяет с высокой степенью уверенности утверждать о более интенсивном фазообразовании $C-S-H (II)$ в образце с алюмосиликатной добавкой.

Учитывая, что концентрации портландита и его карбонатных дериватов (производных) – ватерита и кальцита практически одинаковы в обоих образцах, можно непротиворечиво считать увеличение интенсивности $C-S-H (II)$ в образце с добавкой влиянием последней.

Анализируя полученные данные можно утверждать, что цементный камень с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов имеет больше гидратных образований, что дополнительно подтверждается при дифференциальном термическом анализе (ДТА) (рисунок 3.21 – 3.22).

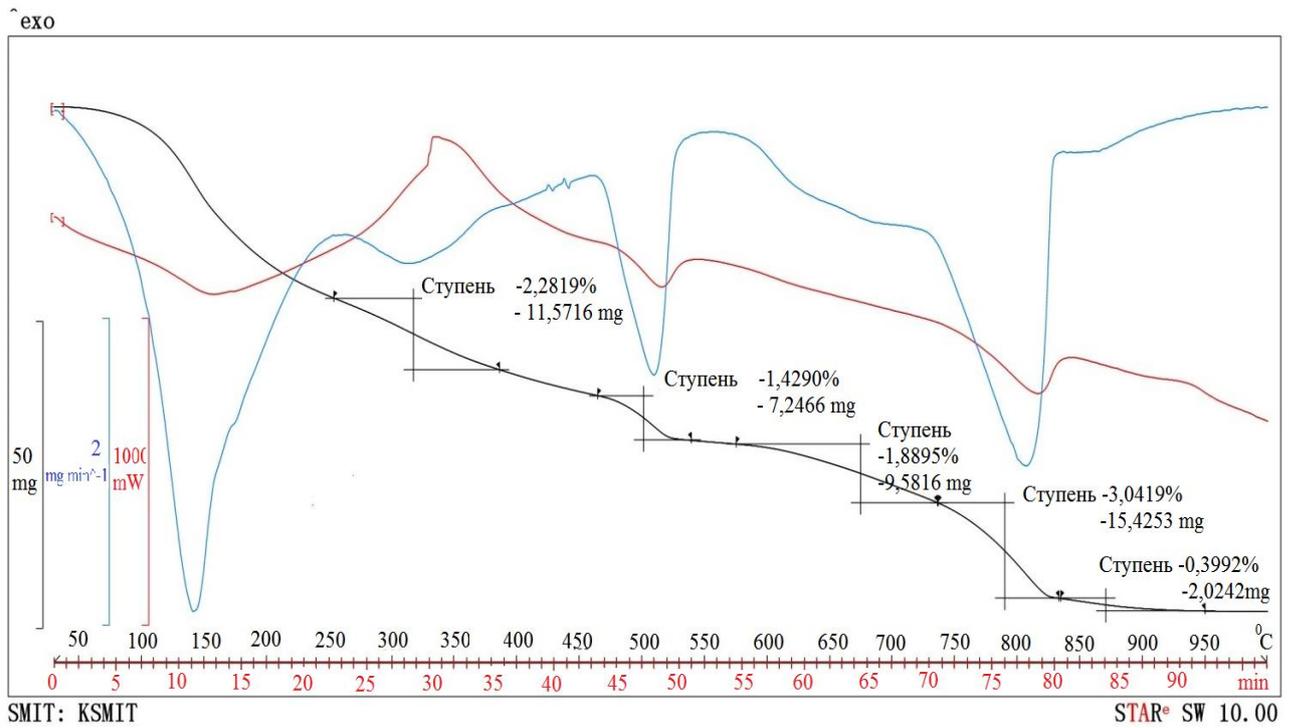


Рисунок 3.21 – Термограмма контрольного образца цементного камня

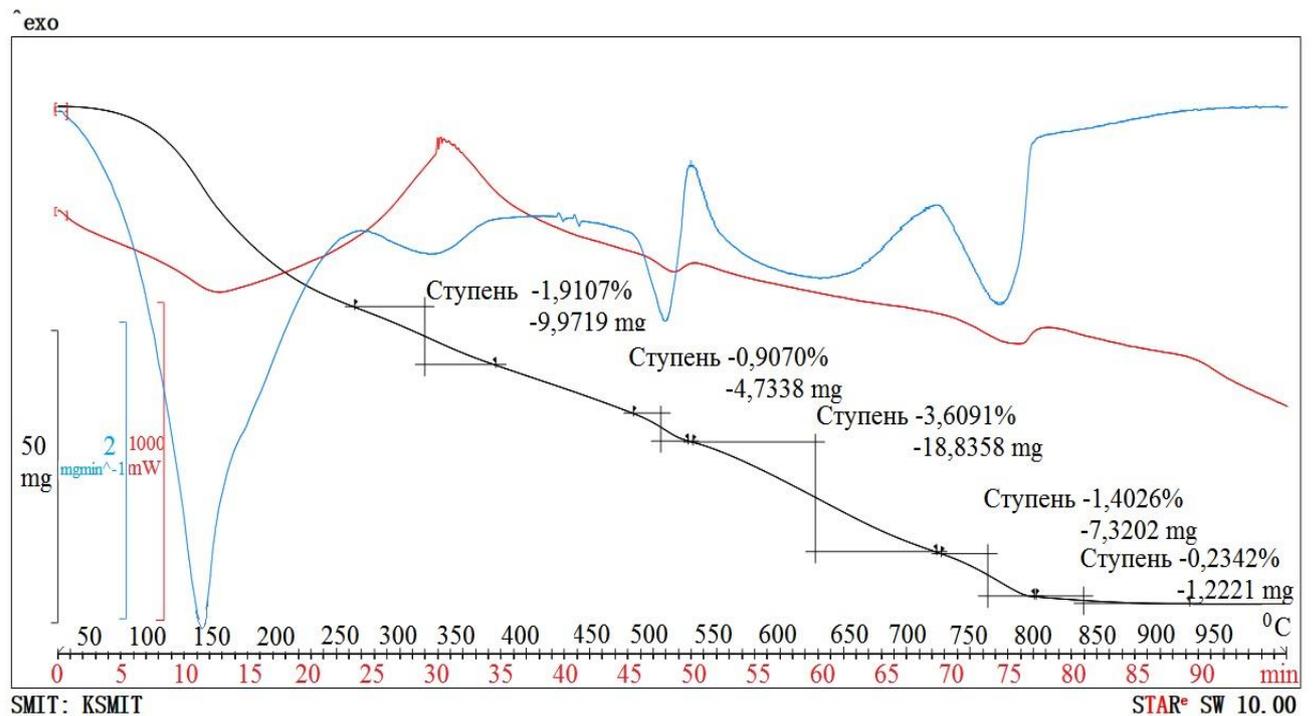


Рисунок 3.22 – Термограмма образца цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

При проведении термического анализа температурный интервал исследования находился в пределах от 30 °C до 1000 °C, скорость подъема температуры в аналитической камере составляла 3 °C/мин, а продолжительность единичного эксперимента составляла порядка 5 ч 10 мин.

Анализ термограмм (рисунок 3.21 – 3.22) показал, что в образце цементного камня, в рецептуре которого присутствует синтетическая добавка, эндоэффект при температуре 150 °С выражен больше, чем у контрольного образца, что свидетельствует о большем присутствии гидросульфоалюмината кальция. Эндоэффект при температуре 320 °С показывает, что в цементном камне происходит образование кубического гидроалюмината C_2AH_6 . Вследствие водоудерживающих свойств добавки на основе аморфных алюмосиликатов твердение цементного камня в ее присутствии происходит в более благоприятных условиях. Уменьшение интенсивности эндоэффекта при температуре 510 °С, свидетельствующем о дегидратации $Ca(OH)_2$, доказывает, что в образце цементного камня с применением синтетической добавки находится меньшее количество портландита. Очевидно, происходит взаимодействие $Ca(OH)_2$ с аморфными алюмосиликатами с образованием $CaNaHSiO_4$, $Na_{1.81}Ca_{0.1}[Al_{1.92}Si_{3.08}O_{10}] \cdot 2.08H_2O$ и $Ca_3Al_2[SiO_4]_{1.53}(OH)_{5.88}$.

У образцов на основе цементного камня (контрольный состав) наблюдается более ярко выраженный эндоэффект при температуре 810 °С вследствие диссоциации $CaCO_3$, по сравнению с цементным камнем с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Экзоэффект при температуре 550 °С ярко выражен у образца цементного камня, в рецептуре которого присутствует синтетическая добавка, что свидетельствует о наличии в составе цементного камня десятиводного кальциевого гидроалюмината CAH_{10} .

Экзоэффект при температуре 740 °С, четко представленный у образца цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов, показывает наличие в составе тоберморита $5Ca \cdot 6SiO_2 \cdot 9H_2O$, переходящего в волластонит.

В работе также оценивалось изменение содержания свободной и химически связанной воды в цементном камне в зависимости от процентного содержания добавки. Результаты исследований приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Содержание свободной и химически связанной воды в цементном камне

Содержание добавки (%), от массы цемента	Содержание свободной воды в исследуемом образце, %	Содержание химически связанной воды в исследуемом образце, %
–	7,3	14,5
10%	6,7	15,2
20%	6,1	17,0
30%	3,3	18,3

Как видно из приведенных в таблице 3.5 данных в цементном камне, содержащим в рецептуре добавку на основе аморфных алюмосиликатов, наблюдается уменьшение количества свободной воды и увеличение химически связанной воды по сравнению с контрольным образцом. Так, у контрольного состава, содержание свободной и химически связанной воды составляет соответственно 7,3 % и 14,5%, а у образца с содержанием в рецептуре 20 % добавки на основе аморфных алюмосиликатов составляет соответственно 6,1 % и 17,0 %.

Для дополнительного подтверждения результатов, представленных в таблице 3.5, нами определялось количество свободной извести в цементном камне и в цементном камне с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения. Выявлено уменьшение количества свободной извести в цементном камне с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Так, содержание свободной извести в контрольном образце составило 13 %, а в образце с содержанием 20 % добавки от массы цемента – 6,5 %. Полученные результаты свидетельствуют о взаимодействии аморфных алюмосиликатов со свободной известью.

Рассмотрена топология структуры цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов [83]. Соотношение цемента и добавки составляет в долях единицы 0,76 : 0,24 или 5 : 1 по массе. Соотношение количества цементных частиц относительно частиц добавки на основе аморфных алюмосиликатов C рассчитывалось при известном счетном количестве частиц каждого компонента. Счетные количества частиц рассчитывали по формулам:

$$n_{\text{ц}} = \frac{6m_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ц}}\pi d_{\text{ц}}^3}, \quad (3.1)$$

$$n_{\text{д}} = \frac{6m_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}\pi d_{\text{д}}^3}. \quad (3.2)$$

где $m_{\text{ц}}$ и $m_{\text{д}}$ – массы цемента и синтетической добавки в смешанном вяжущем в долях единицы;

$n_{\text{ц}}$ и $n_{\text{д}}$ – количество частиц цемента и добавки на основе аморфных алюмосиликатов;

$\rho_{\text{ц}}$ и $\rho_{\text{д}}$ – плотности цемента и синтетической добавки.

Количество частиц n рассчитывали по формуле:

$$n = \frac{V_{\text{мат}}}{V_{\text{шара}}}, \quad (3.3)$$

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

$V_{\text{шара}}$ – объем частицы.

Соотношение количества цементных частиц относительно частиц добавки на основе аморфных алюмосиликатов C вычислялось по формулам:

$$C = \frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{ц}}} = \frac{m_{\text{д}}\rho_{\text{ц}}d_{\text{ц}}^3}{m_{\text{ц}}\rho_{\text{д}}d_{\text{д}}^3}, \quad (3.3)$$

или через удельную поверхность:

$$C = \frac{m_{\text{д}}\rho_{\text{д}}^2 S_{\text{д}}^3}{m_{\text{ц}}\rho_{\text{ц}}^2 d_{\text{ц}}^3}. \quad (3.4)$$

где $d_{ц}^3$ и $d_{д}^3$ – соответственно диаметр частиц цемента и добавки;

$S_{ц}$ и $S_{д}$ – соответственно удельная поверхность цемента и синтетической добавки [67].

Результаты расчета приведены в таблице 3.6. Установлено, что при удельной поверхности цемента $S_{уд.} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$ и удельной поверхности добавки на основе аморфных алюмосиликатов $S_{уд.} = 1029,8 \text{ м}^2/\text{кг}$ соотношение частиц составляет $C = 4,5$, а при удельной поверхности добавки $S_{уд.} = 311,1 \text{ м}^2/\text{кг}$ – $C = 0,1$.

Таблица 3.6 – Соотношение частиц цемента и добавки на основе аморфных алюмосиликатов в зависимости от их дисперсности

Размер удельной поверхности, $\text{м}^2/\text{кг}$		Средний диаметр частиц, мкм		Количество частиц синтетической добавки на одну частицу цемента
Цемент	Синтетическая добавка	Цемент	Синтетическая добавка	
340	1029,8	6	2,8	4,5
340	688,6	6	4,1	1,3
340	311,1	6	10,2	0,1

Для соотношения $C = 1,3 - 4,5$ выполнен расчет расстояния от поверхности частиц цемента до частицы добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Выбиралась элементарная кубическая ячейка, имеющая размер грани куба A , а объем куба – A^3 . Принимали, что в этой ячейке размещается одна шаровая частица. Размещали эту частицу в ячейке в виде шаровых секторов по $1/8$ части шара в каждом углу куба. В свободном объеме ячейки, не заполненной шаровыми секторами цементного вещества, размещали все частицы добавки на основе аморфных алюмосиликатов (рисунок 3.23).

Суммарный объем частиц добавки на основе аморфных алюмосиликатов рассчитывался по формуле:

$$V_{д} = \frac{\pi d_{д}^3}{6} n_{д}. \quad (3.5)$$

Но, так как, $n_d = C$, то можно записать:

$$V_d = \frac{\pi d_d^3}{6} C. \quad (3.6)$$

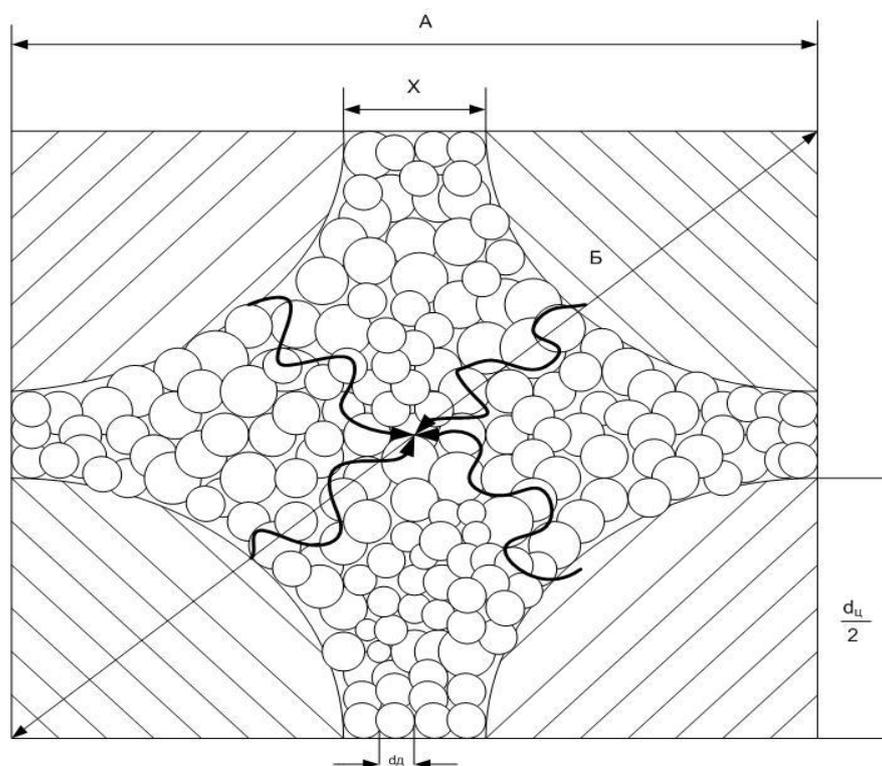


Рисунок 3.23 – Идеализированная топология структуры цементного вяжущего с применением в рецептуре синтетической добавки и пути переноса продуктов гидратации цемента при монодисперсных частицах добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Тогда полный объем элементарной ячейки будет складываться из одной цементной частицы и суммарного объема частиц синтетической добавки, уложенных с той или иной степенью упаковки K_{yn} . В образовавшейся системе цементного композиционного вяжущего (ЦКВ) образуется более плотная гексагональная упаковка, в связи с этим коэффициент упаковки равен $K_{yn} = 0,74$. С учетом K_{yn} можно записать для полного объема $V_я$:

$$V_я = A^3 = \frac{\pi d_u^3}{6} + \frac{\pi d_u^3}{6} CK_{yn}, \quad (3.7)$$

откуда

$$A = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} (d_{ц}^3 + d_{ц}^3 C K_{yn})}. \quad (3.8)$$

Для принятых характеристик синтетической добавки и цемента, вычисленного значения $C = 4,5; 1,3$ и рассчитанного $K_{yn} = 0,74$ получим, соответственно, $A = 5,3 \cdot 10^{-6}$ м, $A = 6,1 \cdot 10^{-6}$ м. Расстояние X между поверхностями цементных частиц по ребру элементарной ячейки будет рассчитано по формуле:

$$X = A - d_{ц}. \quad (3.9)$$

Тогда рассчитанное значение X для разных значений A будет равно соответственно $X_1 = -0,7 \cdot 10^{-6}$ м и $X_2 = 0,1 \cdot 10^{-6}$ м.

Поскольку длина диагонали B грани кубической ячейки равна $\sqrt{2}A$, а диагональ куба $L = \sqrt{3}A$, то расстояние между поверхностями частиц Y по диагонали грани будет:

$$Y = \sqrt{2}A - d. \quad (3.10)$$

Рассчитанные значения Y для разных значений A равны $Y_1 = 0,7 \cdot 10^{-6}$ м и $Y_2 = 1,7 \cdot 10^{-6}$ м.

Расстояние между поверхностями частиц Z по диагонали куба составляет:

$$Z = \sqrt{3}A - d. \quad (3.11)$$

Подсчитанное значение Z для значений A равны $Z_1 = 1,6 \cdot 10^{-6}$ м и $Z_2 = 2,8 \cdot 10^{-6}$ м соответственно.

Из топологической схемы (рисунок 3.23) следует, что для связывания гидратированных частиц цемента с частицами добавки на основе аморфных алюмосиликатов при воздушно – сухих условиях твердения необходима миграция продуктов гидратации цементного вяжущего в контактные зоны частиц добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Наиболее удаленными от поверхности зонами являются центр куба и центр его грани.

Переход химических продуктов должен осуществляться на расстояние от поверхности, равное $t/2 = 0,8 \cdot 10^{-6}$ м и $t/2 = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м. В такой системе перколяционного кластера из связанных пленочной водой частиц синтетической

добавки протекание осуществляется по наиболее проницаемым тетраэдрическим пустотам к контактным участкам. Прочность композиции, в конечном итоге, определяется прочностью этих контактов.

В таких сложных условиях наиболее вероятным механизмом формирования прочности во времени, очевидно, является диффузионный перенос ионов вяжущего за счет осмоса и последующая реакция образования новой фазы на поверхности частиц добавки.

Таким образом, даже упрощенное рассмотрение топологической структуры композиционных вяжущих позволяет более правильно объяснить механизм формирования прочности цементного композита с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Введение в рецептуру цементного композита добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к изменению его пористости (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Изменение значения пористости цементных образцов в зависимости от содержания добавки

Составы	Пористость, %			
	общая	капиллярная	гелевая	контракционная
контрольный	41,2 ± 0,035	18,7 ± 0,084	15,5 ± 0,044	7,0 ± 0,098
10% добавки	40,3 ± 0,054	16,7 ± 0,055	16,3 ± 0,065	7,3 ± 0,078
20% добавки	38,3 ± 0,049	12,0 ± 0,068	18,1 ± 0,053	8,2 ± 0,086
30% добавки	37,3 ± 0,062	9,0 ± 0,078	19,5 ± 0,048	8,8 ± 0,059

Как видно из данных, приведенных в таблице 3.7, в цементном камне с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов по сравнению с контрольным образцом наблюдается уменьшение общей и капиллярной пористости и увеличение гелевой и контракционной пористости, что приводит к повышению стойкости цементного композита [17, 139, 147, 154]. Так, у контрольного образца общая и капиллярная пористости меньше пористости образца с применением в рецептуре 20 % добавки от массы цемента соответственно на 6,8 % и 35,8 %, а контракционная и гелевая пористости выше соответственно на 17,1 % и 16,8 %.

На рисунке 3.24 приведена фотография структуры цементного камня, полученная при помощи растрового сканирующего электронного микроскопа типа Electron Microscope JSM – 6390 LV фирмы Schanning. Режим фотосъемки проведен в условиях низкого вакуума – 50 МПа при увеличении в 10 000 раз.

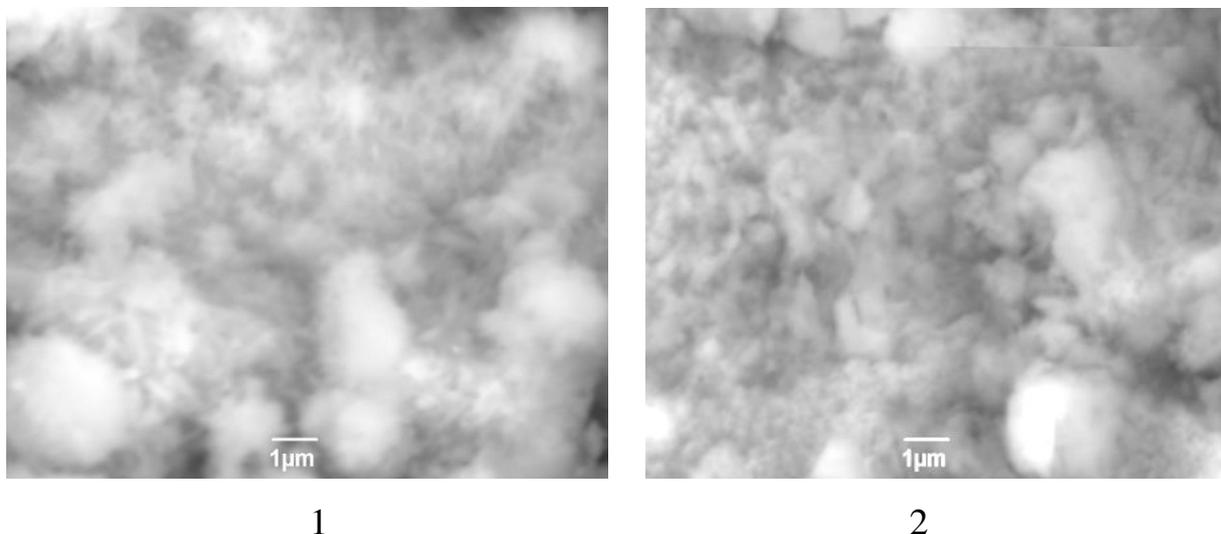


Рисунок 3.24 – Микроструктура образцов: 1 – контрольный образец, 2 – образец с добавкой 10% от массы цемента

Результаты анализа микроструктуры образца с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов (рисунок 3.24, изображение 2) показали, что структура характеризуется меньшими размерами частиц новообразований. Наблюдается связь волокон гидросиликатов с сотовидной решеткой аморфных алюмосиликатов. Микроструктура контрольного образца (рисунок 3.24, изображение 1), в свою очередь, характеризуется большим размером частиц, которые находятся на значительном расстоянии друг от друга.

Выводы по главе 3

1. Установлены физико-химические показатели добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Выявлено, что в составе синтетической добавки преобладает высокое содержание химических элементов O, Si, Na, S и Al – с содержанием соответственно 48,71 %, 19,59 %, 16,42 %, 9,67 % и 4,7 %.

2. Выявлено, что введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуру цементного теста приводит к изменениям его реологических свойств:

ускорению сроков схватывания и увеличению значения нормальной густоты.

3. Установлено, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов обладает влагоудерживающим и структурообразующим эффектом. Выявлено, что влагосодержание цементного камня (без добавки) на 20-е сутки воздушно-сухого твердения меньше, чем у цементного камня с содержанием добавки в количестве 1% – 30 % от массы цемента в 3,24 – 5,25 раза в зависимости от содержания добавки. Прочность при сжатии цементного камня с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения увеличивается в 1,42 – 1,54 раза в зависимости от содержания добавки.

4. Методом РФА и ДТА изучен фазовый состав цементного камня. Установлено, что в цементном композите с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов по сравнению с контрольным образцом (без добавки) образуются следующие минералы: цеолит, гидросиликат кальция-натрия (CaNaHSiO_4), натролит, гидросиликат нитрат натрия, гидроферрит и $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_{1,53}(\text{OH})_{5,88}$.

5. Установлено, что введение в рецептуру цементного камня добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 20 % от массы вяжущего приводит к уменьшению количества свободной извести в цементном камне в 2 раза, увеличению количества химически связанной воды в 1,2 раза по сравнению с контрольным составом (без добавки).

6. Установлено, что общая и капиллярная пористость образцов без применения синтетической добавки в 1,1 и 1,6 раз выше пористости образца с добавкой в количестве 20 % от массы цемента, а контракционная и гелевая пористости ниже в 1,2 раза.

Глава 4. Разработка рецептуры сухой клеевой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

4.1 Оптимизация гранулометрического состава минерального заполнителя для сухих строительных смесей

В составе сухой строительной смеси объем заполнителя может достигать 80% – 85 % от общего объема материала. В связи с этим необходимо исследовать гранулометрические характеристики заполнителя, имеющие большое практическое значение. Оптимизация качества мелкого заполнителя, применяемого в рецептуре ССС, базируется на определении основных факторов: гранулометрического состава и формы зерен.

На территории Приволжского федерального округа, в том числе и на территории Пензенской области, имеются крупные месторождения кварцевых и красящих песков, которые могут служить сырьем при производстве заполнителей для ССС. При подборе заполнителя для рецептуры ССС проведено исследование кварцевых песков Чаадаевского и Ухтинского месторождений.

В рецептуре растворных смесей должен применяться песок с наименьшей межзерновой пустотностью [88, 151]. В связи с этим, при разработке рецептуры ССС, преимущество отдавалось пескам со смешанным зерновым составом. В таблице 4.1 представлены гранулометрические составы (процентные содержания фракций) песков Чаадаевского и Ухтинского месторождений.

Изучение гранулометрических характеристик песка несет практическую значимость, т.к. пустотность заполнителя в рецептуре ССС определяет расход вяжущего [63, 157, 161]. В таблице 4.2 приведены значения межзерновой пустотности и насыпной плотности исследуемых песков.

Основной задачей оптимизации гранулометрического состава заполнителя является подбор оптимального соотношения между тремя основными фракциями песка (0,16 мм – 0,315 мм; 0,315 мм – 0,63 мм; 0,63 мм – 1,25 мм). При выборе соотношения между фракциями песка оценивалось значение насыпной плотности

[64, 152].

Таблица 4.1 – Процентные содержания фракций песков Пензенской области

Фракция песка, мм	Месторождение песка, %	
	Чаадаевское	Ухтинское
Больше 2,5	-	1,0
2,5-1,25	0,3	2,1
1,25-0,63	12,1	9,8
0,63-0,315	58,1	39,5
0,315-0,16	26,6	44,0
Меньше 0,16	2,9	3,8

Таблица 4.2 – Плотность и межзерновая пустотность исследуемых песков

Наименование месторождения песка	Фракция, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Межзерновая пустотность, %
Чаадаевское	1,25-0,63	1599,3	39,6
	0,63-0,315	1529,9	42,3
	0,315-0,16	1418,2	46,5
Ухтинское	1,25-0,63	1530,3	42,3
	0,63-0,315	1522,3	42,6
	0,315-0,16	1460,1	44,9

Исследовалось изменение насыпной плотности песка, содержащего две фракции. На рисунках 4.1 – 4.3 представлены зависимости изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций.

Для песка Чаадаевского месторождения (рисунок 4.1, кривая 1) оптимальным является соотношение фракций 1,25 мм – 0,63 мм : 0,63 мм – 0,315мм соответственно 80 % : 20 % с насыпной плотностью 1623,8 кг/м³, а для Ухтинского песка (рисунок 4.1, кривая 2) – соотношение 50 % : 50 % с насыпной плотностью 1573,0 кг/м³.

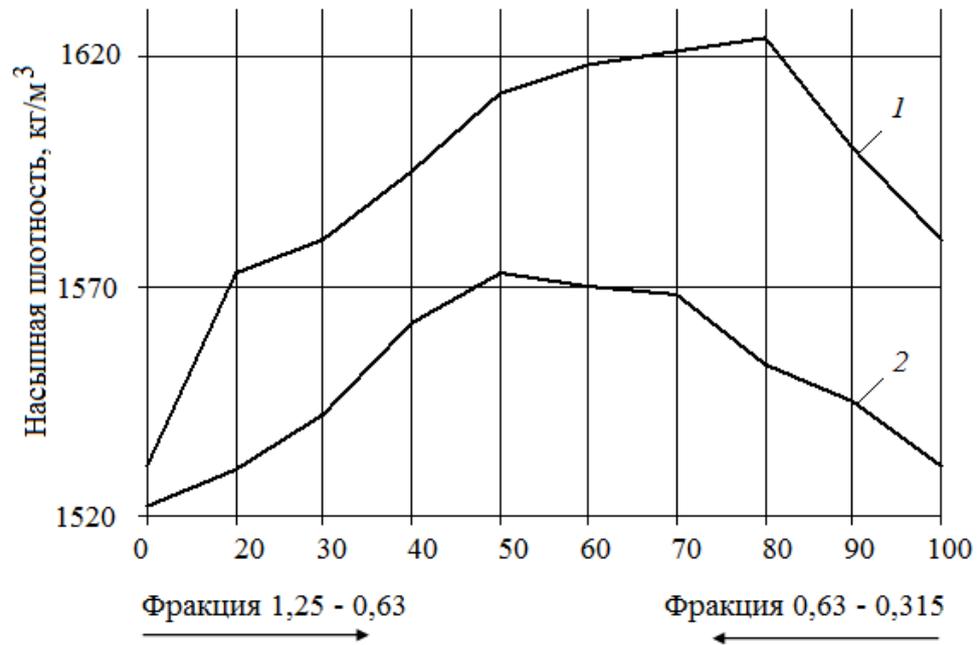


Рисунок 4.1 – Зависимость изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций 1,25 мм – 0,63 мм : 0,63 мм – 0,315 мм: 1 – Чаадаевское месторождение; 2 – Ухтинское месторождение

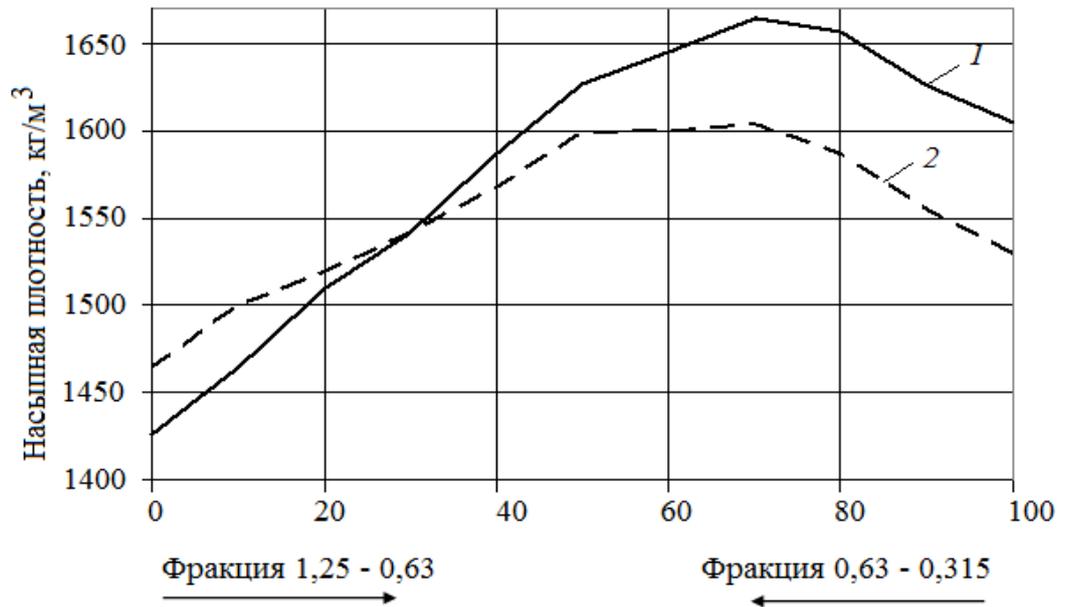


Рисунок 4.2 – Зависимость изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций 1,25 мм – 0,63 мм : 0,315 мм – 0,16 мм: 1 – Чаадаевское месторождение; 2 – Ухтинское месторождение

Для песков Чаадаевского (рисунок 4.2, кривая 1) и Ухтинского (рисунок 4.2, кривая 2) месторождений оптимальным соотношением фракций является – 1,25мм – 0,63 мм : 0,315 мм – 0,16 мм соответственно равные 70 % : 30 % и с насыпной

плотностью соответственно $1664,5 \text{ кг/м}^3$ и $1603,3 \text{ кг/м}^3$.

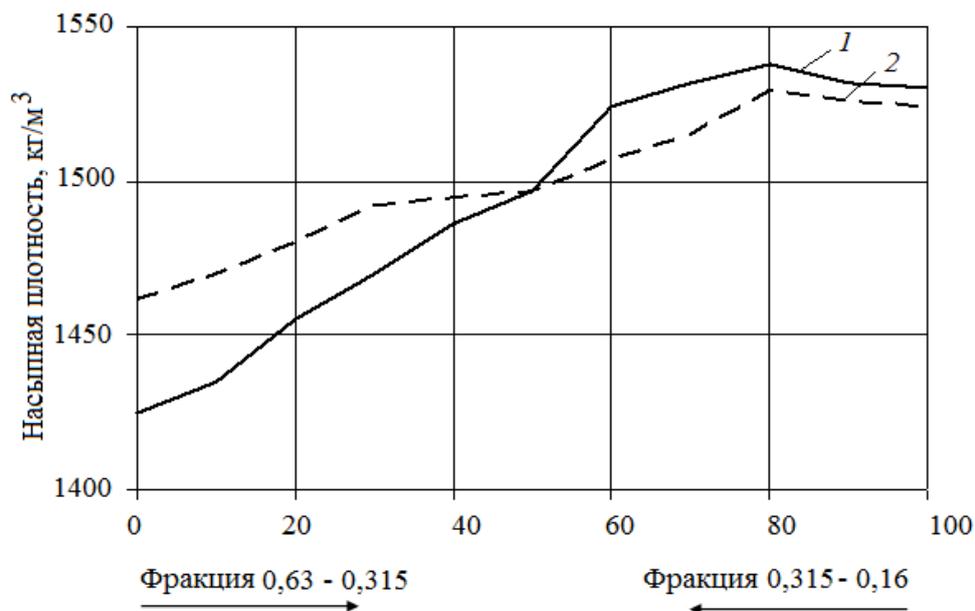


Рисунок 4.3 – Зависимость изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций $0,63 \text{ мм} - 0,315 \text{ мм} : 0,315 \text{ мм} - 0,16 \text{ мм}$: 1 – Чадаевское месторождение; 2 – Ухтинское месторождение

Анализ рисунка 4.3 показал, что оптимальное соотношение фракций $0,63 \text{ мм} - 0,315 \text{ мм} : 0,315 \text{ мм} - 0,16 \text{ мм}$ для песков Чадаевского (рисунок 4.3, кривая 1) и Ухтинского (рисунок 4.3, кривая 2) месторождений составляет $80 \% : 20 \%$ и с насыпной плотностью, равной соответственно $1538,2 \text{ кг/м}^3$ и $1528,6 \text{ кг/м}^3$.

Установлено, что при соотношении фракций $1,25 \text{ мм} - 0,63 \text{ мм}$ и $0,315 \text{ мм} - 0,16 \text{ мм}$ соответственно $70 \% : 30 \%$ и с насыпной плотностью 1603 кг/м^3 песков Ухтинского месторождения достигается наибольшая плотность упаковки, а для песков Чадаевского месторождения наибольшая плотность упаковки достигается при соотношении фракций $1,25 \text{ мм} - 0,63 \text{ мм} : 0,315 \text{ мм} - 0,14 \text{ мм}$ соответственно $70 \% : 30 \%$ с насыпной плотностью $1664,5 \text{ кг/м}^3$. Ранее установлено, что содержание фракции $1,25 \text{ мм} - 0,63 \text{ мм}$ для песков Ухтинского и Чадаевского месторождений составляет соответственно $9,8 \%$ и $12,1 \%$ от общего объема (таблица 4.1). В связи с этим, при последующей разработке состава клеевой сухой строительной смеси было принято решение применять песок Ухтинского месторождения с соотношением фракций $0,63 \text{ мм} - 0,315 \text{ мм} : 0,315 \text{ мм} - 0,16 \text{ мм}$ соответственно $80 \% : 20 \%$, при этом насыпная плотность песка равна 1527 кг/м^3 .

При выборе заполнителя одним из важных факторов также является форма его зерен, т.к. характер формы зерен имеет определяющее значение для реологии дисперсных систем [13, 46, 113].

Оценить форму частиц песка можно с помощью коэффициента угловатости K_{yz} (фактора Хейвуда) [41, 158, 163].

Фактор Хейвуда (Heywood faktor) – это параметр, определяемый отношением измеренной удельной поверхности материала к его удельной поверхности, рассчитываемой исходя из представлений об эквивалентном диаметре частиц в виде правильных сфер. Применение представленной методики позволит оценить коэффициент угловатости формы зерен песка [41].

Коэффициент угловатости K_{yz} рассчитывался по формуле:

$$K_{yz} = \frac{S_{факт}}{S_m}, \quad (4.1)$$

где $S_{факт}$ – фактическая удельная поверхность, $м^2/кг$;

S_m – теоретическая удельная поверхность, $м^2/кг$.

Теоретическая удельная поверхность песка рассчитывалась по формуле:

$$S_m = \frac{6}{\rho} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{D_i}, \quad (4.2)$$

где ρ – теоретическая плотность зерен кварцевого песка, $кг/м^3$;

X_i – доля песка на (i) сите от общей массы песка, взятой для определения гранулометрического состава.

D_i – средний диаметр зерен одной фракции, м, вычисленный по формуле:

$$D_i = \frac{D_n + D_{n+1}}{2}, \quad (4.3)$$

где D_n – размер ячейки сита, через которое прошла фракция песка, м;

D_{n+1} – размер ячейки сита, на котором фракция песка осталась, м.

Применяя метод БЭТ, определяли фактическую удельную поверхность песка [64]. Результаты проведенных испытаний и расчетов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Значения коэффициента угловатости для различных песков

Наименование материала	$S_{факт}$ по методу БЭТ, м ² /кг	S_m , м ² /кг	K_{yz}
Ухтинский песок без просева	800,00	776,35	1,03
Ухтинский песок фракций 0,63 мм – 0,315 мм : 0,315 мм – 0,16 мм в соотношении соответственно 80% : 20%	700,00	582,39	1,20

Установлено, что коэффициент угловатости зерен песка Ухтинского месторождения при соотношении фракций 0,63 мм – 0,315 мм : 0,315 мм – 0,16мм в соотношении соответственно 80% : 20% составляет 1,20, что свидетельствует о формировании более развитой структуры по сравнению с песком Ухтинского месторождения без просева. Коэффициент угловатости зерен составляет $K_{yz} = 1,03$. Таким образом, применение песка при соотношении фракций 0,63 мм – 0,315мм : 0,315 мм – 0,16 мм в соотношении соответственно 80 % : 20 % обеспечивает более прочности сцепление с цементной матрицей.

4.2 Кинетика твердения цементного композита в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Дополнительно проводилось сравнение кинетики твердения цементно-песчаных образцов с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов (10% – 30% от массы цемента) и с применением импортной модифицирующей добавкой – метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1% от массы цемента). Образцы изготавливались на основе песка Ухтинского месторождения и с одинаковым водоцементным соотношением, равным В/Ц = 0,47. Результаты проведенных испытаний представлены на рисунках 4.4 и 4.5.

На рисунках 4.4 и 4.5 приведены кривые кинетики набора прочности цементных композитов по результатам аппроксимации опытных данных по определению прочности при сжатии исследуемых образцов. Аппроксимация экспериментальных данных проводилась при помощи программы Curve Expert 1.3. Точками на рисунках обозначены экспериментальные значения предела прочности при сжатии цементных композитов.

Исходя из полученных результатов аппроксимационных и экспериментальных исследований (рисунок 4.4, рисунок 4.5), следует, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора добавки на основе аморфных алюмосиликатов способствует более интенсивному структурообразованию цементного композита, чем применение в рецептуре добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094.

Кривые, приведенные на рисунок 4.4 и рисунок 4.5 описываются следующим экспоненциальным уравнением:

$$y = a \cdot (1 - e^{-bx}), \quad (4.4)$$

где a – константа, учитывающая максимально-возможную прочность при сжатии;

b – константа скорости структурообразования;

x – время твердения.

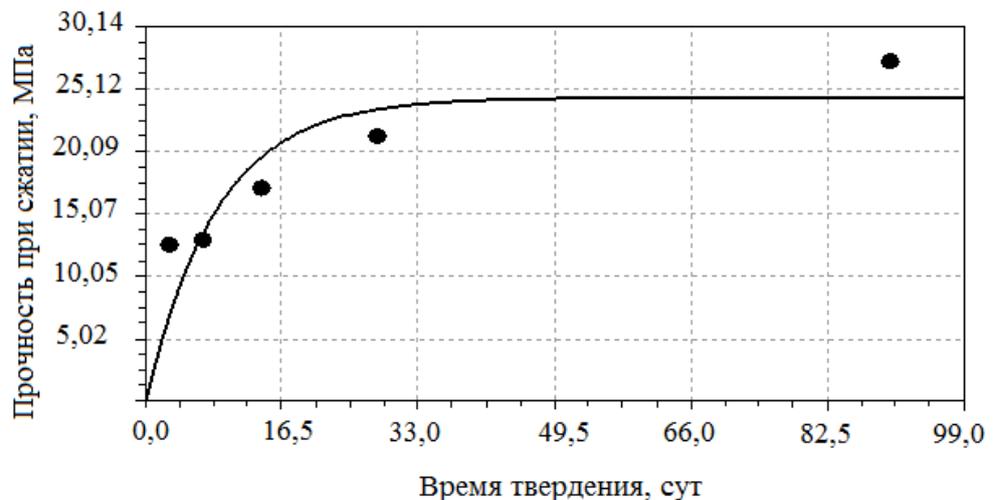


Рисунок 4.4 – Кинетика набора прочности цементно-песчаного состава с применением в рецептуре добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1% от массы цемента)

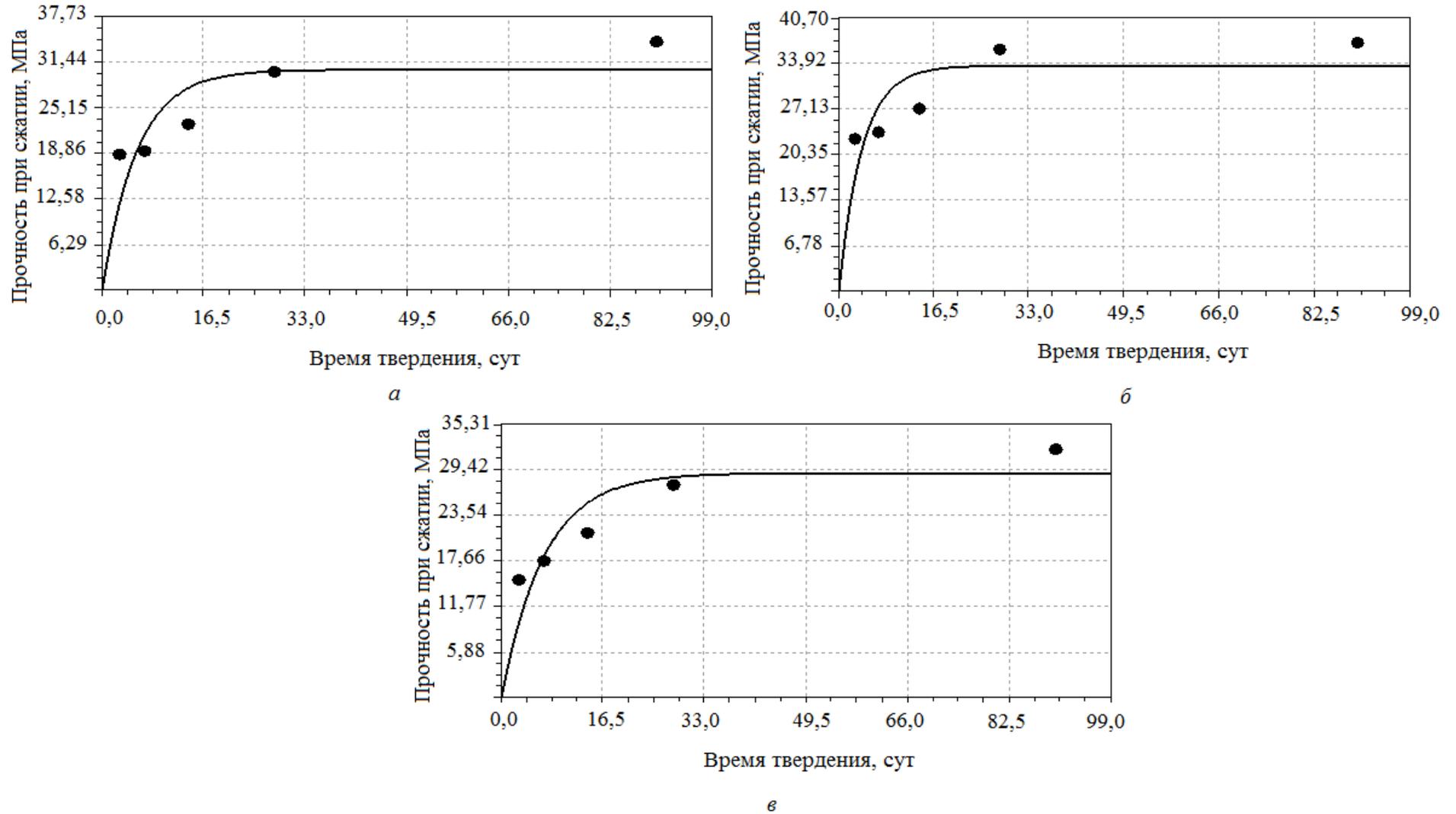


Рисунок 4.5 – Кинетика набора прочности цементно-песчаного состава с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов: а – 10 % от массы цемента; б – 20 % от массы цемента; в – 30 % от массы цемента

В таблице 4.4 приведены значения констант a и b для приведенного уравнения, описывающего кинетику набора прочности цементного композита.

Таблица 4.4 – Значение констант уравнения кинетики набора прочности

Модифицирующая добавка	Количество, %	a	b
Добавка на основе аморфных алюмосиликатов	10	30,386	0,178
	20	34,674	0,221
	30	28,963	0,145
Метилцеллюлоза марки FMC 2094	1	24,434	0,117

Анализ проведенных расчетов свидетельствует, что при введении в рецептуру цементного композита синтетической добавки в объеме 20 % от массы цемента значение константы скорости структурообразования выше по сравнению с цементным композитом с применением добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1 % от массы цемента) и с применением синтетической добавкой (10 % и 30% от массы цемента). Так, константа скорости структурообразования b для цементных композитов с применением в рецептуре синтетической добавки (20 % от массы цемента) составила $b = 0,221$ МПа/сут, а для составов с применением в рецептуре добавки метилцеллюлоза FMC 2094 (1 % от массы цемента) – 0,117МПа/сут.

Проведена оценка кинетики твердения цементно-песчаного раствора в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов и диспергируемого порошка Neolith P 4400. Образцы изготавливались с применением песка Ухтинского месторождения с цементно-песчаным соотношением Ц:П, составляющим Ц:П = 1:2 и водоцементным соотношением В/Ц, равным В/Ц = 0,47. Твердение образцов проходило в воздушно-сухих условиях (температура (18 ± 2) °С, относительная влажность воздуха 60 % – 70 %). Результаты исследований представлены на рисунке 4.6.

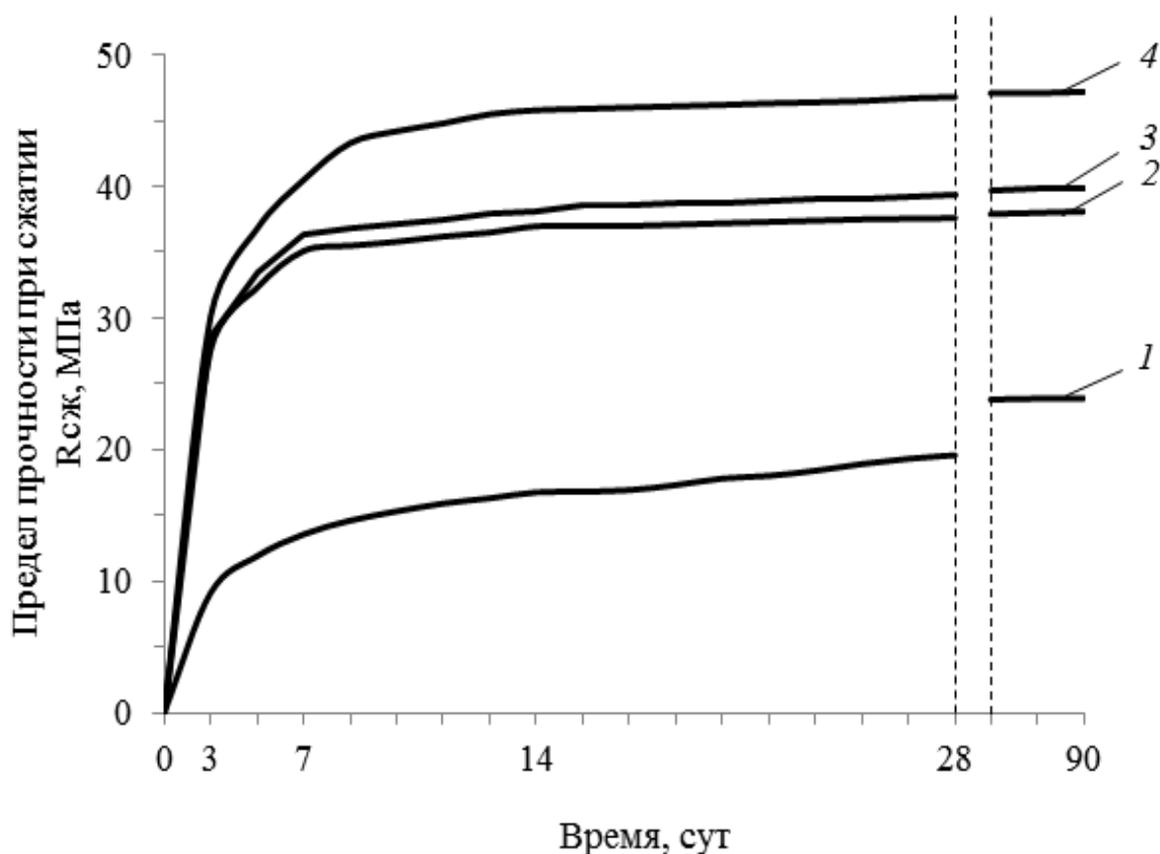


Рисунок 4.6 – Кинетика твердения цементного композита: 1 – контрольный (без содержания добавок); 2 – образец с содержанием 20% синтетической добавки от массы цемента; 3 – образец с содержанием 0,5 % добавки Neolith P 4400 и 20 % синтетической добавки; 4 – образец с содержанием 1 % добавки Neolith P 4400 и 20 % синтетической добавки

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунке 4.6, выявил, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора редиспергируемого порошка Neolith P 4400 и синтетической добавки повышает его прочность при сжатии. Установлено, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора добавки на основе аморфных алюмосиликатов (20% от массы цемента) повышает прочность при сжатии образцов в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 37,3% (рисунок 4.6, кривая 2) по сравнению с контрольными образцами (без добавки). Введение в рецептуру цементно-песчаного раствора синтетической добавки (20 % от массы цемента) и порошка Neolith P 4400 (0,5 % от массы цемента) повышает прочность при сжатии образцов в возрасте 90 суток на 39,9 % (рисунок 4.6, кривая 3) по сравнению с контрольным образцом (без добавки).

Применение в рецептуре цементно-песчаного раствора синтетической добавки (20% от массы цемента) и порошка Neolith P 4400 (1 % от массы цемента) повышает прочность при сжатии образцов в возрасте 90 суток на 49,4 % (рисунок 4.6, кривая 4) по сравнению с контрольным образцом (без добавки).

Таким образом, для последующей разработки рецептуры сухой строительной смеси, применяемой в качестве плиточного клея, выбрано оптимальное количество редиспергируемого порошка Neolith P 4400 в количестве 1 % от массы цемента.

Для создания модели прочности цементного композита в работе применялся метод математического планирования эксперимента [47]. Математическая модель прочности составлялась для состава, который включает в себя: цемент, добавку – пластификатор Кратасол ПФМ и добавку на основе аморфных алюмосиликатов.

Рассмотрены три основных фактора, влияющие на прочность цементного композита: удельная поверхность добавки на основе аморфных алюмосиликатов (x_1), количество содержания добавки в цементном композите (x_2) и содержание суперпластификатора Кратасол ПФМ в цементном композите (x_3). Условия изменения переменных и матрица планирования приведены в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5 – Условия изменения переменных

Наименование	Кодированное обозначение	Переменные		
		x_1	x_2	x_3
Нижний уровень	-1	4886	10	0,7
Основной уровень	0	6886	15	1,0
Верхний уровень	+1	8886	20	1,3
Интервал варьирования	Δ	2000	5	0,3

Таблица 4.6 – Матрица планирования

Номер опыта	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Однородность дисперсий проверялась по критерию Кохрена, адекватность модели проверялась по критерию Фишера, а значимость коэффициентов – по критерию Стьюдента. После обработки полученных экспериментальных данных и исключения из уравнения регрессии незначимых коэффициентов уравнение приобрело следующий вид:

$$y = 33,388 + 2,2125x_1 + 3,525x_2 - 0,9875x_3 \quad (4.5)$$

Уравнение 4.5 характеризует зависимость прочности цементного композита от исследуемых факторов.

Графическая интерпретация полученных данных представлена на рисунках 4.7 – 4.9.

Полученные коэффициенты уравнения регрессии и графики (рисунок 4.7 – 4.9) свидетельствуют о том, что повышения прочности ЦКВ можно достичь за счет увеличения удельной поверхности добавки и одновременного уменьшения содержания суперпластификатора. Предлагаемая модель позволяет подобрать оптимальное содержание компонентов в рецептуре сухой строительной смеси. Оптимальное содержание добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре цементного камня составляет 20% с удельной поверхностью $S_{уд} = 6886 \text{ см}^2/\text{г}$.

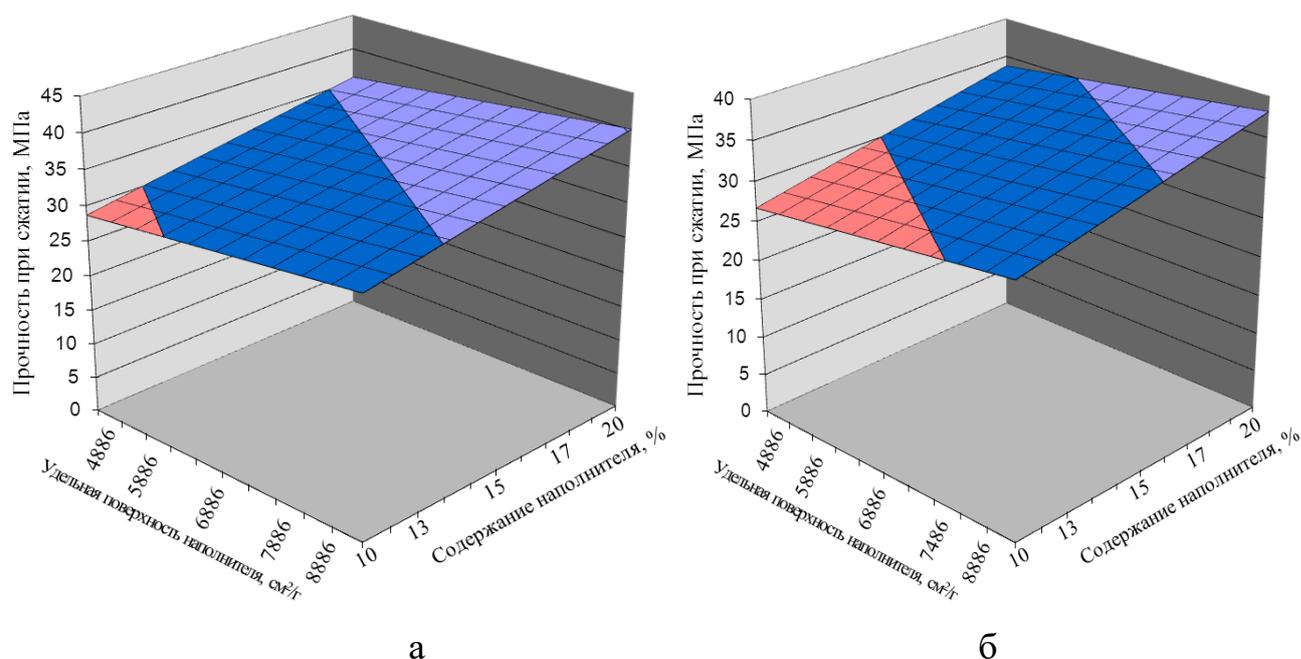


Рисунок 4.7 – Прочность цементного композиционного камня в зависимости от удельной поверхности $S_{уд}$ и количества синтетической добавки: а – при содержании Кратасол ПФМ, равным 0,5 %; б – при содержании Кратасол ПФМ, равным 1,5 %

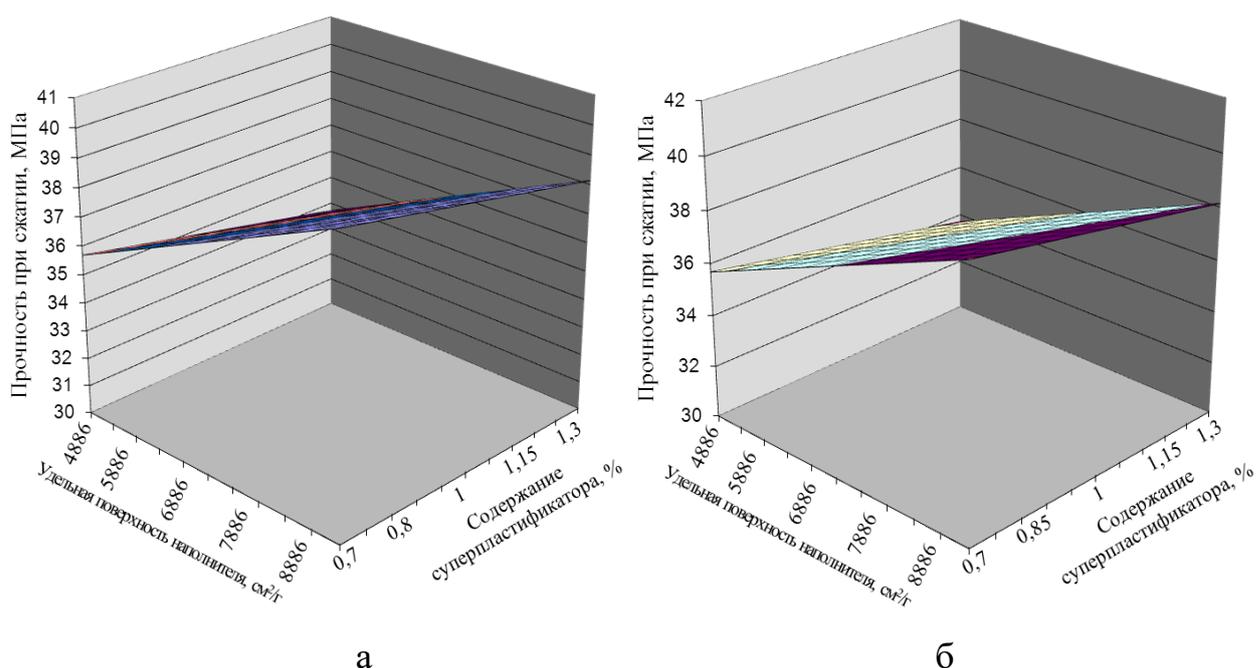


Рисунок 4.8 – Прочность цементного композиционного камня в зависимости от удельной поверхности $S_{уд}$ добавки и количества содержания суперпластификатора Кратасол ПФМ: а – при введении синтетической добавки в количестве 10 % от массы вяжущего; б – при введении синтетического добавки в количестве 20 % от массы вяжущего

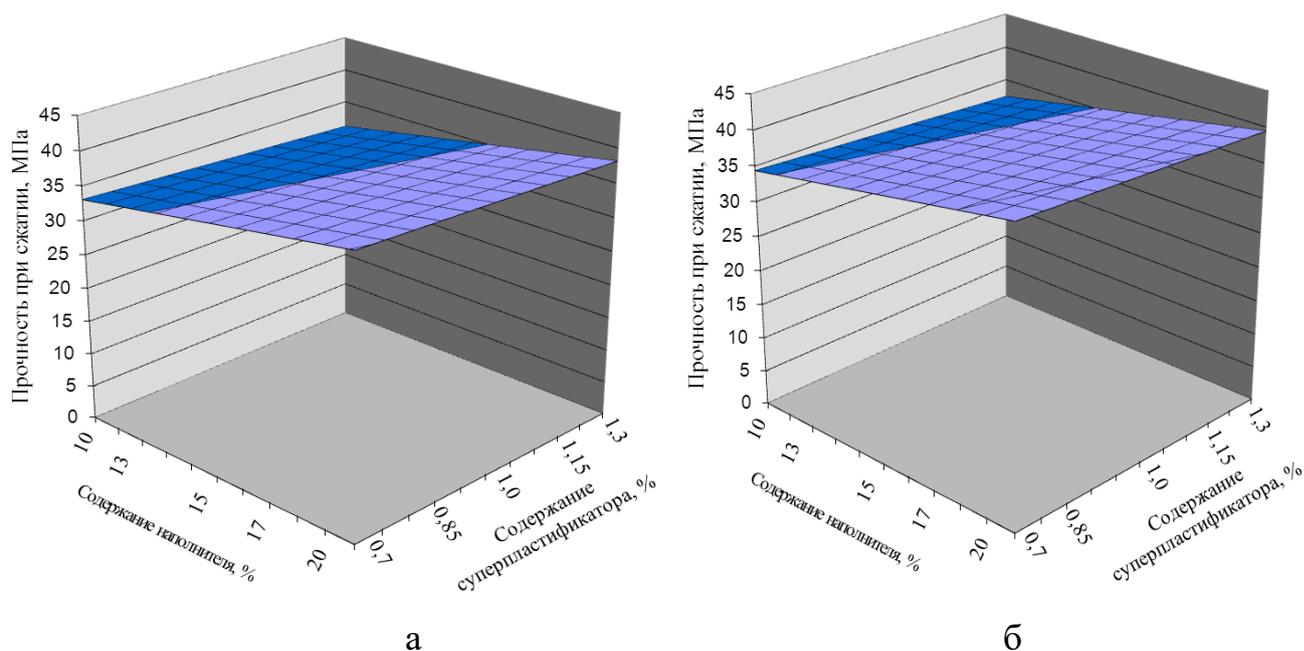


Рисунок 4.9 – Прочность цементного композиционного камня в зависимости от содержания добавки на основе аморфных алюмосиликатов и количества содержания суперпластификатора Кратасол ПФМ: а – при удельной поверхности добавки $S_{уд}$, равной $S_{уд} = 4886 \text{ см}^2/\text{г}$; б – при удельной поверхности добавки $S_{уд}$, равной $S_{уд} = 8886 \text{ см}^2/\text{г}$

4.3 Реологические и технологические свойства сухих строительных смесей с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Реологические свойства цементно-песчаных составов оценивались по показателю пластической прочности, определяемым при помощи конического пластометра КП-3. Оценивалось влияние аморфных алюмосиликатов, присутствующих в добавке, на кинетику изменения пластической прочности составов. Исследовались контрольный состав (без добавки) и составы с применением в рецептуре синтетической добавки с соотношением цемент : песок соответственно 1:2 (рисунок 4.10) и с соотношением 1:3 (рисунок 4.11). Исследуемые составы изготавливались с одинаковым водоцементным соотношением, равным $В/Ц = 0,7$.

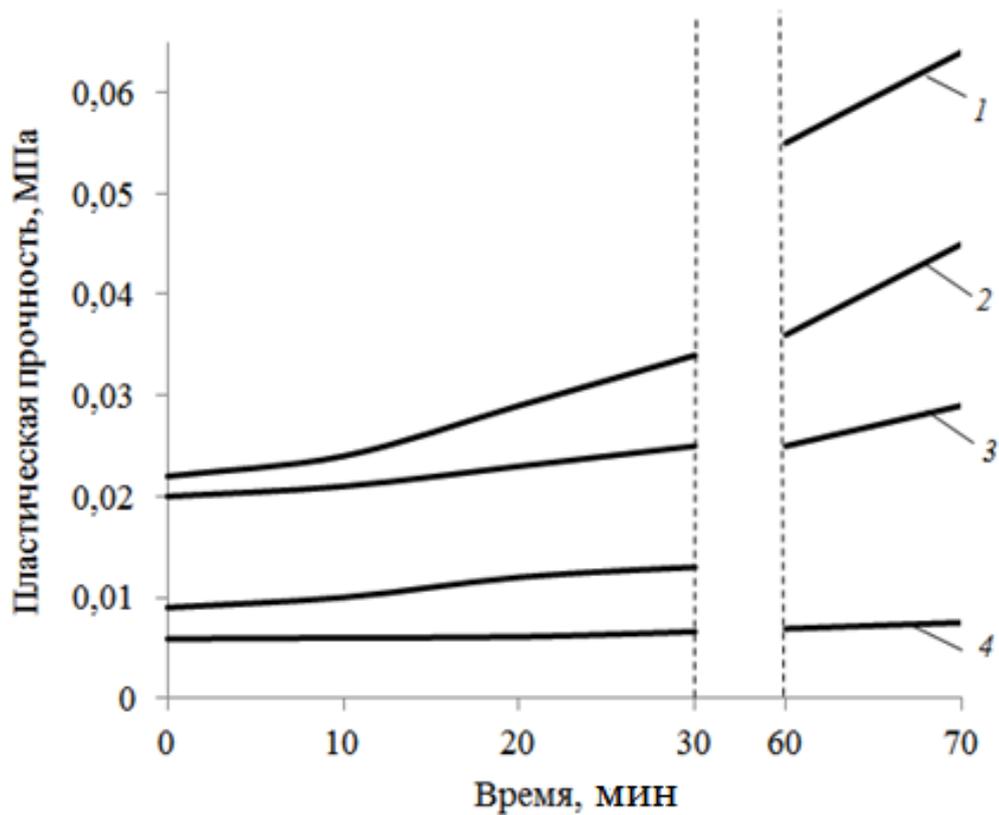


Рисунок 4.10 – Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:2): 1 – содержание синтетической добавки 30 % от массы цемента; 2 – содержание синтетической добавки 20 % от массы цемента; 3 – содержание синтетической добавки 10 % от массы цемента; 4 – контрольный образец (без содержания синтетической добавки)

Анализ пластограмм, представленных на рисунке 4.10, свидетельствует, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:2) добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к ускорению набора пластической прочности раствора на ранних сроках твердения. Так, значение пластической прочности цементно-песчаного раствора (контрольный состав) в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,0061$ МПа (рисунок 4.10, кривая 4), а при введении добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 10%, 20 % и 30 % от массы вяжущего в возрасте 20 мин с момента затворения составляет соответственно $\tau = 0,012$ МПа (рисунок 4.10, кривая 3), $\tau = 0,023$ МПа (рисунок 4.10, кривая 2) и $\tau = 0,029$ МПа (рисунок 4.10, кривая 1).

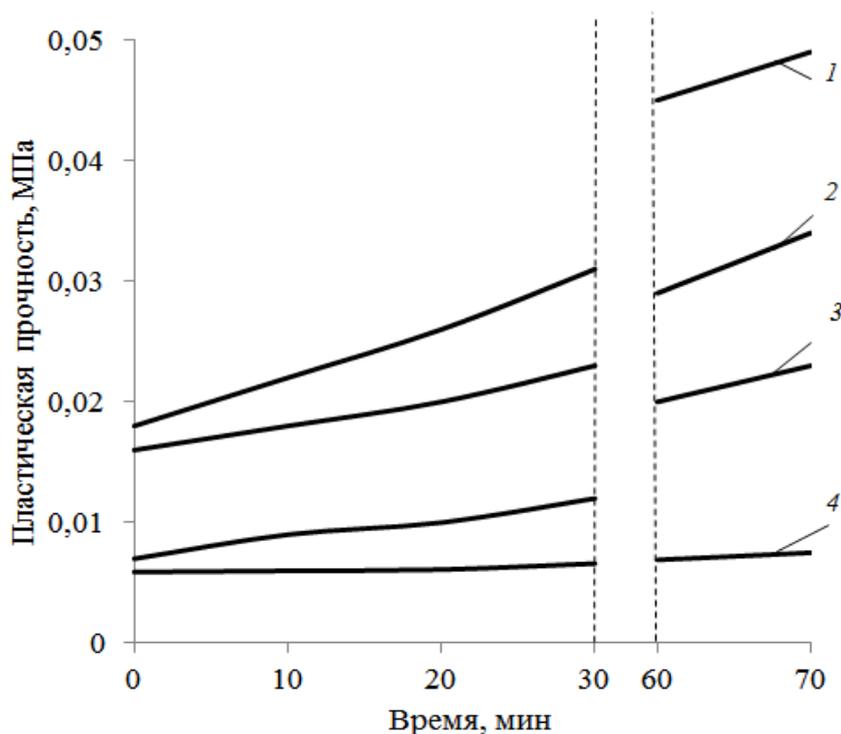


Рисунок 4.11 – Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:3): 1 – содержание синтетической добавки 30 % от массы цемента; 2 – содержание синтетической добавки 20 % от массы цемента; 3 – содержание синтетической добавки 10 % от массы цемента; 4 – контрольный образец (без содержания синтетической добавки)

Анализируя пластограммы (рисунок 4.11), выявлено, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:3) добавки на основе аморфных алюмосиликатов ускоряет набор пластической прочности раствора на ранних сроках твердения. Так, значение пластической прочности цементно-песчаного раствора (контрольный состав) в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,0059$ МПа (рисунок 4.11, кривая 4), а при введении добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 10%, 20 % и 30 % от массы вяжущего в возрасте 20 мин с момента затворения составляет соответственно $\tau = 0,01$ МПа (рисунок 4.11, кривая 3), $\tau = 0,02$ МПа (рисунок 4.11, кривая 2) и $\tau = 0,026$ МПа (рисунок 4.11, кривая 1).

Таким образом, из рисунков 4.10 и 4.11 установлено, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора с соотношением Ц:П = 1:2 синтетической добавки приводит к более раннему набору пластической прочности по сравнению

с цементно-песчаным раствором с соотношением Ц:П = 1:3 и синтетической добавкой. Так, в возрасте 20 мин с момента затворения раствора с применением в рецептуре синтетической добавки (20% от массы вяжущего) значение пластической прочности цементно-песчаного раствора с соотношением Ц:П = 1:2 составило $\tau = 0,023$ МПа (рисунок 4.10, кривая 2), а с соотношением Ц:П = 1:3 соответственно $\tau = 0,02$ МПа (рисунок 4.11, кривая 2). В связи с этим, при дальнейшей разработке состава сухой строительной смеси, плиточный клей на основе которой обладает быстрыми сроками твердения, было принято решение применять цементно-песчаный раствор с соотношением Ц:П = 1:2.

Для сравнения была проведена оценка влияния добавки на основе аморфных алюмосиликатов и добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 на изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора. Образцы изготавливались на цементно-песчаном растворе Ц:П = 1:2 и с равным водоцементным соотношением В/Ц, равным В/Ц = 0,7. Результаты испытаний представлены на рисунке 4.12.

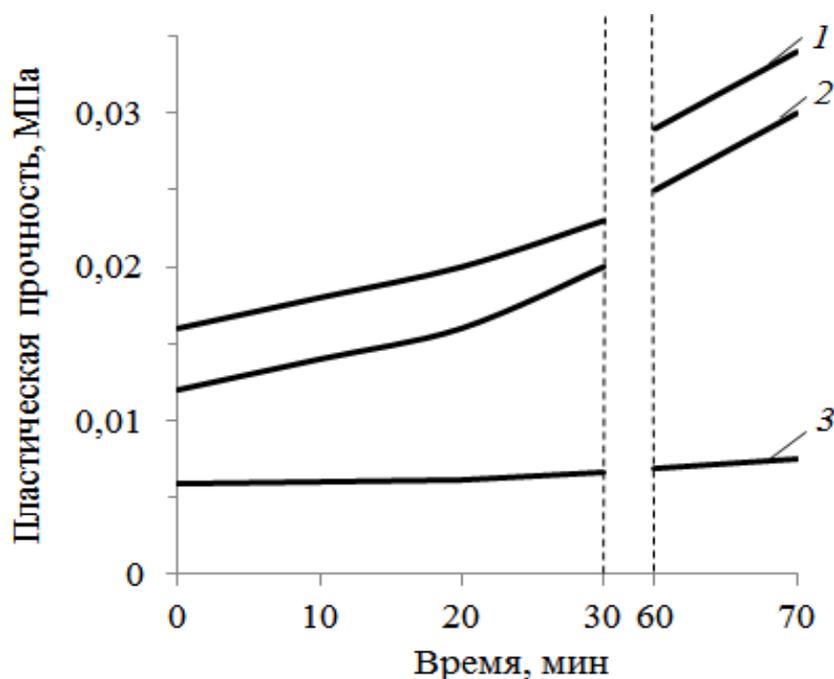


Рисунок 4.12 – Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре добавок: 1 – синтетическая добавка (20% от массы цемента); 2 – метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1% от массы цемента); 3 – контрольный состав (без добавок)

Анализ пластограмм рисунка 4.12 показал, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора добавки на основе аморфных алюмосиликатов ускоряет набор пластической прочности раствора наравне с импортной модифицирующей добавкой – метилцеллюлоза марки FMC 2094. Так, значение пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре 20% добавки на основе аморфных алюмосиликатов в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,02$ МПа (рисунок 4.12, кривая 1), а при введении добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1% от массы цемента) пластическая прочность составила $\tau = 0,016$ МПа (рисунок 4.12, кривая 2).

Исследовалось влияние добавок Sika ViscoCrete 3180 и Кратасол ПФМ на значение пластической прочности цементно-песчаного образца с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов (20% от массы цемента) в зависимости от их процентного содержания в рецептуре. Образцы изготавливались на цементно-песчаном растворе Ц:П = 1:2 и с равным водоцементным соотношением В/Ц, равным В/Ц = 0,7. Результаты исследований представлены на рисунках 4.13 и 4.14.

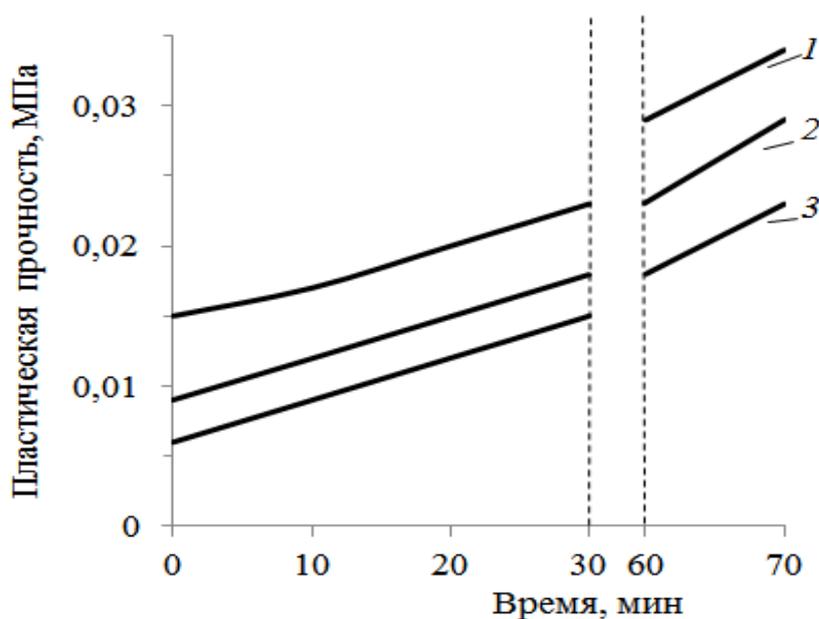


Рисунок 4.13 – Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с синтетической добавкой (20 % от массы цемента) с применением в рецептуре добавок: 1 – контрольный состав (с применением синтетической добавки); 2 – Sika ViscoCrete 3180 (1 % от массы цемента); 3 – Кратасол ПФМ (1%

от массы цемента)

Анализ пластограмм, представленных на рисунке 4.13, выявил, что при введении добавок Sika ViscoCrete 3180 и Кратасол ПФМ в количестве 1 % от массы цемента пластическая прочность раствора в возрасте 20 мин с момента затворения составила соответственно $\tau = 0,015$ МПа (рисунок 4.13, кривая 2) и $\tau = 0,012$ МПа (рисунок 4.13, кривая 3), а пластическая прочность контрольного состава составила $\tau = 0,02$ МПа (рисунок 4.13, кривая 1).

На рисунке 4.14 представлены результаты изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов (20 % от массы цемента) и введении добавок Sika ViscoCrete 3180 и Кратасол ПФМ в количестве 0,5 % от массы цемента.

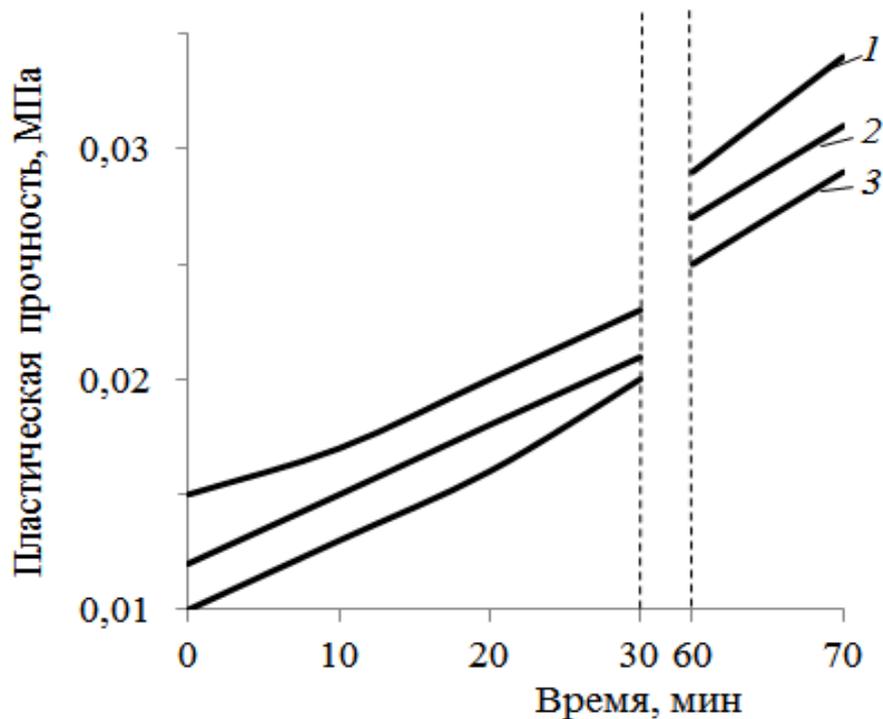


Рисунок 4.14 – Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов (20 % от массы цемента) с применением в рецептуре добавок: 1 – контрольный состав (с применением синтетической добавки); 2 – Sika ViscoCrete 3180 (0,5 % от массы цемента); 3 – Кратасол ПФМ (0,5 % от массы цемента)

Анализ пластограмм (рисунок 4.14) выявил, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора с применением аморфных алюмосиликатов (20 % от

массы цемента) добавок Sika ViscoCrete 3180 и Кратасол ПФМ в количестве 0,5 % от массы цемента пластическая прочность раствора в возрасте 20 мин с момента затворения составила соответственно $\tau = 0,018$ МПа (рисунок 4.14, кривая 2) и $\tau = 0,016$ МПа (рисунок 4.14, кривая 3). При этом пластическая прочность контрольного состава составила $\tau = 0,02$ МПа (рисунок 4.14, кривая 1).

Анализируя данные рисунка 4.13 и рисунка 4.14 установлено, что добавка Кратасол ПФМ оказывает большее пластифицирующее влияние на цементно-песчаный раствор с применением в рецептуре аморфных алюмосиликатов (20 % от массы цемента), чем добавка Sika ViscoCrete 3180. При дальнейшей разработке состава сухой строительной смеси применялась добавка Кратасол ПФМ в количестве 1 % от массы цемента.

Исследовано влияние ретиспергируемого порошка Neolith P 4400 на значение пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов (20% от массы цемента) в зависимости от его процентного содержания в рецептуре. Образцы изготавливались на цементно-песчаном растворе Ц:П = 1:2 и с равным водоцементным соотношением В/Ц, равным В/Ц = 0,7. Результаты исследований представлены на рисунке 4.15.

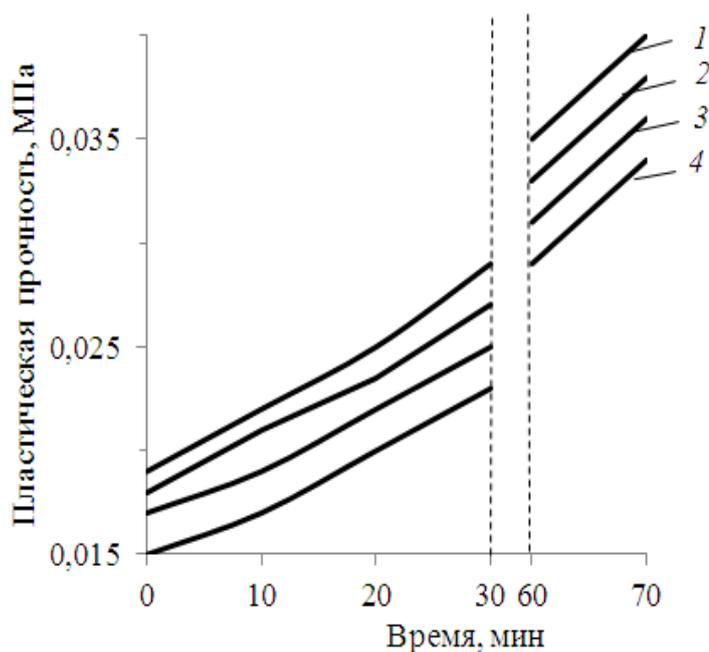


Рисунок 4.15 – Изменение пластической прочности цементно-песчаного

раствора с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов (20 % от массы цемента): 1 – содержание редиспергируемого порошка Neolith P 4400 1 % от массы цемента; 2 – содержание редиспергируемого порошка Neolith P 4400 0,8 % от массы цемента; 3 – содержание редиспергируемого порошка Neolith P 4400 0,5 % от массы цемента; 4 – контрольный состав (с применением синтетической добавки)

Анализируя пластограммы, представленные на рисунке 4.15, выявлено, что при введении в цементно-песчаный раствор добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 20 % от массы цемента пластическая прочность раствора в возрасте 20 мин с момента затворения составила $\tau = 0,02$ МПа (рисунок 4.15, кривая 4). Пластическая прочность цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре синтетической добавки (20 % от массы цемента) и редиспергируемого порошка Neolith P 4400 в объеме 0,5%; 0,8% и 1% в возрасте 20 мин с момента затворения составила соответственно $\tau = 0,022$ МПа (рисунок 4.15, кривая 3), $\tau = 0,023$ МПа (рисунок 4.15, кривая 2) и $\tau = 0,025$ МПа (рисунок 4.15, кривая 1). Таким образом, для увеличения значения пластической прочности раствора на основе разработанной ССС при дальнейшей ее разработке принято решение применять редиспергируемый порошок Neolith P 4400 в объеме 1 % от массы цемента.

Применение в рецептуре плиточного клея добавки на основе аморфных алюмосиликатов, пластифицирующей добавки Кратасол ПФМ и редиспергируемого порошка Neolith P 4400 позволяет получить смесь с реологическими свойствами, способными удерживать отделочную плитку на вертикальной поверхности, исключая ее сползание при выполнении плиточных работ.

В соответствии с требованиями DIN EN 1308 составы на основе ССС должны обладать стойкостью к сползанию при нанесении их на вертикальные поверхности [144]. В связи с этим в работе оценивалась устойчивость разрабатываемого состава к сползанию.

Разработана рецептура ССС, применяемая в качестве плиточного клея для

выполнения облицовки фасадов и внутренних стен зданий плиткой, включающая в себя Вольский портландцемент марки М 400, песок Ухтинского месторождения в соотношении фракций 0,63 мм – 0,315 мм : 0,315 мм – 0,14 мм соответственно 80 % : 20 % и насыпной плотностью 1538,2 кг/м³, пластификатор Кратасол ПФМ, редуцируемый порошок Neolith P 4400 и добавку на основе аморфных алюмосиликатов [84].

Проведен расчет устойчивости к сползанию слоя плиточного клея [73]. Суть расчета заключается в следующем: слой плиточного клея толщиной δ и высотой h скреплен с материалом стены (подложкой) и удерживает плитку весом P_2 , слой нагружен объемными силами P_1 . В клеевом слое на границе с подложкой и плиткой возникают касательные напряжения соответственно τ_{max1} и τ_{max2} , которые удерживают в равновесии рассматриваемый слой (рис. 4.16).

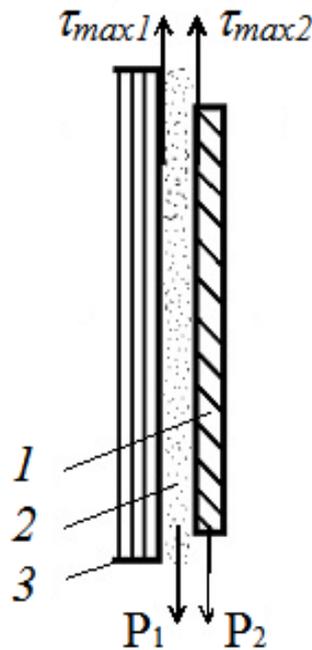


Рисунок 4.16 – Расчетная схема: 1 – облицовочная плитка; 2 – клеевой слой; 3 – вертикальная подложка

Для оценки условия нахождения слоя плиточного клея в равновесии (отсутствие «сползания») можно воспользоваться системой уравнений:

$$\begin{cases} \tau_{max1} \cdot S = P_1 + P_2; \\ \tau_{max2} \cdot S = P_2. \end{cases} \quad (4.6)$$

где P_1 и P_2 – соответственно вес слоя плиточного клея и вес плитки, кг;

S – площадь клеевого слоя, равная площади плитки, м^2 .

Для оценки условия нахождения клеевого слоя в равновесии (отсутствие «сползания») можно воспользоваться неравенством:

$$|\tau_{\max}| \leq \tau_{cd} \quad (4.7)$$

Значения τ_{cd} суммируются из предельного напряжения сдвига τ_0 – реологической характеристики и адгезионной прочности плиточного клея $\tau_{ад}$:

$$\tau_{cd} = \tau_0 + \tau_{ад} \quad (4.8)$$

Учитывая, что в начальный момент нанесения слоя плиточного клея величина $\tau_{ад}$ очень мала, выражение (4.7) может быть записано в виде:

$$\tau_{\max} \leq \tau_0 \quad (4.9)$$

Объемные силы (P_1), возникающие в клеевом слое, рассчитывались по формуле:

$$P_1 = \rho_1 \cdot V_1 \quad (4.10)$$

где ρ_1 – плотность клеевого раствора, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V_1 – объем нанесенного клеевого раствора, м^3 .

Объемные силы (P_2), возникающие в облицовочной плитке, рассчитывались по формуле:

$$P_2 = \rho_2 \cdot V_2 \quad (4.11)$$

где ρ_2 – плотность облицовочной плитки, $\text{кг}/\text{м}^3$;

V_2 – объем облицовочной плитки, м^3 .

При расчете касательных напряжений принято, что клеевой слой имеет толщину $\delta = 0,005$ м. Результаты расчета приведены в таблице 4.7.

Анализ данных, представленных в таблице 4.7, свидетельствует, что значения касательных напряжений τ_{max1} и τ_{max2} меньше значения предельного напряжения сдвига плиточного клея τ_0 . Так, максимальное касательное напряжение τ_{max1} в зоне контакта с подложкой τ_{max1} составляет $\tau_{max1} = 0,00024$ МПа,

а в зоне контакта с керамической плиткой размером $0,3 \times 0,3 \times 0,005$ м – $\tau_{max2} = 0,00015$ МПа. Предельное напряжение сдвига плиточного клея составляет $\tau_0 = 0,002$ МПа. Таким образом, выполняется условие отсутствия сползания керамической плитки и плиточного клея.

Таблица 4.7 – Устойчивость к сползанию плиточного клея на основе разработанной ССС

Вид плитки	Размер плитки, м	Касательные напряжения, МПа		Предельное напряжение сдвига плиточного клея, τ_0 , МПа	Условие отсутствия сползания
		τ_{max1}	τ_{max2}		
керамическая	$0,1 \times 0,1 \times 0,005$	0,00022	0,00013	0,002	выполняется
керамическая	$0,3 \times 0,3 \times 0,005$	0,00024	0,00015	0,002	выполняется
керамогранитная	$0,6 \times 0,6 \times 0,01$	0,00033	0,00024	0,002	выполняется
	$1,2 \times 1,8 \times 0,02$	0,00060	0,00052	0,002	выполняется
гранитная	$0,3 \times 0,6 \times 0,015$	0,00069	0,00042	0,002	выполняется

Анализ результатов расчета, приведенных в таблице 4.7, показывает, что условие отсутствия сползания наблюдается и при применении других видов облицовочных плиток.

Полученные результаты проведенных расчетов подтверждаются экспериментальными данными. Эксперимент заключался в измерении максимального сползания плитки под действием собственного веса с помощью штангенциркуля.

Величина сползания клеевого слоя на основе разработанной рецептуры ССС составила 0,3 мм. Немецким стандартом DIN EN 1308 установлено допустимое максимальное значение сползания плитки, составляющее $\tau_{сп.} \leq 0,5$ мм [144].

Таким образом, результаты расчетов и данные экспериментальных исследований позволяют утверждать, что клеевой слой на основе разработанного состава клеевой ССС стоек к сползанию.

При отделке поверхности облицовочной плиткой применяют плиточный

клей, который наносится слоем 3 мм – 10 мм. При нанесении тонкого слоя в клеевом составе происходит потеря влаги, что сопровождается повышением жёсткости смеси, осложняя технологические операции по выравниванию отделочного слоя, повышая трудоёмкость выполняемых работ. В связи с этим, одной из важных характеристик клеевой смеси является водоудерживающая способность, которая позволяет сохранить подвижность смеси в течение определенного времени.

В таблице 4.8 приведены данные влияния добавки на основе аморфных алюмосиликатов, пластифицирующих и модифицирующих добавок на водоудерживающую способность и начальную пластическую прочность составов с применением песка Ухтинского месторождения с соотношением фракций 0,63мм – 0,315 мм : 0,315 мм – 0,16 мм соответственно 80% : 20%.

Таблица 4.8 – Влияние рецептуры клеевой ССС на реологические и технологические характеристики плиточного клея

№ п/п	Состав	В/Ц	Водоудерживающая способность, %	Начальная пластическая прочность, τ_0 , МПа $\times 10^{-3}$
1	2	3	4	5
1	Контрольный состав (цемент + песок)	0,7	93,3	5,9 ± 0,186
2	то же + синтетическая добавка (10% от массы цемента)	0,7	95,7	7,0 ± 0,155
3	то же + синтетическая добавка (20% от массы цемента)	0,7	96,6	15,2 ± 0,147
4	то же + синтетическая добавка (30% от массы цемента)	0,7	96,2	18,1 ± 0,179
5	то же + синтетическая добавка (10% от массы цемента) + Кратасол ПФМ	0,63	95,8	4,2 ± 0,098

1	2	3	4	5
	(1 % от массы цемента)			
6	то же + синтетическая добавка (20% от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента)	0,63	96,9	5,4 ± 0,115
7	то же + синтетическая добавка (30% от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента)	0,63	96,1	7,5 ± 0,088
8	то же + синтетическая добавка (10% от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента) + Neolith P 4400 (1% от массы цемента)	0,55	96,8	6,3 ± 0,104
9	то же + синтетическая добавка (20% от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента) + Neolith P 4400 (1% от массы цемента)	0,55	99,3	10,1 ± 0,093
10	то же + синтетическая добавка (30% от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента) + Neolith P 4400 (1% от массы цемента)	0,55	98,2	13,2 ± 0,113

Экспериментальные данные, представленные в таблице 4.7, свидетельствуют, что сухая строительная смесь с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов, ретиспергируемого порошка Neolith P 4400 и добавки Кратасол ПФМ характеризуется достаточной водоудерживающей способностью, составляющей 95,7 % – 99,3 %.

Выводы по главе 4

1. Предложено применять в рецептуре сухой смеси в качестве мелкого заполнителя кварцевый песок Ухтинского месторождения при соотношении

фракций 0,63 мм – 0,315 мм : 0,315 мм – 0,16 мм соответственно 80 % : 20 %. Выявлено, что песок при соотношении фракций 0,63 мм – 0,315 мм : 0,315 мм – 0,16 мм соответственно 80%:20% имеет насыпную плотность, равную 1527 кг/м³ и коэффициент угловатости зерен равен 1,20, что обеспечивает более прочное сцепление с цементной матрицей.

2. Разработана модель кинетики твердения цементного композита в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов, позволяющая подобрать оптимальное содержание компонентов в рецептуре сухой строительной смеси.

3. Установлено, что добавка на основе полиметиленафталинсульфонатов натрия с добавлением воздухововлекающего и гидрофобизирующего компонента Кратасол ПФМ оказывает большее пластифицирующее влияние на цементно-песчаный раствор с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов (20 % от массы цемента), чем добавка на основе Sika ViscoCrete 3180.

4. Выявлено, что применение в рецептуре плиточного клея добавки на основе аморфных алюмосиликатов, пластифицирующей добавки Кратасол ПФМ и редиспергируемого порошка Neolith P 4400 позволяет получить клеевую смесь с реологическими свойствами, способными удерживать отделочную плитку на вертикальной поверхности, исключая ее сползание при выполнении облицовочных работ. Проведен расчет устойчивости к сползанию слоя плиточного клея.

5. Установлено, что сухая строительная смесь с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов, редиспергируемого порошка Neolith P 4400 и добавки Кратасол ПФМ характеризуется достаточной водоудерживающей способностью, составляющей 95,7 % – 99,3 %.

Глава 5. Эксплуатационная стойкость клеевого слоя на основе сухой строительной смеси

5.1 Оценка прочности сцепления слоя плиточного клея с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Важным свойством покрытий на основе сухих строительных смесей является их прочность сцепления к поверхностям отделяемых элементов и керамической плитки [44]. Оценить прочность сцепления клеевого слоя относительно подложки и керамической плитки можно с помощью величины адгезионной прочности. Это показатель, зависящий от рецептуры клеевой композиции, вида и состояния подложки, технологии нанесения и условий формирования покрытий.

Адгезионная прочность суммируется из:

$$R_{adg} = R_1 + R_2, \quad (5.1)$$

где R_1 – адгезионная прочность, обеспечиваемая силами физико-химического взаимодействия между подложкой и клеевым слоем;

R_2 – адгезионная прочность, обеспечиваемая силами механического сцепления клеевого слоя и подложки.

Для оценки адгезионной способности клеевого слоя на основе разработанной клеевой ССС изучалась прочность сцепления клеевых составов с поверхностью цементно-песчаных подложек. Исследовалась смесь с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов и модифицирующих добавок, а также контрольный состав [84].

При проведении испытаний установлен когезионный характер отрыва у керамической плитки, составляющий $R_{kog} = 1,4$ МПа (рисунок 5.1). Отрыв плитки от плиточного клея при проведении испытаний не происходил.

Таким образом, выявлено, что образцы плиточного клея на цементной основе имеют прочность сцепления выше, чем 1,4 МПа.

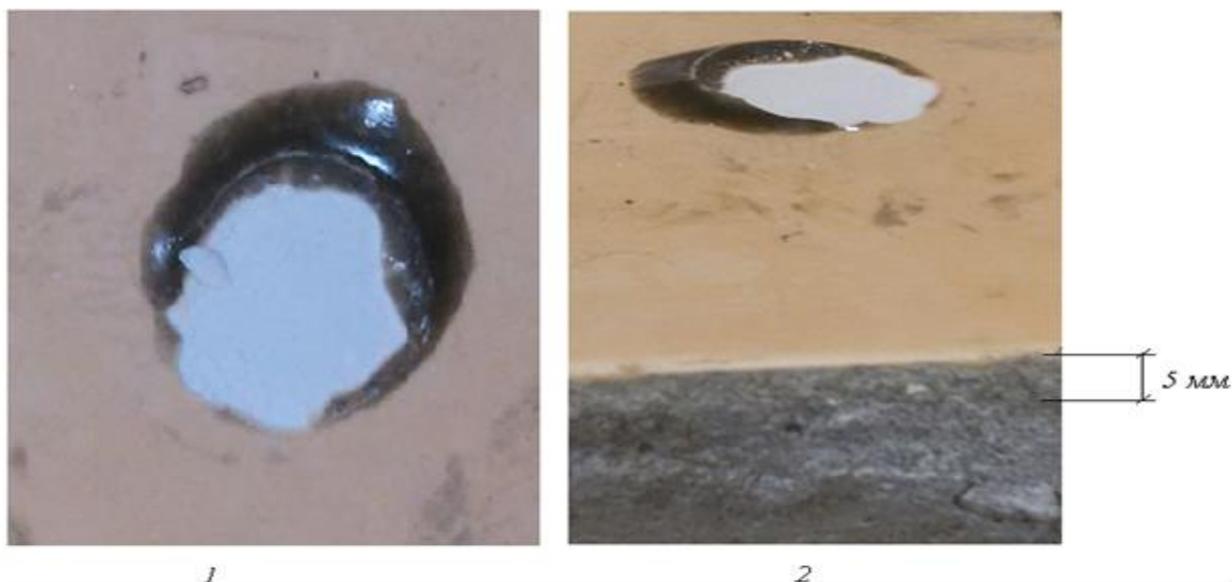


Рисунок 5.1 – Характер отрыва шайб

Выявлено, что образцы плиточного клея на цементной основе характеризуются высокой прочностью сцепления. Наибольший вклад в повышение прочности сцепления вносится добавкой Neolith P 4400, который при затворении смеси водой диспергируется и по мере испарения влаги образует высокопрочные пленки на твердых частицах раствора, повышая ее адгезию к цементно-песчаной подложке.

Оценивалась прочность сцепления клеевого слоя с подложками из гипса и пенополистирола. Результаты испытаний представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1– Прочность сцепления клеевого слоя на отрыв

Вид подложки	Прочность сцепления, R_{adg} , МПа	
	Характер отрыва	состав на основе разработанной смеси
Гипс	по плитке	более 1,4
Пенополистирол экструдированный	по плитке	более 1,4
Пенопласт ПСБ С-35	по плитке	более 1,4
Цементно-песчаная	по плитке	более 1,4

Как видно из результатов, указанных в таблице 5.1, плиточный клей, изготовленный на основе разработанной рецептуры с применением добавки на

основе аморфных алюмосиликатов, обладает достаточной прочностью сцепления с разными видами поверхности. Так, прочность сцепления образца плиточного клея с гипсовой подложкой, с пенополистиролом экструдированным, пенопластом ПСБ С-35 и с цементно-песчаной подложкой составляет более $R_{adg} > 1,4$ МПа. Сравнив полученные результаты с требованиями к прочности сцепления плиточного клея с основанием и плиткой, указанным в стандарте серии DIN EN 12004, где $R_{adg} \geq 0,5$ МПа, делаем вывод, что прочность сцепления плиточного клея, изготовленного на основе разработанной рецептуры клеевой ССС удовлетворяет условиям стандарта [147].

Плиточный клей в процессе эксплуатации испытывает также и сдвиговые нагрузки относительно подложки [86]. В связи с этим необходимо проводить испытания также и на предел прочности при сдвиге.

На сегодня методика определения прочности сцепления при сдвиге растворных слоев на основе ССС фактически отсутствует. В соответствии с ГОСТ 14759 «Клеи. Метод определения прочности при сдвиге» прочность при сдвиге определяют на испытательной машине, позволяющей проводить испытания на растяжение [31]. Однако методика предусматривает применение в качестве подложек металлических пластин, а в качестве клей – полимерные композиции.

Представляет интерес методика определения сопротивления при сдвиге, которая применяется при испытании грунтов. Методика предусматривает применение прибора ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек»» [102].

Указанную методику и прибор ГТ 2.2.3 использовали для определения прочности сцепления на сдвиг растворного слоя относительно подложки. Для испытаний применялся плиточный клей на основе разработанной рецептуры клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Для проведения испытаний использовались цементные подложки цилиндрической формы, геометрические размеры которых составляют $71,4 \text{ мм} \times$

15 мм. На подложку наносили исследуемый состав плиточного клея толщиной, равной 5 мм [147].

Испытание образцов проходило по схеме, представленной на рисунке 5.2 при оптимальной скорости сдвига растворного клеевого слоя, равной 0,2 мм/мин.

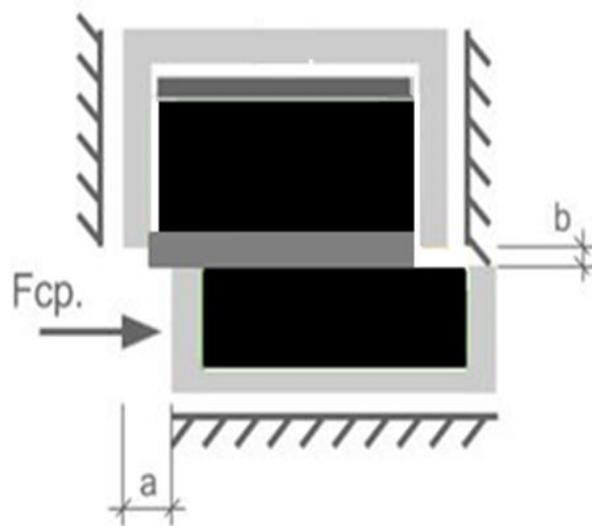


Рисунок 5.2 – Схема испытания исследуемых образцов на срез

Результаты испытания клеевого слоя на основе плиточного цементного клея на цементной подложке представлены на рисунке 5.3.

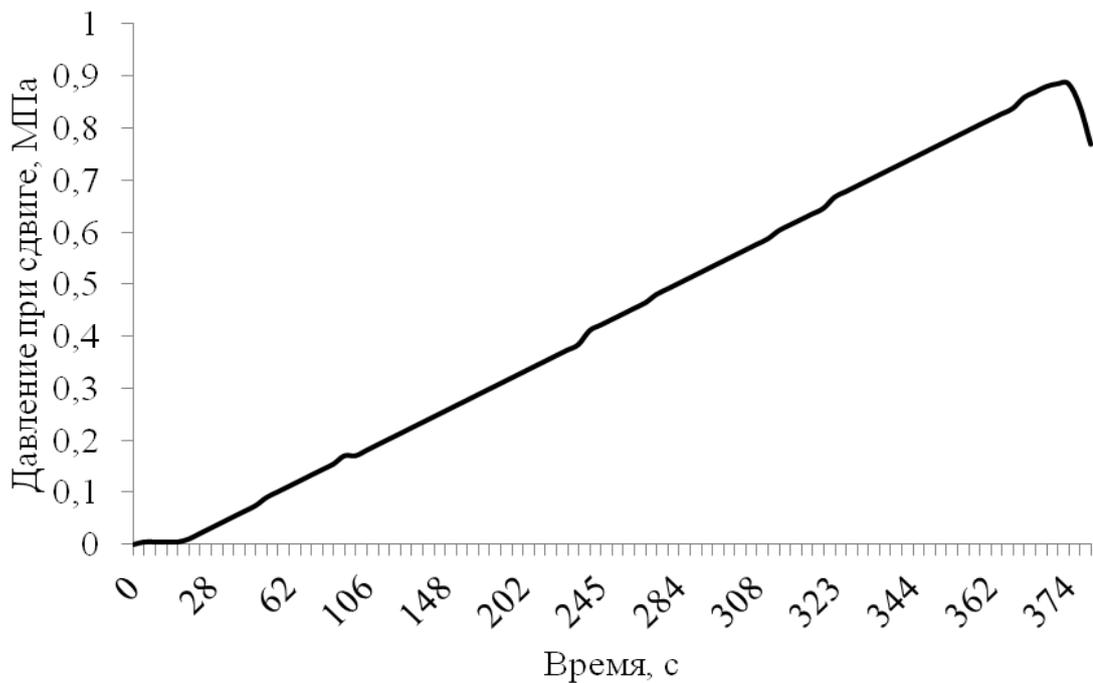


Рисунок 5.3 – Испытание на сдвиг плиточного клея на цементной основе

Анализ данных, представленных на рисунке 5.3 показал, что прочность сцепления при сдвиге плиточного клея на основе разработанной рецептуры клеевой ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов составляет $R_{сдв} = 0,92$ МПа.

5.2 Гидрофизические свойства плиточного клея с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Для слоя плиточного клея на основе разработанной рецептуры ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов характерна капиллярно-пористая структура, которая определяет характер взаимодействия плиточного клея с влагой, содержащейся в воздушно-влажной среде или при непосредственном контакте с водой. В результате взаимодействия слоя плиточного клея с влагой изменяются его физико-механические свойства, в связи с этим, необходимо исследовать особенности взаимодействия с влагой при эксплуатации состава на основе разработанной рецептуры плиточного клея.

Для оценки гидрофизических свойств клеевого слоя на основе разработанной рецептуры плиточного клея были проведены исследования их кинетики водопоглощения и водопоглощения при капиллярном подсосе.

При оценке кинетики водопоглощения образцов плиточного клея установлено, что в течение первого часа происходит наиболее интенсивное водопоглощение по массе W_m (рисунок 5.4).

В момент первого попадания влаги на образец (1 час) зависимость влагосодержания от времени увлажнения описывалась квадратичной параболой по следующей формуле:

$$W_m = f(\sqrt{\tau}) \quad (5.2)$$

Анализ рисунка 5.4 показал, что водопоглощение W_m образца плиточного клея на основе контрольного состава (рисунок 5.4, кривая 1) после 1-го часа водонасыщения составило $W_m = 14,6$ %, а при введении в его рецептуру добавки

на основе аморфных алюмосиликатов, соответственно $W_m = 13,2 \%$ (рисунок 5.4, кривая 2). После 2-ого часа водонасыщения наблюдается постепенный рост значений водопоглощения. После 24 ч водонасыщения водопоглощение контрольного образца составило $W_m = 16,55 \%$, а образца с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов – $W_m = 15,03 \%$.

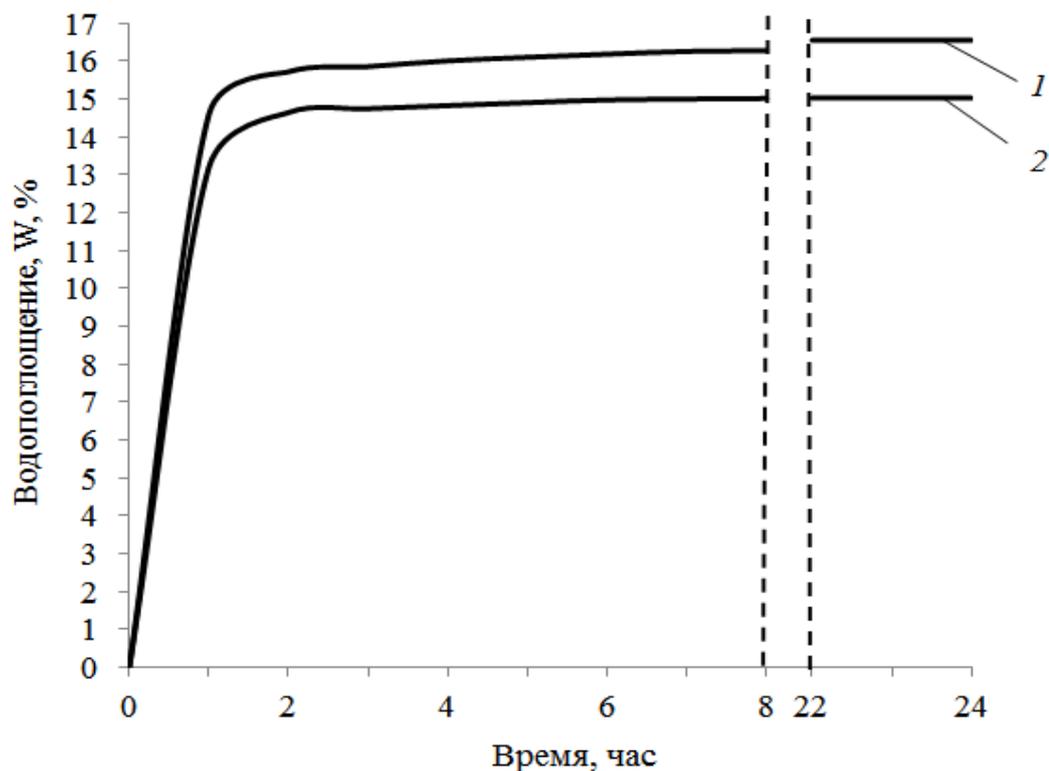


Рисунок 5.4 – Кинетика водопоглощения по массе образцов плиточного клея: 1 – контрольный состав; 2 – слой плиточного клея с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Таким образом, анализируя данные рисунка 5.4, выявлено, что плиточный клей с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов обладает меньшим водопоглощением, чем контрольный состав (без добавки). Это обусловлено изменением характера пор цементного камня при введении в его рецептуру синтетической добавки. Для подтверждения полученных данных проведен эксперимент по определению водопоглощения при капиллярном подсосе.

При определении водопоглощения при капиллярном подсосе применялся метод, заключающийся в определении изменения массы и объема образцов за 24 ч

непосредственного контакта с водной средой. Водопоглощение при капиллярном подсосе определялось по формуле:

$$W_{kn} = K_w \frac{m_2 - m_1}{S} \quad (5.3)$$

где m_1 – масса сухого образца, кг;

m_2 – масса образца после насыщения водой, кг;

S – площадь увлажняемой грани, м²;

K_w – коэффициент, учитывающий время насыщения образца, равный $K_w = 0,204, \text{ч}^{0,5}$.

Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Водопоглощение образцов при капиллярном подсосе

Исследуемый образец	Значение водопоглощения, кг/м ² ·ч ^{0,5}
Контрольный образец	4,14 ± 0,056
Образец на основе разработанной рецептуры с применением аморфных алюмосиликатов	1,43 ± 0,043

Анализ полученных результатов (таблица 5.2) выявил, что значение коэффициента водопоглощения при капиллярном подсосе у образца на основе разработанной рецептуры клеевой ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов значительно ниже, чем у контрольного образца и составляют соответственно $W_{kn} = 1,43 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$ и $W_{kn} = 4,14 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$. Таким образом, проведенный эксперимент подтверждает, что образец с применением в рецептуре синтетической добавки обладает меньшим водопоглощением по сравнению с контрольным образцом (без добавки)

Проведена оценка прочности сцепления плиточного клея на основе разработанной клеевой ССС с цементно-песчаной подложкой и керамической плиткой при воздействии влаги. Результаты испытаний представлены на рисунке 5.5.



Рисунок 5.6 – Прочность сцепления плиточного клея с цементно-песчаной подложкой и керамической плиткой после выдерживания в водной среде

Анализ полученных результатов (рисунок 5.5) показал, что прочность сцепления клеевого раствора на основе разработанной сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов после 20 суток воздействия водной среды составляет $R_{adg} = 1,1$ МПа, что удовлетворяет требованиям, указанным в стандарте серии DIN EN 12004 – $R_{adg} \geq 0,5$ МПа [147].

5.3 Оценка свойств композита на основе плиточного клея по отношению к действию температур

С целью подтверждения возможности применения плиточного клея на основе разработанной сухой смеси в наружных работах исследовалась морозостойкость клеевого слоя на основе ССС с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Способность клеевого слоя не подвергаться разрушению длительное время при многократном замораживании и оттаивании в насыщенном водой состоянии определяется наличием в его структуре резервных пор, не заполненных водой. Под действием давления растущих кристаллов льда при замораживании в резервные поры отжимается часть воды, что способствует уменьшению разрушающего действия льда на структурную прочность материала. Разрушение материала в насыщенном водой состоянии при многократном замораживании и оттаивании наступает только

тогда, когда все резервные поры будут заполнены образовавшимся льдом. Чем больше условно-замкнутая пористость образца, тем больше циклов попеременного замораживания и оттаивания необходимо, чтобы вызвать разрушение образца.

Оценка морозостойкости клеевого раствора на основе разработанной клеевой ССС на цементной основе с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов производилась путем попеременного замораживания и оттаивания образцов клеевого раствора, размером 70 мм × 70 мм × 70 мм, после 28 суток воздушно-сухого твердения [43]. В таблице 5.3 представлены результаты проведенных испытаний на морозостойкость плиточного клея. На рисунках 5.6 и 5.7 представлены образцы плиточного клея до проведения испытания и после проведения испытаний соответственно.

Таблица 5.3 – Морозостойкость плиточного клея

Результат испытаний образцов, циклы							
0	5	10	15	25	35	50	75
43,2	$\frac{42,83^*}{0,16}$	$\frac{42,70}{0,47}$	$\frac{42,60}{0,70}$	$\frac{42,07}{1,94}$	$\frac{39,86}{7,78}$	$\frac{39,36}{8,24}$	$\frac{38,43}{10,42}$

* Над чертой указана средняя прочность плиточного клея (МПа), под чертой – изменение средней прочности плиточного клея (%).

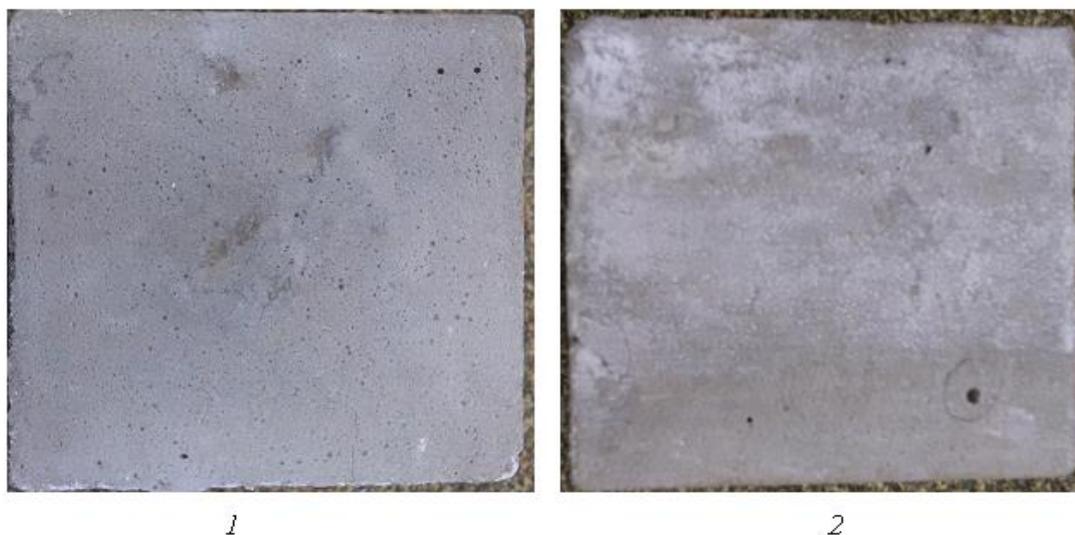


Рисунок 5.6 – Образцы до проведения испытаний

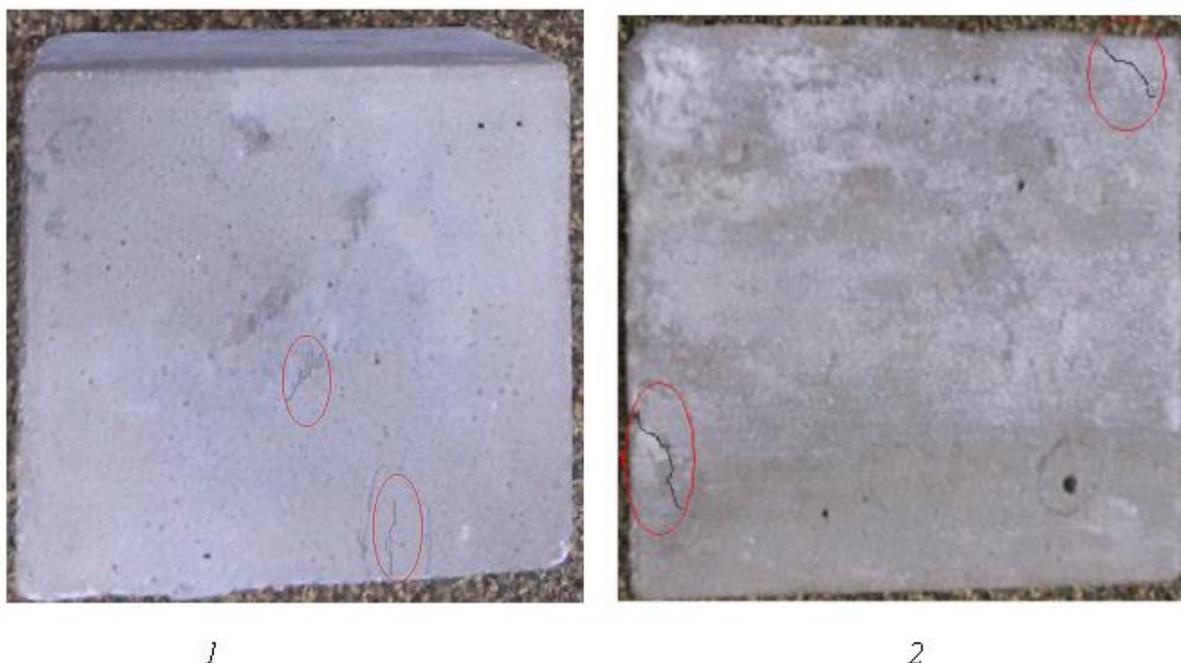


Рисунок 5.7 – Образцы плиточного клея после проведения испытаний

Как видно из рисунков 5.6 и 5.7, образцы плиточного клея на цементной основе имеют едва заметное меление, трещины на поверхности видимые невооруженным глазом составляют до 5% поверхности, коррозия отсутствует. Таким образом, в ходе проведенных испытаний составов плиточного клея на основе разработанной рецептуры ССС на морозостойкость установлено, что плиточный клей обладает маркой по морозостойкости $F50$ (таблица 5.3), т.е. выдерживает 50 циклов замораживания-оттаивания без изменения прочности (в пределах допустимой погрешности, равной 10%) [43].

При определении марки по морозостойкости (F) плиточного клея необходимо так же учитывать морозостойкость контактной зоны ($F_{кз}$). Определение марки по морозостойкости контактной зоны плиточного клея заключалось в попеременном замораживании и оттаивании конструкции, состоящей из слоя плиточного клея, нанесенного между цементно-песчаной подложкой и керамической плиткой. После каждого цикла производили визуальный осмотр поверхности с целью обнаружения трещин, крошения и отслаивания материала, а также проводили испытание на определение прочности сцепления. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Морозостойкость контактной зоны плиточного клея

Результат испытаний образцов, циклы							
0	5	10	15	25	35	50	75
1,2	$\frac{1,18^*}{1,67}$	$\frac{1,17}{2,5}$	$\frac{1,12}{6,67}$	$\frac{1,03}{14,16}$	$\frac{1,00}{16,67}$	$\frac{0,97}{19,17}$	отрыв плитки

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

Анализ данных, представленных в таблице 5.4, показал, что контактная зона плиточного клея с цементно-песчаной подложкой и керамической обладает достаточной морозостойкостью. Марка по морозостойкости контактного слоя составила $F_{кз}50$.

Проводилась оценка прочности сцепления с цементно-песчаной подложкой после циклов замораживания – оттаивания. Результаты испытаний представлены на рисунке 5.8.

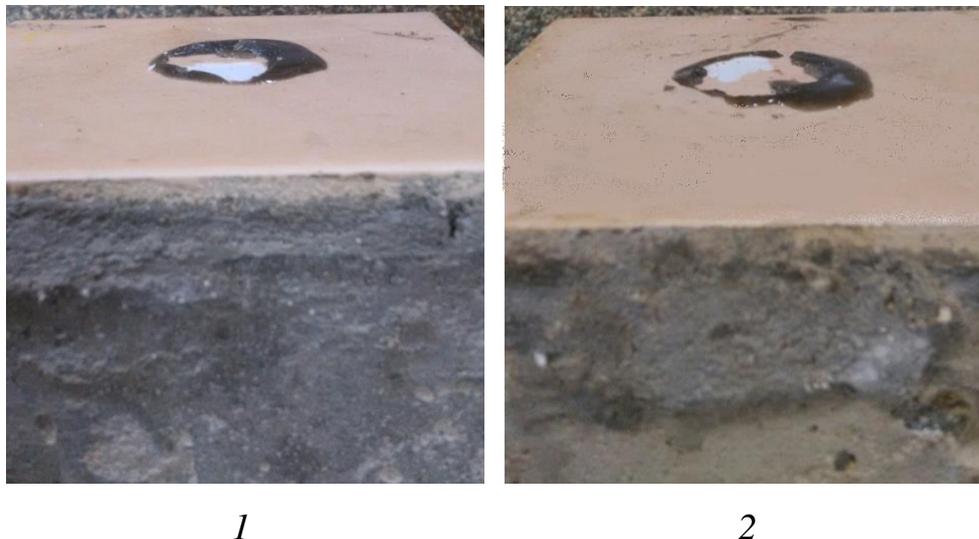


Рисунок 5.8 – Образцы после проведения испытания: 1 – оттаивание в воздушной среде; 2 – оттаивание во влажной среде

Анализ полученных результатов показал, что отрыв происходит по керамической плитке и составляет $R_{ког} = 0,97$ МПа. Таким образом, прочность сцепления клеевого раствора на основе разработанной клеевой ССС с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов после

замораживания-оттаивания в воздушной среде и после замораживания-оттаивания во влажной среде составляет $R_{adg} \geq 0,97$ МПа, что удовлетворяет требованиям, указанным в стандарте серии DIN EN 12004 – $R_{adg} \geq 0,5$ МПа [147].

5.4 Деформативные свойства покрытий на основе разработанной клеевой сухой строительной смеси

Для оценки трещиностойкости плиточного клея, изготовленного с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов, проводились измерения усадочных деформаций покрытия в процессе его отверждения.

Измерение усадочных деформаций образцов плиточного клея проводилось при помощи оптического компаратора ИЗА-2. Отверждение образцов происходило в воздушно-сухих условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\varphi = 50\% - 55\%$. На рисунке 5.9 представлен график изменения усадочных деформаций покрытия на основе контрольного состава (без применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов) и состава, изготовленного на основе разработанной клеевой ССС.

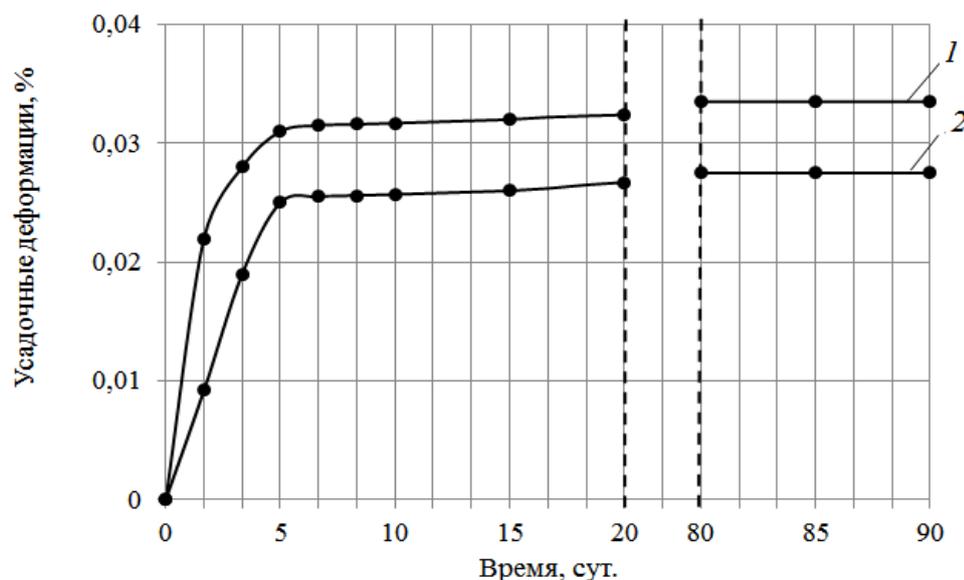


Рисунок 5.9 – Изменения усадочных деформаций в процессе твердения: 1 – контрольный состав; 2 – разработанный состав клеевой ССС

Анализ данных (рисунок 5.10) свидетельствует, что наиболее интенсивный рост усадочных деформаций наблюдается в течение 5 суток воздушно-сухого твердения, после чего заметна стабилизация значений. Так, значение усадочных деформаций состава с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов на 5 сутки твердения имеет усадочные деформации, равные $\varepsilon = 0,025 \%$, а спустя 90 суток значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 0,028 \%$ (рисунок 5.9, кривая 2) Контрольный состав на 5 сутки твердения составил $\varepsilon = 0,031 \%$, а спустя 90 суток значение усадочных деформаций составило $\varepsilon = 0,034 \%$. (рисунок 5.9, кривая 1).

Растрескивание покрытий на основе ССС происходит когда внутренние растягивающие напряжения достигают значений когезионной прочности материала покрытия. В связи с этим определялся предел прочности при растяжении покрытий на образцах после 90 суток воздушно-сухого твердения. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке 5.10.

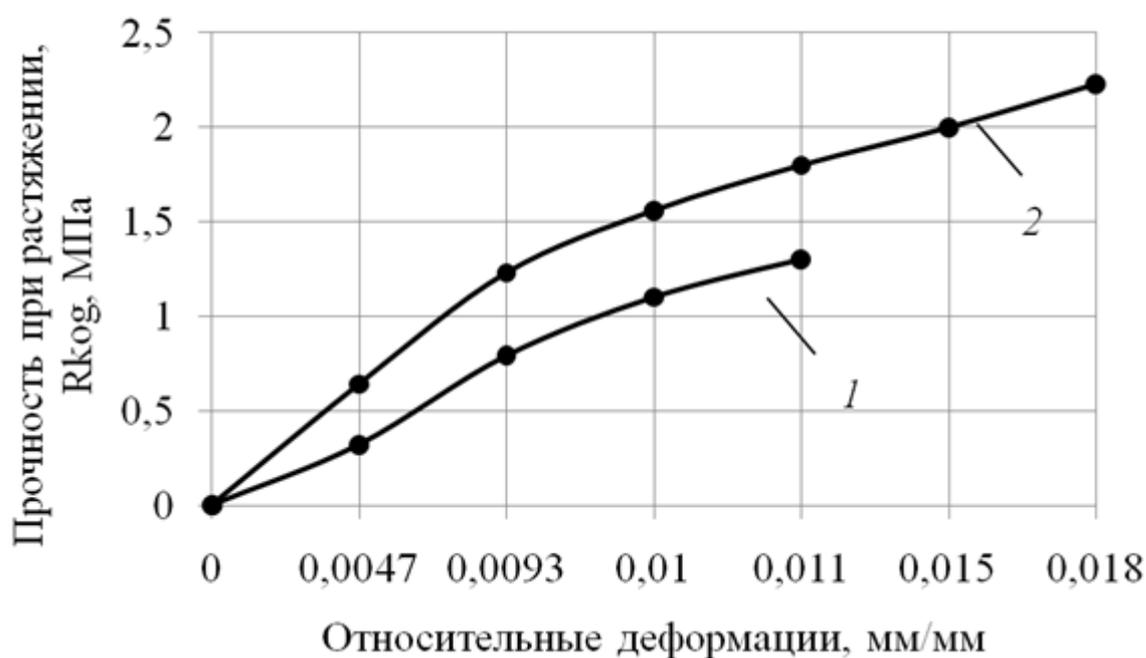


Рисунок 5.10 – Изменение относительных деформаций при растяжении образцов плиточного клея: 1 – контрольный образец; 2 – образец с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Анализ данных, представленных на рисунке 5.10, выявил, что введение в рецептуру плиточного клея добавки на основе аморфных алюмосиликатов

позволяет получить материал, характеризующийся прочностью при осевом растяжении $R_{kog} = 2,2$ МПа. Предельная растяжимость (ε_{np}) при этом составляет $\varepsilon_{np} = 0,018$ мм/мм. Разрушение образцов на основе контрольного состава происходит при относительной деформации (ε), равной $\varepsilon = 0,011$ мм/мм.

Деформативные свойства плиточного клея, изготовленного на основе разработанной рецептуры клеевой сухой строительной смеси, представлены в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Деформативные свойства клеевого слоя

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Модуль упругости покрытия, МПа	128,6
2	Усадочные деформации, ε_{yc} , мм/мм	0,00028
3	Предельная растяжимость, ε_{np} , мм/мм	0,018
4	$K_{mp} = \varepsilon_{yc}/\varepsilon_{np}$	0,015

Полученные данные свидетельствуют о достаточной усадочной трещиностойкости клеевого слоя на основе разработанной рецептуры.

5.5 Оценка напряженного состояния плиточного клея на цементной основе с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

В процессе эксплуатации плиточный клей, применяемый для облицовки керамической плиткой наружных и внутренних стен зданий и сооружений, подвергается воздействию внешней среды. Внутри слоя возникают напряжения за счет действия дождей, высокой относительной влажности воздуха, изменения температуры, а также за счет диффузии водяного пара через ограждающую конструкцию от внутренней поверхности к наружной в холодный период года, что может привести к разрушению слоя плиточного клея [5, 52, 71, 159]. Проведенные ранее исследования [85] установили, что для обеспечения стойкости покрытий на основе сухих строительных смесей необходимо обеспечить их

трещиностойкость.

Известно, что под действием внутренних и внешних факторов внутри материала возникают деформации растяжения ε_{def} , которые могут превысить растяжимость материала $\varepsilon_{пред}$.

Растрескивание покрытий на основе ССС происходит когда внутренние растягивающие напряжения достигают значения когезионной прочности материала покрытия

$$\sigma = R_{kog} \quad (5.4)$$

Или деформации растяжения равны предельной растяжимости

$$\varepsilon_{def} = \varepsilon_{пред} \quad (5.5)$$

Трещиностойкость клеевого слоя оценивалась, исходя из условия формулы [5.6]:

$$\sigma < R_{kog}, \quad (5.6)$$

где σ – внутреннее напряжение, МПа

R_{kog} – когезионная прочность клеевого слоя, МПа.

Оценивалось напряженное состояние клеевого слоя от действия температур как одного из факторов разрушения для ограждающих конструкций городов России, находящихся в разных климатических районах. Для проведения расчетов были выбраны г. Пенза и г. Якутск, находящиеся в одной зоне влажности – 3 (сухая) и в разных климатических районах, соответственно – II В и I А [65, 66, 131]. Расчетная схема ограждающей конструкции для г. Пенза представлена на рисунке 5.11 (а), для г. Якутск приведена на рисунке 5.11 (б).

В качестве стенового материала в расчетной схеме ограждающей конструкции (рисунок 5.11) принят керамзитобетон с плотностью $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, в качестве теплоизоляционного материала – пенополистирол с плотностью $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,038 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{С)}$, в качестве облицовочного материала – керамическая плитка, плотностью $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом

теплопроводности $\lambda = 1,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$. Плиточный клей, изготовленный по разработанной рецептуре клеевой ССС, имеет коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,58 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$.

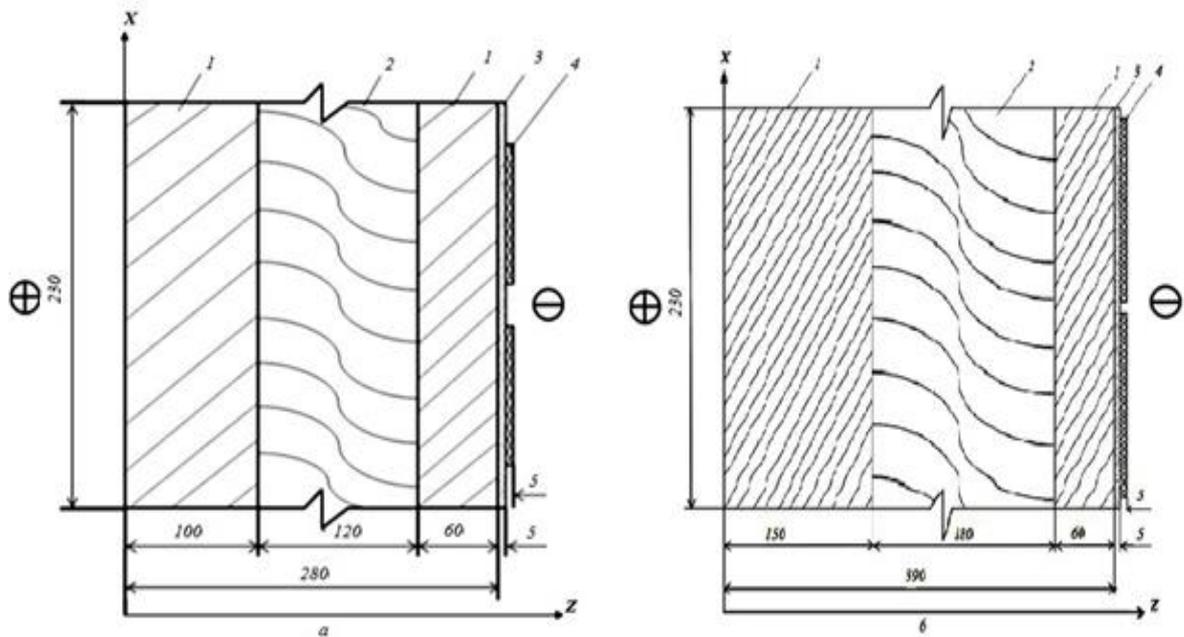


Рисунок 5.11 – Конструктивное решение ограждающей конструкции для г. Пенза (а) и для г. Якутск (б): 1- керамзитобетон; 2 – пенополистирол; 3 – слой плиточного клея на цементной основе; 4 – керамическая плитка.

Для проведения расчета принималась оптимальная относительная влажность воздуха в помещении, равная $\varphi = (55\pm 5) \text{ }^{\circ}\text{С}$ и оптимальная температура воздуха в помещении для г. Пенза, равная $t_{\text{омн}} = (18\pm 2) \text{ }^{\circ}\text{С}$, для г. Якутск – $t_{\text{омн}} = (20\pm 2) \text{ }^{\circ}\text{С}$.

Предварительно был проведен расчет распределения температуры по сечению ограждающей конструкции для городов Пенза и Якутск. С учетом полученных значений температуры был выполнен расчет температурных касательных напряжений, возникающих в клеевом слое толщиной 5 мм. Расчет выполнен для протяженности клеевого слоя (плиточного клея) 102 мм.

В соответствии со схемой, представленной на рисунок 5.12, оценивались касательные напряжения, возникающие в клеевом слое. Расчеты проводились с помощью универсальной программной системы конечно-элементного анализа Mechanical APDL (ANSYS) [лиц. № 104-82-86].

Расчет выполнен для следующих зон: зона контакта клеевого слоя с керамзитобетоном (рисунок 5.12, линия ОВ), зона контакта клеевого слоя с керамической плиткой (рисунок 5.12, линия АС), зона контакта клеевого слоя с воздушной средой, т.е. краевая зона (рисунок 5.12, линия ВС) и зона центра клеевого слоя (рисунок 5.12, линия ОА).

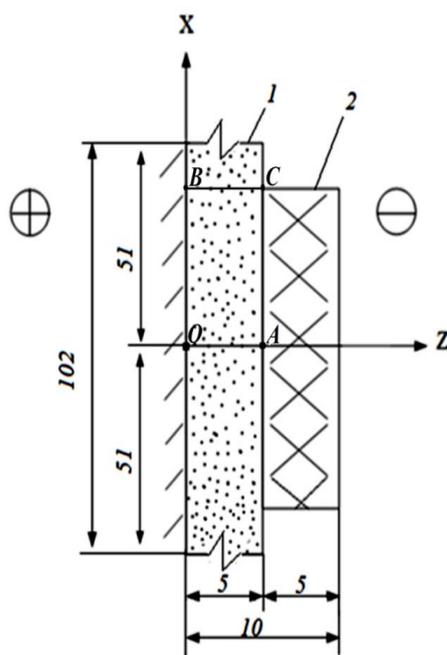


Рисунок 5.12 – Расчетная схема ограждающей конструкции: 1 – слой плиточного клея; 2 – керамическая плитка

На рисунке 5.13 и рисунке 5.14 приведены значения касательных напряжений σ_{xz} , возникающих в течение года, для г. Пензы и г. Якутска.

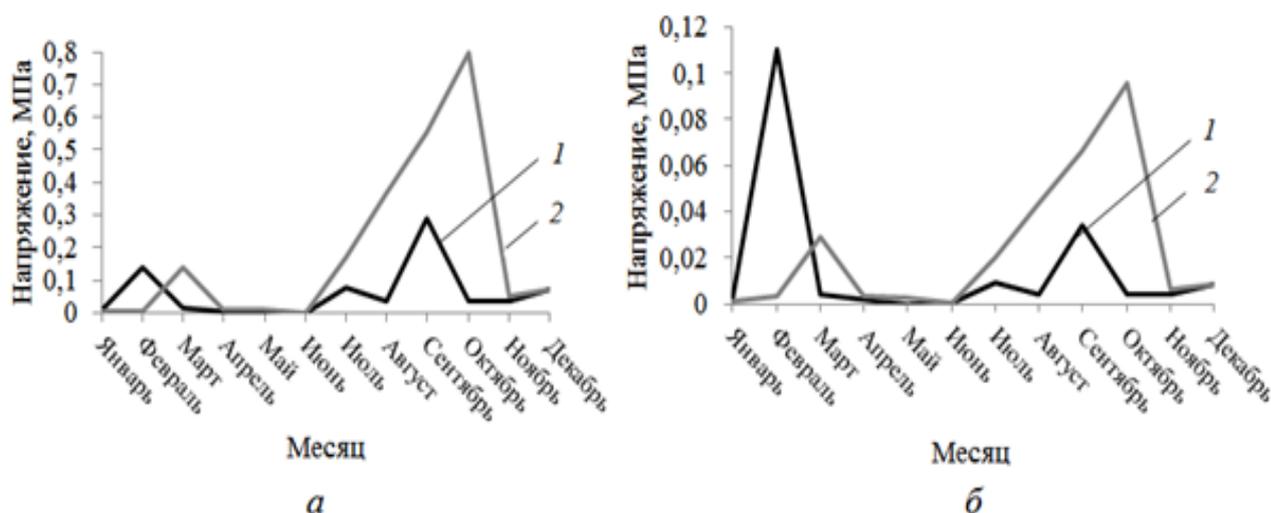


Рисунок 5.13 – Изменение касательных напряжений σ_{xz} в клеевом слое в течение года г. Пенза (кривая 1), г. Якутск (кривая 2): а – на границе с

керамической плиткой (рисунок 5.12, линия АС); б – на границе с керамзитобетоном (рисунок 5.12, линия ОВ).

Выявлено, что максимальные касательные напряжения в клеевом слое на границе с керамзитобетоном наблюдаются в феврале месяце, составляющие $\sigma_{xz} = 0,11$ МПа и в сентябре месяце на границе с керамической плиткой – $\sigma_{xz} = 0,29$ МПа (г. Пенза, рисунок 5.13, кривая 1). В г. Якутск (рисунок 5.13, кривая 2) максимальные касательные напряжения в клеевом слое наблюдаются на границе с керамзитобетоном и на границе с керамической плиткой в октябре месяце, составляющие соответственно $\sigma_{xz} = 0,096$ МПа и $\sigma_{xz} = 0,8$ МПа.

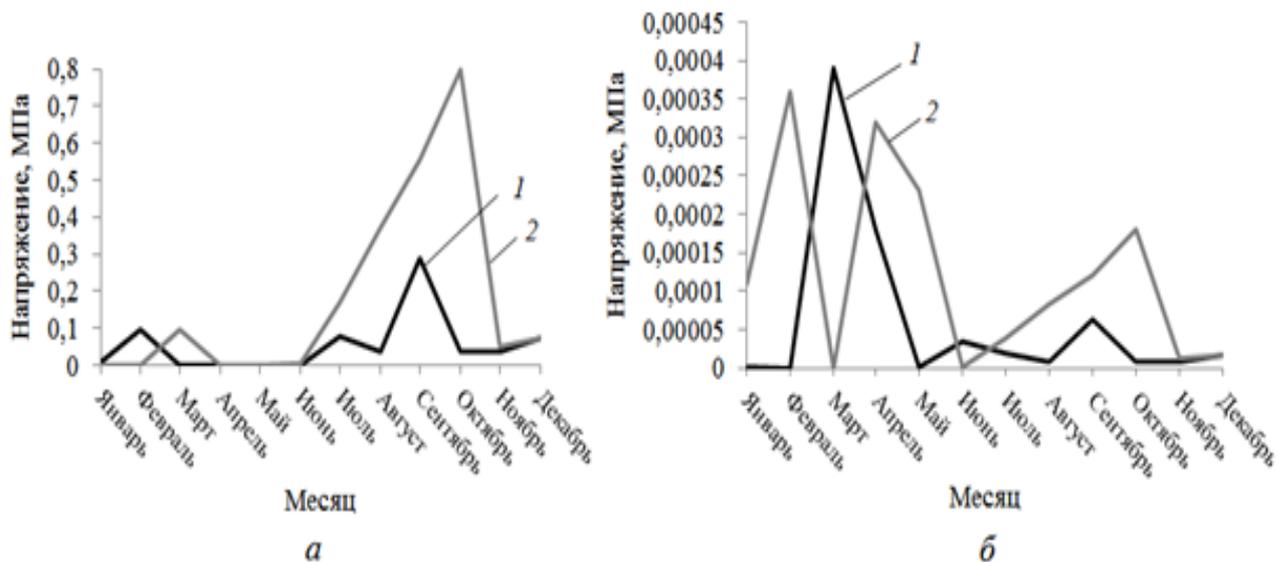


Рисунок 5.14 – Изменение касательных напряжений σ_{xz} в клеевом слое в течение года г. Пенза (кривая 1), г. Якутск (кривая 2): а – краевая зона (рисунок 5.12, линия ВС); б – центр клеевого слоя (рисунок 5.12, линия ОА).

В центре клеевого шва (рисунок 5.12, линия ОА) для условий г. Пенза (рисунок 5.14, кривая 1) максимальные касательные напряжения наблюдаются в марте месяце и составляют $\sigma_{xz} = 0,00039$ МПа, а для условий г. Якутска – в феврале месяце – $\sigma_{xz} = 0,00036$ МПа. В краевой зоне (рисунок 5.12, линия ВС) максимальные напряжения характерны для условий г. Пензы в сентябре месяце, составляющие $\sigma_{xz} = 0,29$ МПа, а для условий г. Якутск – в октябре месяце, составляющие $\sigma_{xz} = 0,8$ МПа.

Сравнение полученных значений максимальных касательных напряжений σ_{xz} , возникающих в клеевом слое, со значением адгезионной прочности

плиточного клея на цементной основе, равной $R_{adg} > 1,4$ МПа, показало, что возникающие в клеевом слое касательные напряжения не превышают значения адгезионной прочности, т.е. клеевой шов на основе разработанного состава клеевой ССС стоек к отслаиванию.

В клеевом слое во время эксплуатации возникают не только касательные напряжения, но и растягивающие. Расчет растягивающих напряжений выполнен для наиболее опасных зон клеевого слоя в представленной конструкции – линии ОВ и АС, указанные на рисунке 5.12.

На рисунке 5.15 и рисунке 5.16 приведены соответственно значения растягивающих напряжений, возникающих в клеевом слое на границе с керамзитобетоном и на границе с керамической плиткой в течение года в г. Пенза и в г. Якутск.

Анализ данных, представленных на рисунках 5.15 и 5.16, показал, что максимальные растягивающие напряжения σ_x , возникающие в клеевом слое на границе с керамзитобетоном (рисунок 5.15) и на границе с керамической плиткой (рисунок 5.16) наблюдаются в марте месяце. Значения максимальных растягивающих напряжений σ_x клеевого слоя на границе с керамзитобетоном в г. Пенза и в г. Якутск равны, соответственно, $\sigma_x = 1,68$ МПа и $\sigma_x = 2,3$ МПа. Значения максимальных растягивающих напряжений σ_x , возникающих в клеевом слое на границе с керамической плиткой, в г. Пенза и в г. Якутск соответственно составляют – $\sigma_x = 1,24$ МПа и $\sigma_x = 1,73$ МПа.

Сравнение полученных значений максимальных растягивающих напряжений, возникающих в клеевом слое в г. Якутск, со значением когезионной прочности плиточного клея на цементной основе, равным $R_{kog} = 2,2$ МПа, показало, что условие формулы 5.6 не выполняется. Значения внутренних напряжений больше когезионной прочности $\sigma_x > R_{kog}$.

Таким образом, разработанную рецептуру плиточного клея не рекомендуется применять в г. Якутске и в городах, находящихся в зоне влажности – 3 (сухая) и климатических подрайонах I А.

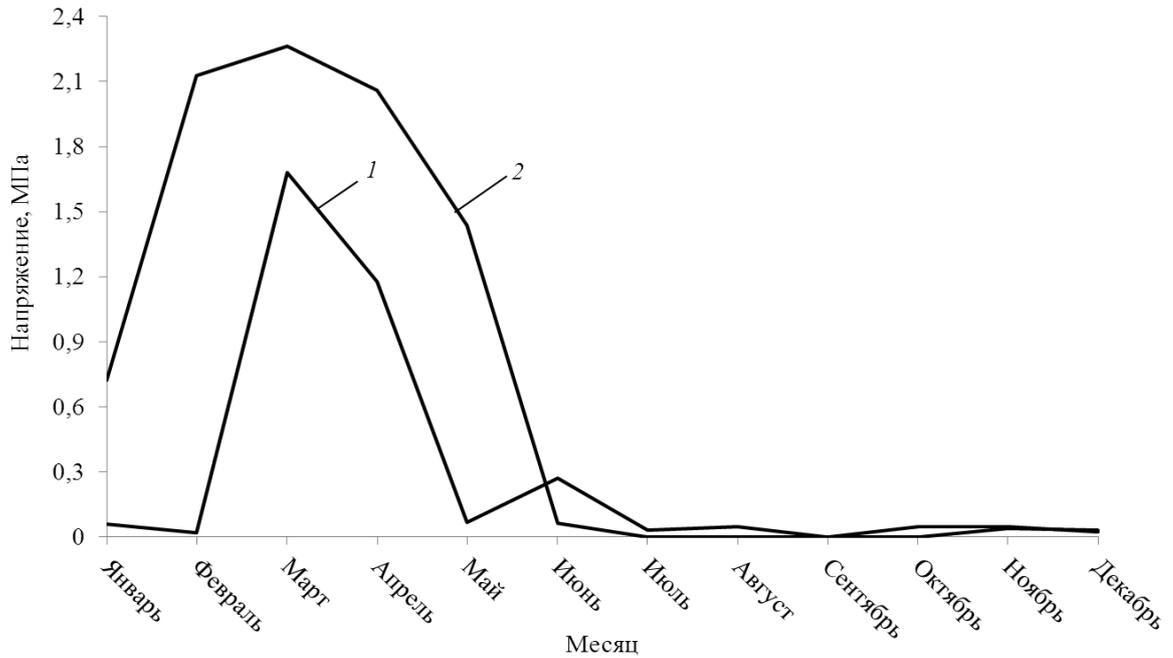


Рисунок 5.15 – Изменение растягивающих напряжений σ_x в клеевом слое на границе с керамзитобетоном в течение года (линия ОВ, рисунок 5.12): 1 – г. Пенза; 2 – г. Якутск

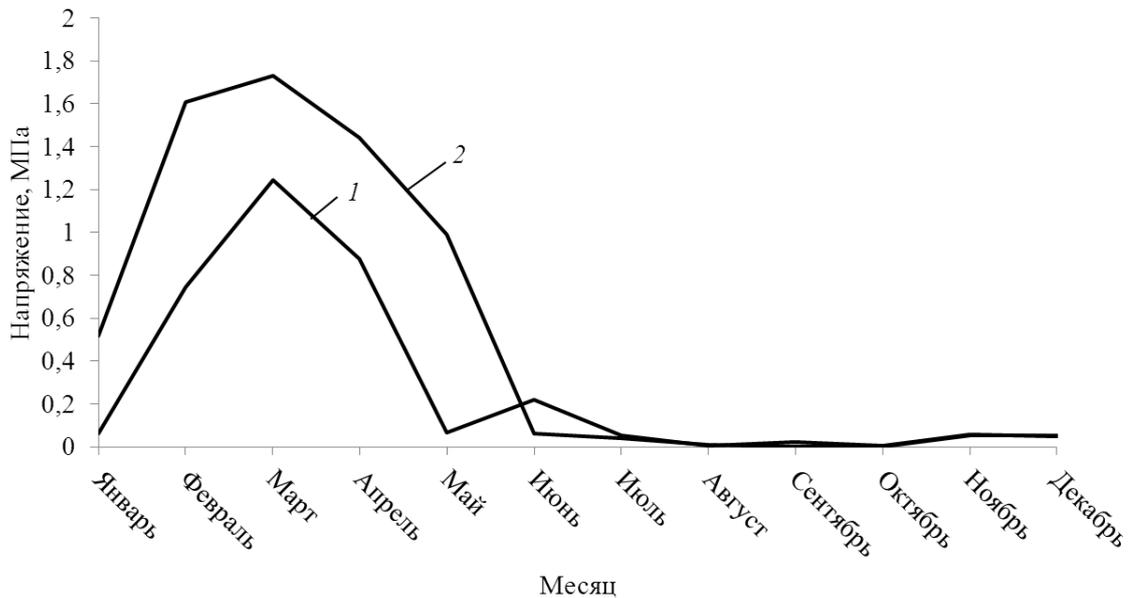


Рисунок 5.16 – Изменение растягивающих напряжений σ_x в клеевом слое на границе с керамической плиткой в течение года (линия АС, рисунок 5.12): 1 – г. Пенза; 2 – г. Якутск

Результаты проведенных расчетов позволяют утверждать, что клеевой слой на основе разработанной рецептуры сухой клеевой строительной смеси является трещиностойким для г. Пенза и городов России, находящихся в зоне влажности – 3 (сухая) и климатических подрайонах II В. Для подтверждения полученных

результатов рассмотрим растягивающие и сжимающие напряжения, возникающие в клеевом слое для условий климата г. Пенза.

На рисунке 5.17 приведены значения растягивающих напряжений в течение года для г. Пензы. Выявлено, что максимальное растягивающее напряжение по оси X в зоне контакта клеевого слоя с керамзитобетоном (линия ОВ, рисунок 5.12) наблюдается в марте месяце и составляет $\sigma_x = 1,68$ МПа. Максимальное растягивающее напряжение по оси X в зоне контакта клеевого слоя с керамической плиткой (линия АС, рисунок 5.12) возникает в марте месяце и составляет $\sigma_x = 1,24$ МПа.

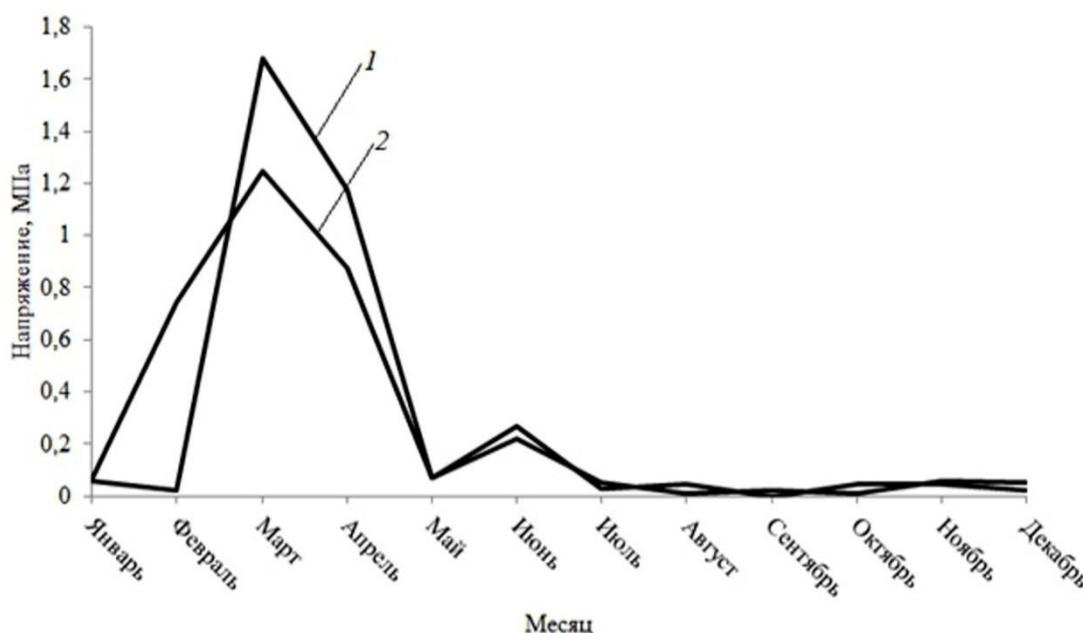


Рисунок 5.17 – Изменение растягивающих напряжений σ_x в клеевом слое в течение года (г. Пенза): 1 – на границе с керамзитобетоном; 2 – на границе с керамической плиткой

На рисунке 5.18 показаны значения напряжений, возникающие по толщине клеевого слоя (ось Z) в течение года в г. Пенза. Установлено, что максимальное растягивающее напряжение возникает в центре клеевого слоя (линия ОА, рисунок 5.12) в сентябре месяце, составляющее $\sigma_z = 0,02$ МПа. В краевой зоне контакта клеевого слоя по оси Z (линия ВС, рисунок 5.12) возникают растягивающие и сжимающие напряжения. Максимальное растягивающее напряжение по оси Z краевой зоны контакта клеевого слоя на границе с керамической плиткой возникает в сентябре месяце и равно $\sigma_z = 0,24$ МПа. Максимальное сжимающее

напряжение краевой зоны контакта по толщине клеевого слоя на границе с керамической плиткой возникает в марте месяце и равно $\sigma_z = -0,49$ МПа.

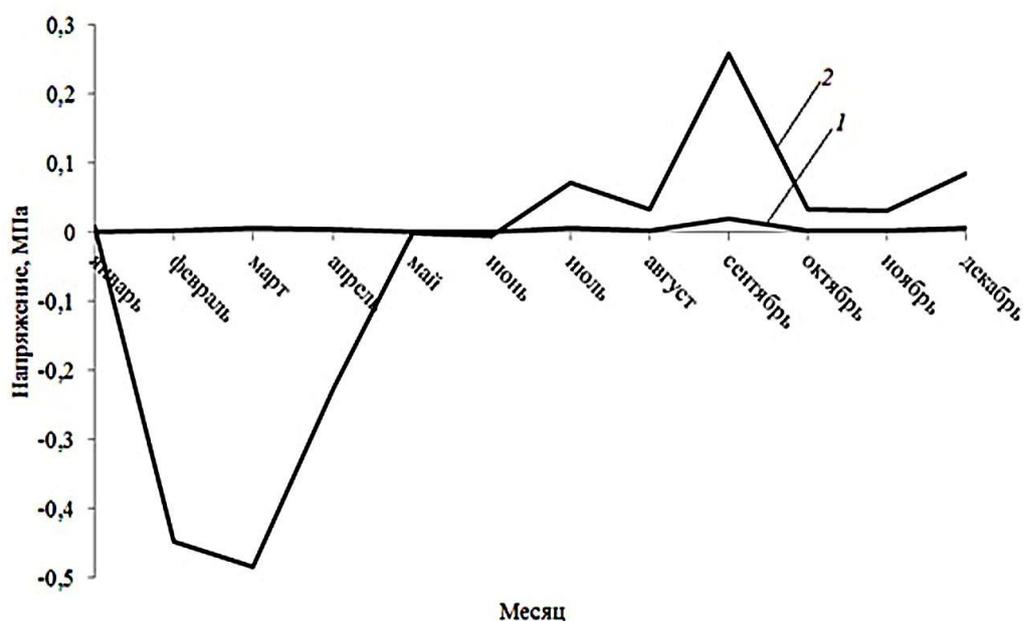


Рисунок 5.18 – Изменение максимальных напряжений σ_z в клеевом слое в течение года (г. Пенза): 1 – центр клеевого слоя; 2 – краевая зона клеевого слоя

На рисунке 5.19 приведены значения растягивающих напряжений по простиранию клеевого слоя, характерных для марта месяца в г. Пенза.

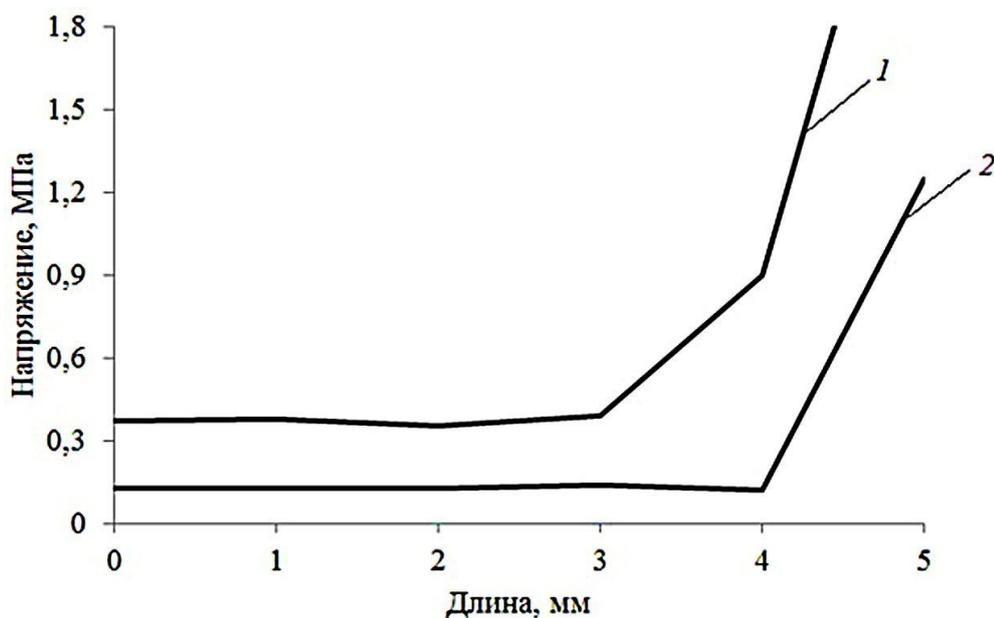


Рисунок 5.19 – Изменение растягивающих напряжений σ_x по протяженности клеевого слоя в марте месяце (г. Пенза): 1 – на границе с керамзитобетоном (линия ОВ, рисунок 5.12); 2 – на границе с керамической плиткой (линия АС, рисунок 5.12)

Как видно из данных, приведенных на рисунке 5.19, максимальные растягивающие напряжения σ_x возникают в концевой зоне клеевого слоя на границе клеевого слоя с керамзитобетоном (линия ОВ, рисунок 5.12) и составляют $\sigma_x = 1,68$ МПа и на границе клеевого слоя с керамической плиткой (линия АС, рисунок 5.12) – $\sigma_x = 1,24$ МПа.

На рисунке 5.20 приведены значения растягивающих и сжимающих напряжений, возникающих по толщине клеевого слоя, характерных для сентября месяца в г. Пенза.

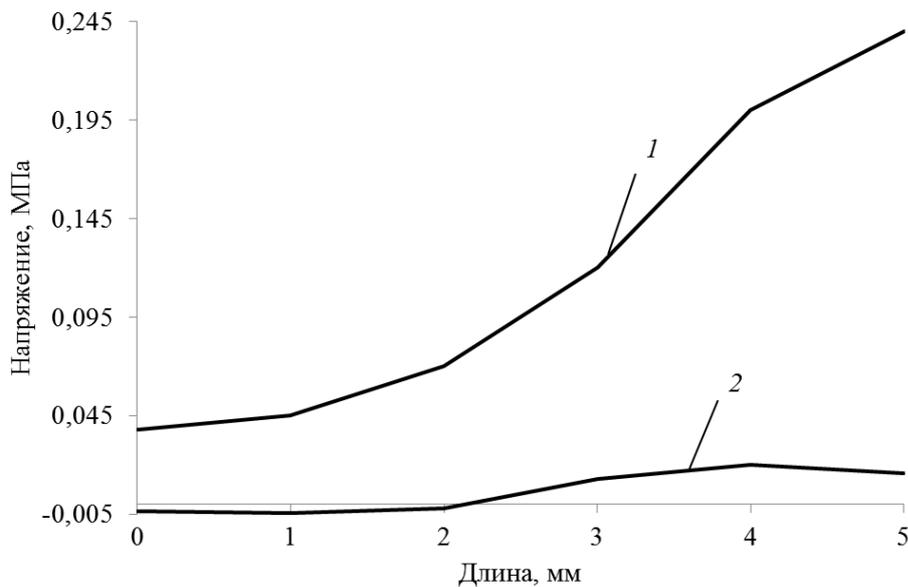


Рисунок 5.20 – Изменение напряжений σ_z по толщине клеевого слоя в сентябре месяце (г. Пенза): 1 – в центре клеевого слоя (линия ОА, рисунок 5.12); 2 – в концевой зоне клеевого слоя (линия ВС, рис. 5.12)

Анализ экспериментальных данных, представленных на рисунке 5.20, показал, что максимальное растягивающее напряжение σ_z возникает в центре плиточного клеевого слоя (линия ОА, рисунок 5.12) на границе с керамической плиткой и составляет $\sigma_z = 0,016$ МПа, а максимальное сжимающее напряжение в центре клеевого слоя на границе с керамзитобетоном составляет $\sigma_z = -0,0042$ МПа. В концевой зоне клеевого слоя (линия ВС, рисунок 5.12) максимальное растягивающее напряжение возникает в зоне контакта клеевого слоя с керамической плиткой и составляет $\sigma_z = 0,24$ МПа.

На рисунке 5.21 показаны значения сжимающих напряжений, возникающих по толщине краевой зоны контакта клеевого слоя (линия ВС, рисунок 5.12), характерных для марта месяца в г. Пенза.

Анализ полученных данных (рисунок 5.21) показал, что максимальное сжимающее напряжение возникает в зоне контакта клеевого слоя с керамической плиткой (точка С, рисунок 5.12) и составляет $\sigma_z = -0,49$ МПа.

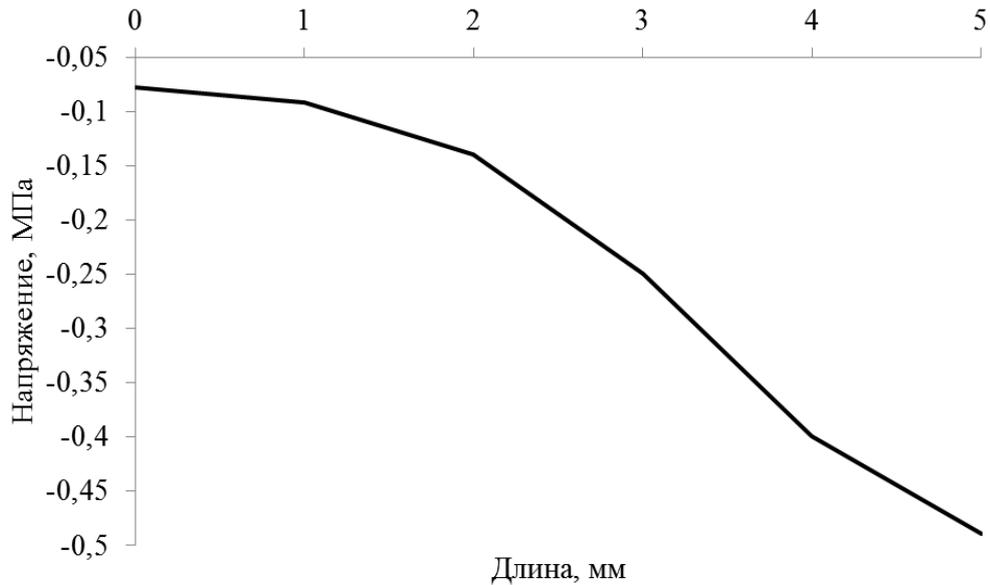


Рисунок 5.21 – Изменение сжимающих напряжений σ_z по толщине краевой зоны клеевого слоя в марте месяце (г. Пенза)

Полученные значения максимальных напряжений сравнивались со значениями прочности сцепления при отрыве и когезионной прочностью плиточного клея на цементной основе, соответственно равными $R_{adg} > 1,4$ МПа и $R_{kog} = 2,2$ МПа.

Таким образом, представленные результаты проведенных расчетов позволяют утверждать, что клеевой слой с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов является трещиностойким при использовании его в городах, находящихся в зоне влажности – 3 (сухая) и климатических подрайонах II В.

Дополнительно трещиностойкость оценивалась по условному коэффициенту трещиностойкости $K_{тр}$, определяемый как отношение прочности при изгибе к прочности при сжатию по формуле:

$$K_{mp} = \frac{R_{изг}}{R_{сж}} \quad (5.7)$$

Результаты проведенного расчета установили, что образцы плиточного клея имеют достаточную трещиностойкость, так как значение условного коэффициента трещиностойкости K_{mp} составляет $K_{mp} = 0,06$.

Рецептура сухой строительной смеси, применяемой в качестве плиточного клея представлена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Рецепттура разработанной сухой строительной смеси

№ п\п	Компоненты сухой строительной смеси	Содержание компонентов в сухой строительной смеси, %
1	Портландцемент	31,05
2	Песок Ухтинского месторождения с соотношением фракций:	62,10
	0,63-0,315	49,68
	0,315-0,16	12,42
3	Добавка на основе аморфных алюмосиликатов	6,21
4	Добавка Кратасол ПФМ	0,32
5	Редиспергируемый порошок Neolith P 4400	0,32

В таблице 5.7 приведены основные технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на основе разработанной рецептуры с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Таблица 5.7 – Технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на основе разработанной клеевой ССС

Параметр	Ед.изм	Величина показателя для состава		
		разрабо- танный	прототип 1	прототип 2
1	2	3	4	5
Средняя плотность ССС	кг/м ³	1800	1870	1500
Время перемешивания	мин	3	4	4
Время коррекции	мин	20	30	20
Жизнеспособность при хранении в открытых емкостях	мин	100	180	120
Удобоукладываемость		хорошая	хорошая	хорошая
Рекомендуемая толщина одного слоя	мм	3 – 5	до 10	до 45
Расход состава при нанесении толщиной слоя в 5 мм	кг/м ²	5,8	6,0	4,8
Водоудерживающая способность	%	97,8 – 99,3	95,0 – 97,0	96,2 – 98,8
Сползание плитки, не более	мм	0,3	0,5	0,5
Прочность сцепления с основанием:				
после выдерживания в воздушно-сухой среде	МПа	более 1,4	1,1	0,8
после выдерживания в водной среде	МПа	более 1,1	0,9	1,0
после 50 циклов замораживания-оттаивания влагонасыщенного образца	МПа	0,97	0,7	0,9
Прочность сцепления при сдвиге	МПа	0,92	0,6	0,7
Морозостойкость плиточного клея	марка	<i>F</i> 50	<i>F</i> 50	<i>F</i> 50
Морозостойкость контактной зоны	марка	<i>F</i> _{кз} 50	<i>F</i> _{кз} 50	<i>F</i> _{кз} 50
Водопоглощение при капиллярном подсосе	кг/м ² ·ч ^{0,5}	1,43	2,00	1,78

1	2	3	4	5
Усадочные деформации, ε	%	0,028–0,034	0,030–0,040	0,029–0,038
Температура эксплуатации	°C	-50°C до +70°C	-50°C до +50°C	-50°C до +70°C
Гарантийный срок хранения в неповрежденной упаковке в сухих помещениях	мес	12	12	12

В качестве прототипа 1 выбран плиточный клей Юнис-2000 на цементной основе, производимый группой компаний «UNIS», в качестве прототипа 2 – плиточный клей CM 11, производимый компанией Ceresit.

Анализ данных, приведенных в таблице 6 показал, что разработанный состав клеевой ССС с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов и плиточный клей на ее основе обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами: быстрые сроки схватывания, высокая водоудерживающая способность, стойкость к сползанию, высокая прочность сцепления с поверхностью при разных условиях эксплуатации и низкое значение усадочных деформаций.

5.6 Опытно-производственное опробование. Разработка нормативных документов

5.6.1 Технология приготовления состава клеевой сухой строительной смеси

Технологическая линия по производству состава клеевой сухой строительной смеси заключается в выполнении следующих технологических модулей:

- приема, сушки, просева песка;
- приёма, просева цемента;
- приготовления минеральных и органоминеральных добавок;
- смесительный модуль;
- упаковки и выдачи готовой продукции.

После приемки песок со склада с помощью шнекового питателя подается в

вибрационную сушилку. Далее, при помощи элеватора высушенный песок высыпается на вибросито для отсеивания его по фракциям. Песок распределяется по бункерам на фракции: 0,63 мм – 0,315 мм, 0,315 мм – 0,16 мм и отсеиваются неиспользуемых фракций. При накоплении большого количества отсева песка в бункере происходит его удаление, а необходимые фракции песка перегружаются в накопительные бункеры.

В цементный силос подается цемент пневмотранспортом из силосов хранения цемента.

Процесс приготовления добавки на основе аморфных алюмосиликатов начинается с приготовления раствора из дробленого технического сульфата алюминия. Далее в полученный раствор вводят жидкое натриевое стекло и тщательно перемешивают до однородной массы. Полученный осадок фильтруют и промывают дистиллированной водой, после чего его высушивают при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ и измельчают до требуемой удельной поверхности.

Процесс изготовления состава сухой клеевой смеси на цементной основе заключается в совместном тщательном перемешивании отдозированных компонентов в смесительном модуле. Компоненты сухой клеевой строительной смеси на цементной основе перемешиваются с помощью вибрационного смесителя. Необходимые модифицирующие добавки поступают к смесителю из ручного дозатора добавок.

Готовая клеевая сухая строительная смесь на цементной основе через винтовой питатель и ленточный элеватор из смесительного модуля поступает в модуль упаковки и выдачи к фасовочной машине, где предусматривается ее дозирование и расфасовка в подготовленную тару.

Перед фасовкой состав клеевой сухой строительной смеси проверяется на соответствие СТО ООО РСУ «Сецработ» (проект) (приложение А).

При несоответствии отдельных показателей требованиям СТО ООО РСУ «Сецработ» (проект), производится поправка плиточного клея на коррекцию состава с обязательным последующим перемешиванием.

Клеевую сухую строительную смесь, соответствующую требованиям СТО ООО РСУ «Спецработ» (проект), направляют на фасовку. Фасовка ССС предусмотрена как в крупную, так и в мелкую тару.

Сухая строительная смесь упаковывается в бумажные трёх-, четырёхслойные клапанные мешки с полиэтиленовым пакетом – вкладышем, исключающим попадание влаги и посторонних примесей. Емкость мешков составляет от 5 кг до 50 кг. Упакованная продукция отправляется на склад готовой продукции с помощью тележек.

Хранение и транспортирование готовой продукции допускается при положительных температурах. Перевозка составов может осуществляться любым видом транспорта в крытых транспортных средствах в соответствии с правилами перевозки грузов, действующих на соответствующем виде транспорта.

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО РСУ «Спецработ». Акт опытно-производственного апробирования сухой клеевой строительной смеси на цементной основе с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов приведен в приложении А.

5.6.2 Техничко-экономические показатели производства клеевой сухой строительной смеси

Калькуляция себестоимости изготовления клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов по рецептуре (таблица 5.6) приведена в таблице 5.9. Стоимость материалов, используемых при производстве клеевой ССС, принята по ценам 2016-го года.

Для расчета калькуляции себестоимости производства клеевой ССС требуются учесть показатели, представленные в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Показатели для расчета себестоимости клеевой ССС

№ п/п	Показатель	Значение показателя
1	Количество рабочих	7 чел
2	Количество смен	2
3	Длительность смены	8 ч
4	Производительность оборудования	8000 т/год
5	Установленная мощность оборудования	60 кВт/ч

Плиточный клей, изготовленный на основе разработанной рецептуры клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов, опробован в лабораторных и производственных условиях.

Проведенные результаты, представленные в таблице 5.9, выявили, что себестоимость 1 кг разработанной рецептуры клеевой сухой строительной смеси составила 4,98 руб.

Оценку экономической эффективности результатов исследований проводили путем сравнения рыночной стоимости разработанной рецептуры клеевой ССС и известных производителей клеевых ССС. За рыночную стоимость разработанной рецептуры клеевой ССС принимали сумму себестоимости и 30 % от нее. Результаты оценки представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Рыночная стоимость ССС

№	Наименование производителя	Единица измерения	Стоимость, руб
1	Разработанная рецептура ССС	кг	6,47
2	ЮНИС	кг	11,12
3	Старатели	кг	7,96
4	Кнауф	кг	10,46
5	Ceresit	кг	10,24

Анализируя данные таблицы 5.10 выявлено, что разработанная рецептура клеевой ССС является экономически эффективной. Так, стоимость 1 кг разработанной клеевой ССС составляет 6,47 руб, что на 23,03 % ниже стоимости плиточного клея марки Старатели, на 63,18 % ниже стоимости плиточного клея марки Ceresit, на 61,67 % ниже стоимости плиточного клея марки Кнауф и на 73,26 % ниже рыночной стоимости плиточного клея марки Юнис.

Таблица 5.9 – Калькуляция себестоимости клеевой ССС

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб	с кварцевым песком	
				Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	2	3	4	5	6
1	Сырье и материалы				
	Портландцемент	т	4200	0,31050	1304,1
	Песок	т	180	0,62100	111,78
	Сульфат алюминия	т	1800	0,01530	27,54
	Жидкое стекло	т	20 000	0,05360	1072
	Пластифицирующая добавка	т	63 300	0,00320	202,56
	Редиспергируемый порошок	т	258 200	0,00320	826,24
	Итого:	руб			3544,22
2	Вспомогательные материалы	руб			600
3	Амортизация основного оборудования	руб			120,00

1	2	3	4	5	6
4	Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	80,00	0,58 ч	46,4
5	Основная заработная плата производственных рабочих	руб/чел	785,32	0,58 ч	455,48
7	Дополнительная заработная плата производственных рабочих	руб/чел	179,69	0,58 ч	104,22
9	Отчисления на социальное страхование	руб/ч	112,32	0,58 ч	65,14
8	Заводская себестоимость 1т	руб			4982,98
9	Заводская себестоимость 1кг	руб			4,98

Выводы по главе 5

1. Разработан состав сухой строительной смеси, применяемый в качестве плиточного клея для выполнения отделки фасадов и внутренних стен зданий облицовочной плиткой и содержащий портландцемент, кварцевый песок, пластификатор Кратасол ПФМ, редиспергируемый порошок Neolith P 4400 и в качестве структурообразующей добавки – добавку на основе аморфных алюмосиликатов. Клеевой слой на основе разработанной ССС характеризуется прочностью сцепления на отрыв $R_{\text{adg}} > 1,4$ МПа, прочностью сцепления при сдвиге $R_{\text{сдв}} = 0,92$ МПа, когезионной прочностью $R_{\text{ког}} = 2,2$ МПа, маркой по морозостойкости F50, морозостойкостью контактной зоны $F_{\text{кз}}50$, водопоглощением при капиллярном подсосе $1,43 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$.

2. Установлены закономерности изменения напряженного состояния клеевого слоя от действия температур для различных климатических условий. Выявлено, что в г. Пенза максимальные касательные напряжения в клеевом слое на границе с керамзитобетоном наблюдаются в феврале месяце и на границе с керамической плиткой в сентябре месяце. В г. Якутск максимальные касательные напряжения в клеевом слое наблюдаются на границе с керамзитобетоном и на границе с керамической плиткой в октябре месяце.

3. Установлено, что максимальные значения растягивающих напряжений σ_x , возникающих в клеевом слое на границе с подложкой и на границе с керамической плиткой, наблюдаются в марте месяце. Выявлено, что в центре клеевого шва максимальные значения касательных напряжений наблюдаются в марте (г. Пенза) и в феврале (г. Якутск) месяце, а в краевой зоне – в сентябре (г. Пензы) и в октябре (г. Якутск) месяце. Для условий г. Пенза максимальные значения касательных напряжений в клеевом слое на границе с подложкой наблюдаются в феврале месяце, а на границе с керамической плиткой – в сентябре месяце. Для условий г. Якутск максимальные значения касательных напряжений в клеевом слое наблюдаются на границе с подложкой и на границе с керамической плиткой в октябре месяце.

4. Установлено, что клеевой слой на основе разработанной рецептуры сухой клеевой строительной смеси является трещиностойким и стойким к отслаиванию для условий г. Пенза и городов России, находящихся в зоне влажности - 3 (сухая) и климатических подрайонах ПВ в соответствии со СНиП 23-01-99*.

5. Определена область применения разработанного состава плиточного клея – города, находящихся в зоне влажности - 3 (сухая) и климатических подрайонах ПВ в соответствии со СНиП 23-01-99*.

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. Установлены физико-химические показатели добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Истинная плотность добавки составляет 2140 кг/м^3 , насыпная плотность – $568,2 \text{ кг/м}^3$. Выявлено, что в составе синтетической добавки преобладает высокое содержание химических элементов O, Si, Na, S и Al – с содержанием соответственно 48,71 %, 19,59%, 16,42 %, 9,67 % и 4,7 %.

2. Разработан состав сухой строительной смеси, применяемый в качестве плиточного клея для выполнения облицовки фасадов и внутренних стен зданий облицовочной плиткой и содержащий цемент, кварцевый песок определенных фракций, пластификатор Кратасол ПФМ, редиспергируемый порошок Neolith P 4400 и в качестве структурообразующей добавки – добавку на основе аморфных алюмосиликатов. Клеевой слой на основе разработанной ССС характеризуется прочностью сцепления на отрыв $R_{adg} > 1,4 \text{ МПа}$, прочностью сцепления при сдвиге $R_{сдв} = 0,92 \text{ МПа}$, когезионной прочностью $R_{ког} = 2,2 \text{ МПа}$, маркой по морозостойкости F50, морозостойкостью контактной зоны $F_{кз} 50$, водопоглощением при капиллярном подсосе $1,43 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$.

3. Выявлено, что введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуру цементного теста приводит к изменениям его реологических свойств: ускорению сроков схватывания и увеличению значения нормальной густоты.

4. Установлено, что добавка на основе аморфных алюмосиликатов обладает влагоудерживающим и структурообразующим эффектом. Прочность при сжатии цементного камня с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения увеличивается в 1,42 – 1,54 раза в зависимости от содержания добавки. Разработана модель кинетики твердения цементного композита в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов,

позволяющая подобрать оптимальное содержание компонентов в рецептуре сухой строительной смеси.

5. Методом РФА и ДТА изучен фазовый состав цементного камня. Установлено, что в цементном композите с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов по сравнению с контрольным образцом (без добавки) образуются следующие минералы: цеолит, гидросиликат кальция-натрия (CaNaHSiO_4), натролит, гидросиликат нитрат натрия, гидроферрит и $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]1.53(\text{OH})_{5,88}$.

6. Установлено, что введение в рецептуру цементного камня добавки на основе аморфных алюмосиликатов в количестве 20 % от массы вяжущего приводит к уменьшению количества свободной извести в цементном камне в 2 раза, увеличению количества химически связанной воды в 1,2 раза по сравнению с контрольным составом (без добавки). Общая и капиллярная пористость образцов с применением аморфных алюмосиликатов в 1,1 и 1,6 раз меньше пористости контрольных образцов, а контракционная и гелевая пористости выше в 1,2 раза.

7. Изучено распределение напряжений в клеевом слое на основе разработанного состава плиточного клея от действия температуры в различных климатических регионах. Установлено, что максимальные значения растягивающих напряжений σ_x , возникающих в клеевом слое на границе с подложкой и на границе с керамической плиткой, наблюдаются в марте. Выявлено, что в центре клеевого шва максимальные значения касательных напряжений наблюдаются в марте (г. Пенза) и в феврале (г. Якутск), а в краевой зоне - в сентябре (г. Пензы) и в октябре (г. Якутск). Для условий г. Пенза максимальные значения касательных напряжений в клеевом слое на границе с подложкой наблюдаются в феврале, а на границе с керамической плиткой – в сентябре. Для условий г. Якутск максимальные значения касательных напряжений в клеевом слое наблюдаются на границе с подложкой и на границе с керамической плиткой в октябре.

8. Определена область применения разработанного состава плиточного клея. Установлено, что клеевой слой на основе разработанной рецептуры сухой клеевой строительной смеси является трещиностойким и стойким к отслаиванию для городов России, находящихся в зоне влажности – 3 (сухая) и климатических подрайонах ПВ в соответствии со СНиП 23-01-99*.

9. Разработаны технологическая схема производства клеевой сухой строительной смеси и проект стандарта организации СТО «Клеевые сухие строительные смеси на цементной основе. Технические условия». Определены технико-экономические показатели производства клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Рекомендации. Проект стандарта организации СТО «Клеевые сухие строительные смеси на цементной основе. Технические условия», а также рецептуру и технологию изготовления клеевых ССС с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов рекомендуется внедрить на предприятиях по производству ССС.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований рекомендуются для использования в учебном процессе для подготовки бакалавров по направлению «Строительство».

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

Список литературы

1. Акжигитова, Э.Р. Сухие строительные смеси с применением добавок на основе смешанослойных глин: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Эльвира Ринатовна Акжигитова. – Пенза, 2013. – 170 с.
2. Большаков Е.А. Сухие смеси для отделочных работ / Е.А. Большаков // Строит. Материалы. – 1997. – №7. – С.8 – 9.
3. Баррер, Р. Гидротермальная химия цеолитов / Р. Баррер; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 420 с.
4. Безбородов, В. А. Сухие смеси в современном строительстве / В. А. Безбородов, В. И. Белан, П. И. Мешков и др. – Новосибирск: НГАСУ. – 1998. – 94 с.
5. Бобрышев, А. А. Отделочные клеевые растворы на основе сухих смесей с использованием комплексных порошковых полимерных добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Бобрышев Александр Анатольевич. – Пенза, 2003. – 22 с.
6. Болтухин, В. П. Цеолитовые породы триасовых отложений Кузбасса / В.П. Болтухин, Г. П. Турченко, А. И. Буров // Докл. АН СССР. – 1980. – Т. 255.– №6. – С. 141–143.
7. Ботка, Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России. Итоги и перспективы / Е.Н. Ботка // СтройПРОФИ, 2014. - № 5 (21). – С. 46–47.
8. Брек, Д.В. Цеолитовые молекулярные сита / Д.В. Брек; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
9. Бушуев, Ю.Г. Цеолиты. Компьютерное моделирование цеолитных материалов / Ю.Г. Бушуев // Иваново: Иван. ГХТУ, 2011. – 104 с.
10. Варков, Р.И. Использование природных цеолитов для повышения пожарной безопасности строительных конструкций и технологического оборудования: дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2002. – 161 с.

11. Вернигорова В.Н. Физико-химические основы образования модифицированных гидросиликатов кальция в композиционных материалах на основе системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ / В.Н. Вернигорова // Пенза: ЦНТИ, 2001. – 394 с.
12. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства) / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников – 3-е изд., перераб. и доп. // М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
13. Вялов, С. С. Реологические основы механики грунтов / С. С. Вялов. – М.: Стройиздат, 1978. – 448 с.
14. Гальперина, Т.Я. Применение цеолитизированных пород Шивыртуйского месторождения в производстве цемента / Т.Я. Гальперина, Л.А. Вертопралова, И.А. Соловьева, Ф. И. Лышов // Цемент, 1992. – № 4. – С. 79–83.
15. Голубев, В.И. Новые продукты на рынке добавок для сухих строительных смесей и бетонов / В.И. Голубев, П.Г. Василик // Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 24–25.
16. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. – М., 2001. – № 4. – С. 8–10.
17. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев– М.: Стройиздат, 1965. – 190 с.
18. ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола (с изм. №1). – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.
19. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 11 с.
20. ГОСТ 310.5-88 Цементы. Метод определения тепловыделения. – М.: Министерство промышленности строительных материалов СССР, 2003 – 6с.
21. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2007. – 7 с.
22. ГОСТ 5382-91 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 58 с.

23. ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
24. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2006. – 26 с.
25. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2015. – 11 с.
26. ГОСТ 9758-2012 Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2014. – 67 с.
27. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
28. ГОСТ 11109-90 Марля бытовая хлопчатобумажная. Общие технические условия. – М.: Гос.ком. СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. – 6 с.
29. ГОСТ 12966-85 Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия (с Изменениями № 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.
30. ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
31. ГОСТ 14759-69 Клеи. Метод определения прочности при сдвиге. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 14с.
32. ГОСТ 18299-72 Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
33. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 1990. – 11 с.
34. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия (EN 206-1:2000;EN 1008:2002). – М.: Стандартиформ, 2012. – 16 с.
35. ГОСТ 23789-79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний (СТ СЭВ 826-77 в части испытаний). – М.: Гос. ком. СССР по делам строительства, 1979. – 16 с.

36. ГОСТ 24104-2001 Весы лабораторные. Общие технические требования. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 8 с.
37. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.
38. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – М.: Стандартинформ, 1982. – 14 с.
39. ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 26 с.
40. ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 22 с.
41. ГОСТ 29234.12-91 Пески формовочные. Метод определения формы зерен песка. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
42. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: ЦППП, 2004. – 26 с.
43. ГОСТ 31356-07 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 2008. – 16 с.
44. ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.
45. ГОСТ 32821-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение истинной плотности и пористости. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
46. Гуляев, Б. Б. Специальные способы литья / Б. Б. Гуляев, А. М. Липницкий, Ф. Д. Оболенцев. – Л.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
47. Данилов, А.М. Математическое моделирование структуры и свойств материалов нового поколения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т.1 (вып. 5). – С. 876–877.
48. Демьянова, В.С. Высокоэффективные сухие смеси различного ассортимента и назначения / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, Н.М. Дубошина //

Строительные материалы и изделия: Материалы XXIX науч.-техн. конф. – 1997. – Ч. 2. – с. 30.

49. Дергунов, С. А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) / С. А. Дергунов, С. А. Орехов. – Оренбург: ОГУ, – 2012. – 106 с.

50. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, В. П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 279 с.

51. Дорогочинский, А. З. Цеолиты и цеолитсодержащие катализаторы / А. З. Дорогочинский, Я. В. Мирский. – Грозный: ЧИ-книжное изд., – 1974. – 168 с.

52. Дорошенко, Ю. М. Процессы структурообразования и свойства цементного камня с полимерными модификаторами / Ю. М. Дорошенко, Ж. И. Шанаев // 15 Szilikatip. esszilikattund. konf. (12-16 jun., 1989): SILICONF R.1. – Budapest, – 1989. – С. 273-276.

53. Дружинкин, С. В. Вопросы высолообразования сухих строительных смесей с цеолитсодержащей породой // Вестник развития науки и образования. – 2007. – №2. – С. 3-6.

54. Дружинкин, С. В. Сухие строительные смеси на основе цеолитсодержащих пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Дружинкин Сергей Валентинович. – Красноярск, 2010. – 169 с.

55. Единая торговая система: Сухие строительные смеси, бетоны, растворы, смесевые композиции [Электронный ресурс]: Группа компаний «Единая Торговая Система» [сайт] – Режим доступа: <http://utsrus.com/documents/articles/mix.pdf>.

56. Елисеева, И.С. Становление и развитие производства синтетических цеолитов: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.13, 07.00.10 / Елисеева Ирина Сергеевна. – Уфа, 2003. – 153 с.

57. Еремин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ; ИКЦ "Академкнига", 2007. – 459 с.

58. Еферица, Т.В. Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING / Т.В. Еферица, К.В. Хиллов //Строительные материалы. Бизнес. – 2005. – № 8. – С.10-11.

59. Жегера, К.В. Методика оценки прочности сцепления растворного слоя на основе сухих строительных смесей / К.В. Жегера, И.С. Пышкина, А.Д. Рыжов, А.А. Живаев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3. – С. 64–67.
60. Жданов, С.П. Химия цеолитов / С.П. Жданов, Е.Н. Егоров – Л.: Наука, 1968. – 158 с.
61. Жданов, С.П. Синтетические цеолиты: кристаллизация, структурно-химическое модифицирование и адсорбционные свойства / С.П. Жданов, С.С. Хвощев, Н.Н. Самулевич – М.: Химия, – 1981. – 264 с.
62. Запевалова, М.В. Строительные материалы и услуги. Обзор рынка сухих строительных смесей, – 2011. – № 6. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/articles/strm5.htm>
63. Зозуля, П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси для XXI века: Технологии и бизнес: Сборник тезисов докладов III Международной конференции BaltiMix, СПб. – 2003. – С. 12–13.
64. Зоткин, А.Г. Применение наполнителей в строительных смесях / Сухие строительные смеси. – 2009. – № 3. – С. 66–68.
65. Ильинский, В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий) / В.М. Ильинский. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
66. Ильиченко, О.Т. Расчеты теплового состояния конструкций. / О.Т. Ильиченко. – Харьков: Вища школа, 1979. – 168 с.
67. Калашников, В.И. Глиношлаковые строительные материалы / В.И. Калашников, В.Ю. Нестеров, В.Л. Хвастунов, и др. // Пенза: ПГАСА, – 2000. – 207 с.
68. Каталог продукции Unis. 2015. – 29 с. [Электронный ресурс]: UNIS [сайт] – Режим доступа: <http://unistrom.ru/catalog/plitochnye-klei/>.

69. Каталог продукции MECELLOSE® 2015. – 1 с. [Электронный ресурс]: ЗАО «ЕвроХим-1» [сайт] – Режим доступа: <http://chem.eurohim.ru/catalog/DryMortarAdditives/Group30/sGroup1009/ProductList.html>
70. Карапузов, Е.К. Сухие строительные смеси / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд. – К.: Техника, 2000. – 226 с.
71. Карякина, М. И. Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытий / М. И. Карякина. – М.: Химия, 1970. – 215 с.
72. Киреев, В.А. Курс химии. Ч.2. Специальная /В.А. Киреев, К.С. Ватулян, П.Р. Таубеи др. – М.: Высшая школа, 1975. – 240 с.
73. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси / В.В. Козлов. – М.: АСВ, 2000. – 96с.
74. Кронштедт, А. Ф. Опыт классификации царства минералов / А.Ф. Кронштедт; пер. с нем. с прибавлениями Г. Бринниха. – СПб.: С.-Петербург, 1776. – 372 с.
75. Крупенникова, А.Ю. Адсорбенты, их получение, свойства и применение / А.Ю. Крупенникова, Г.В. Цицишвили, М.Н. Бурджанадзе и др. – Л.: Наука, 1978. – 44 с.
76. Кубасов, А. А. Цеолиты – кипящие камни / А. А. Кубасов // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 7. – С. 70 – 76.
77. Кузнецова, Т. В. Получение и свойства цеолитосодержащих цементов / Т. В. Кузнецова, Е. Н. Потапова, А. С. Горелик, М. В. Сидорова // Цемент, 1989. – №7. – С. 22–23.
78. Ларионова, З. М. Формирование структуры цементного камня и бетона / З.М. Ларионова. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 161 с.
79. Лист технических характеристик BERMOCOLL CCA 425 [Электронный ресурс]: Akzo Nobel Functional chemicals [сайт] – Режим доступа: <http://deltachem.ru/d/401471/d/cca-425.pdf>
80. Логанина, В.И. Оценка напряженного состояния отделочного слоя на основе состава с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И.

Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Арискин, З.Н. Родионова, М.А. Садовникова// Академический вестник УралНИИпроект РААСН.– 2014.– № 2. – С. 71.

81. Логанина, В.И. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Л.В. Макарова, М.А. Садовникова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 4 (652). – С. 37 – 42.

82. Логанина, В.И. Добавка на основе синтезированных алюмосиликатов для цементных систем / В.И. Логанина, И.В. Жерновский, М.А. Садовникова, К.В. Жегера // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т.5. – № 6 (65). – С. 8 –11.

83. Логанина, В.И. Формирование прочности цементной композиции в присутствии синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15(№2). – С. 43 – 46.

84. Логанина, В.И. Оценка напряженного состояния клеевого слоя на основе сухих строительных смесей с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, М.В. Арискин, О.В. Карпова, К.В. Жегера// Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №3 (50). – С. 163 – 166.

85. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости отделочного слоя на основе сухой клеевой смеси с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, М.В. Арискин, О.В. Карпова, К.В. Жегера // Строительные материалы. – 2015. – № 10 – С. 86.

86. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости отделочного штукатурного слоя на основе сухой строительной смеси / В.И. Логанина, М.В. Арискин, Э.Р. Акжигитова, Н.А. Петухова // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 1. – С. 45-48.

87. Лохова, Т. Д. Строение, свойства и применение природных цеолитов: обзор, информ / Т. Д. Лохова, Н. П. Бычкова. – М.: НИИТЭХИИ, 1984. – 48 с.

88. Макаревич, М.С. Гранулометрический состав заполнителя как технологическое средство управления качеством сухих штукатурных смесей /

М.С. Макаревич // Композиционные строительные материалы. Теория и практика. – Пенза: материалы НТК, 2004. – С.178 – 180.

89. Миначев, Х.М. Каталитические свойства сверхвысоко кремнеземных цеолитов в превращениях некоторых углеводов / Х.М. Миначев, В.И. Таранин, Т.А. Исакова, И.Л. Миронова, А. Липкинд // Известия АН СССР. Сер. Химическая, 1986. – №6. – С. 1227 – 1231.

90. Мирский, Я.В. Механизм и кинетика образования цеолитов / Я.В. Мирский, Н.Ф. Мегедь, А.В. Шумовский и др. //Адсорбция в микропорах. – М: Наука, 1983. – С. 177.

91. Мирский, Я.В. Новые адсорбенты – молекулярные сита / Я.В. Мирский, М.Г. Митрофанов, А.З. Дорогочинский.– Грозный: Чечено-ингушск. книжн. изд., 1964. – 385 с.

92. Мирский, Я.В. Новые разработки в области синтеза и изучения цеолитов / Я.В. Мирский, Н.Ф. Мегедь, Л.В. Будовская, А.В. Шумовский и др. // Адсорбенты: их получение, свойства и применение. – М.: Наука, 1985. – С. 72.

93. Народов, В.В. Расширяющейся тампонажный материал / В.В. Народов // Тез.докл. Всеросс. конф. «Актуальные проблемы строительной отрасли» (65-я науч.-техн. конф. НГАСУ (Сибстрин)). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. – С. 62.

94. Николаева, А.А. Маркетинговые исследования рынка строительных материалов, конструкций и изделий в Республике Татарстан / А. А. Николаева // Молодой ученый. – 2014. – №15. – С. 190 – 192.

95. Обзор рынка синтетических цеолитов в СНГ Издание 3-е, дополненное и переработанное [Электронный ресурс]: INFOMINE ResearchGroup [сайт] – Режим доступа: www.infomine.ru

96. Овчаренко, Г. И. Цеолиты в строительных материалах / Г. И. Овчаренко, В. Л. Свиридов, Л. К.Казанцева. – Барнаул: АлтГТУ, 2000. – 320 с.

97. Пат. 1811143 Российская федерация, С01В 33/34 Способ непрерывной гидротермальной кристаллизации цеолита / Л.С. Нам (RU), А.В.Шумовский (RU),

К.О. Дмитриев (RU) и др. патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара – 6 с.

98. Пат. 204991 Российская федерация, C01B39/02, B01J20/10 Способ получения гранулированных синтетических цеолитов / В. Я. Николина (RU), К.Т. Подорван (RU), В.С. Виноградова (RU), Л.С. Кофман (RU) патентообладатель Государственный проектный и научно-исследовательский институт промышленности синтетического каучука – 2 с.

99. Пат. 2056354 Российская федерация, C01B39/00 Способ получения цеолита / С.В. Дударев (RU), К.Г. Ионе (RU), А.В. Токтарев (RU) патентообладатель Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН – 3 с.

100. Пат. 2083493 Российская федерация, C01B39/02 Способ получения цеолита / Л.С. Нам (RU), А.В. Шумовский (RU), С.А. Малютин (RU) патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара – 4с.

101. Пат. 2106303 Российская федерация, C01B33/26 Способ получения аморфного алюмосиликата / А.А. Меликян (AM), С.А. Меликян (AM), А.А. Меликян (AM), Г.Г. Бабаян (AM), В.М. Сычев (AM) владелец и патентообладатель научно-производственное объединение «Камень и силикат» – 5 с.

102. Пат. 2132545 Российская федерация, G01N3/24, E02D1/00 Сдвиговый прибор / Г.Г. Болдырев (RU), О.В. Хрянина (RU) патентообладатель Пензенский государственный архитектурно-строительный институт – 4 с. 103. Пат. 2182114 Российская федерация, C01B39/02, C01B39/04, B01J19/18Способ синтеза цеолита при перемешивании среды до гомогенного состояния, устройство и применение / Д. Англерио (FR), Ж. Буске (FR), Ф. ДиРенцо(FR), Ж. Клен (FR), Ф. Шульц (FR), К. Бебон (FR), Д. Кольсон (FR) патентообладатель: ЕЛФ АКИТЭН (FR) – 15 с.

104. Пат. 2203220 Российская федерация, C01B39/14, C01B39/22 Способ получения гранулированного цеолитного адсорбента структуры А и X высокой фазовой чистоты/ В.А. Глухов (RU), А.В. Глухов (RU) патентообладатель: – Закрытое акционерное общество Холдинговая компания "ЮОСТ" – 5 с.

105. Пат. 2218303, Российская федерация, C01B39/14 тип А Способ получения синтетического цеолита типа А / С.Ф. Беднов (RU) патентообладатель: Открытое акционерное общество "Строительные технологии – XXI век" – 5 с.

106. Пат. 2283279 Российская федерация, C01B39/14 тип А, C01B39/22 типа Х. Способ получения гранулированных синтетических цеолитов / Х.Х Рахимов (RU), Б.И. Кутепов (RU), М.Н. Рогов (RU), М.Х. Ишмияров (RU) и др., патентообладатель Открытое акционерное общество "Салаватнефтеоргсинтез" (RU) – 7 с.

107. Пат. 2312063 Российская федерация, C01B39/48 Синтетический пористый кристаллический материал и способ его получения/ В.И. Ерофеев (RU), Л.М. Коваль (RU), патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Томскнефтехим» (ООО «Томскнефтехим») – 9 с.

108. Пат. 2313488 Российская федерация, C01B39/48 Синтетический цеолит и способ его получения / В.И. Ерофеев (RU), Л.М. Коваль (RU), патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Томскнефтехим» (ООО «Томскнефтехим») – 10 с.

109. Пат. 2452688 Российская федерация, C01B39/16, C01B39/20 Способ получения цеолита NaA или NaX / Л.К. Казанцева (RU), патентообладатель учреждение Российской академии наук Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева – 4 с.

110. Пат. RU 2463108 США, Композиция аморфного алюмосиликата и способ получения и использования такой композиции /К.Г. Мишел(US), Р.К. Аккерман (US), Д.Э. Смигал (US), Й.А. Ван Вен(NL), патентообладатель Шелл Интернешнл Рисерч Маатсхаппий Б.В. (NL) – 7 с.

111. Пат. 6872685 США, C01B39 Композиция аморфного алюмосиликата и способ получения и использования такой композиции / Р.К. Аккерман (US), К.Г. Мишел (US), Д.Э. Смигал (US), Й.А. Ван Вен (NL), патентообладатель Шелл Интернешнл Рисерч Маатсхаппий Б.В. (NL) – 6 с.

112. Песцов, В. И. Современное состояние и перспективы развития производства сухих строительных смесей в России / В. И. Песцов, Э. Л. Большаков // Строительные материалы. – 1999. – № 3. – С. 3 – 5.

113. Пивинский, Ю. Е. Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров. Избранные труды / Ю. Е. Пивинский. – СПб.: Стройиздат СПб., 2003. – Т.1. – 544 с.

114. Пигузова, Л.И. Высококремнеземные цеолиты и их применение в нефтепереработке и нефтехимии / Л.И. Пигузова. – М.: Химия, 1974. – 176 с.

115. Полюдова, С. В. Цементно-цеолитовые композиции / С. В. Полюдова, В. И. Коломец, В. И. Соломатов // Известия вузов. Строительство. – 1995. – № 3. – С. 41 – 45.

116. Плиточный клей «Стандарт» марки Старатели [Электронный ресурс]: Старатели® [сайт] – Режим доступа: <http://klej.starатели.ru/catalog/201-201/>

117. Плиточный клей КНАУФ – Флизен марки Knauf [Электронный ресурс]: Knauf® сервис [сайт] – Режим доступа: http://www.knauf.ru/products/materials/product.wbp?root_id=4b052579-1c07-4181-8048-f95b6c72be93

118. Рабо, Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах / Дж. Рабо; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – Т. 1. – 506 с.

119. Рабо Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах/ Дж. Рабо; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – Т. 2. – 422 с.

120. Раильченко, Ю. ССС: самый скорорастущий сегмент / Ю. Раильченко // Строительные материалы и услуги. – 2010. – № 7 (163). – С. 10 – 12.

121. Ребиндер, П. А. О методе погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств пластично-вязких тел / П. А. Ребиндер, Н. А. Семенов // Доклады Академии Наук СССР. – 1949. – Т. LXIV. – № 6. – С. 835-838.

122. Рынок сухих строительных смесей. Аналитическая информация за период: 2013г., прогноз до 2016 г. [Электронный ресурс]: Дастер Клуб Ford

Ecosport [сайт] – Режимдоступа: <http://dwg.ru/rsc/index.php?parent=rubricator&child=getresearch&id=21589>

123. Свиридов, В. Л. Свойства цеолитсодержащих смешанных вяжущих и бетонов на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Свиридов Василий Лаврентьевич. – Новосибирск, 1988. – 23 с.

124. Свиридов, В. Л. Строительные материалы и изделия на основе природных цеолитов Сибири и Дальнего Востока: дис. ... док.техн. наук: 05.23.05 / Свиридов Василий Лаврентьевич. – Барнаул, 2000. – 333 с.

125. Селяев, В.П. Влияние структуры цеолитсодержащих композитов на долговечность / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы V акад. чтений. – Воронеж, 1999. – С. 394-398.

126. Селяев, В.П. Оптимизация составов цементных композиций, наполненных цеолитами / В. П. Селяев, А. К. Осипов, Л. И. Куприяшкина, С. Н. Волкова, Н. А. Епифанова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1999. – № 4. – С. 36–39.

127. Селяев, В.П. Свойства цементных композиций, наполненных цеолитсодержащими породами / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, А. А. Болдырев // Архитектурно-строительное материаловедение на рубеже веков: материалы Междунар. интернет-конф. – 2002. – С. 177– 179.

128. Селяев, В.П. Экологически безопасные теплоизоляционные материалы на основе диатомитовых и цеолитсодержащих пород / В. П. Селяев, И. А. Митрошин // Инновационные предложения Российской академии архитектуры и строительных наук. –2008. – С. 140.

129. Сендеров, Э. Э. Цеолиты, их синтез и условия образования в природе / Э. Э. Сендеров, Н. И. Хитаров. – М.: Наука, 1970. – 395 с.

130. Смиренская, В.Н. Цеолитсодержащие вяжущие повышенной водостойкости и изделия на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / Смиренская Вера Николаевна. – Томск, 1998. – 23 с.

131. Строительные правила: СП 131.13330.2012. Строительная климатология: актуализированная версия СНиП 23-01-99* // М.: Росстандарт, 2012. – 113с.

132. Технические условия ТУ 2493-009-13613997-2011. Добавка Sika ViscoCrete 3180. [Электронный ресурс]: Добавки в бетон. Технический каталог. Building Trust Sika® 3-е издание, 2015. – 119 с. [сайт] – Режим доступа: <http://rus.sika.com/content/russia/main/ru/solutionsproducts/02/02a001/jcrcontent/parRight/download/file.res/Concrete%20catalogue.pdf>

133. Технические условия ТУ 5745-011-58239148-04. Клей для крепления плитки. Технические условия // М.: ООО "ХенкельБаутехник", 2004 – 28с.

134. Трунов, П.В. Композиционные вяжущие с использованием вулканогенно-осадочных пород камчатки и мелкозернистые бетоны на их основе: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Трунов Павел Викторович. – Белгород, 2014. – 161 с.

135. Фахртдинова, О.А. Исследование свойств модифицированного шивыртуйского цеолита /О.А. Фахртдинова, О.Б.Назаренко, Д.В. Мартемьянов, М.В. Путенпуракалчира // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции, Томск, 2 – 4 Декабря 2014. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014 – Т. 2 – С. 114–116.

136. Харди, Г. Крепление плиток клеями, модифицированными редиспергируемыми порошками / Г. Харди // Сборник докладов 2-й Международной научно-технической конференции Современные технологии сухих смесей в строительстве. – СПб, 2000. – С. 70–77.

137. Цицишвили, Г. В. Природные цеолиты / Г. В. Цицишвили, Т.Г. Андроникашвили, Г.Н. Киров и др. – М.: Химия, 1985. – 222 с.

138. Шилина, А.С. Сорбционная очистка природных и промышленных вод от катионов тяжелых металлов и радионуклидов новым типом высокотемпературного алюмосиликатного адсорбента / А.С. Шилина, В.К. Милинчук // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10.(№2). – С. 237–245.

139. Aiello, R. Molecular sieve zeolites / R. Aiello, C. Collela, R. Sersale // *Advances Chem. Ser.* – Washington. 1971. – № 101. – p. 51.
140. Andrejkovicova, S. Lime mortars with incorporation of sepiolite and synthetic zeolite pellets / S. Andrejkovicova, L. Ferraz, A.L. Velosa, A.S. Silva and F.R. Air // *ActaGeodyn. Geomater.*– 2012. –№9(1/(165)). – Pp. 79–91.
141. Barrer, R.M. *Interference Science* / R.M. Barrer, J. Coll. – 1966. – V.21. – № 4.– p. 415.
142. Barrer, R.M. *J. Chem. Soc.* / R.M. Barrer, J.F. Cole, H. Sticher // *Inorg. Phys. Theoret.*– 1968. – № 10. – p. 2475.
143. Broussard, L. *J. Am. Chem. Soc.* / L.Broussard, Shoemaker, D.P.–1960. – V. 82. – № 5.– p. 1041.
144. DIN EN 1308-2007 Растворы и клеи для керамической плитки. Определение сползания. Немецкое издание; пер. с нем. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10с.
145. DIN EN 1346-2007 Растворы и клеи для керамической плитки. Определение открытого времени. Немецкое издание; пер. с нем. – М.: Стандартинформ, 2010 – 9с.
146. DIN EN 1348:2007 Растворы и клеи для керамической плитки. Определение прочности сцепления с основанием цементосодержащих растворов для внутренних и наружных работ. Немецкое издание; пер. с нем. – М.: Стандартинформ, 2010 – 10с.
147. DIN EN 12004 (2012 - 09) Растворы и клеи для керамической плитки. Требования, оценка соответствия, классификация и обозначение; пер. с нем. – М.: Стандартинформ, 2012. – 29с.
148. Jenni, A. Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars / A. Jenni, M. Holzer, M. Zurbriggen, M. Herwegh // *Cement and Concrete Research.* – 2005. – № 35(1).– Pp. 35-50.
149. Kaeding, W.W. Shape-selective reactions with zeolite catalysts. II. Selective disproportionation of toluene to produce benzene and p-xylene / W.W. Kaeding, C.-C. Chu, L.B. Young, S.A. Butter // *J. Catal.* – 1981. – V. 69. – № 2.– Pp. 392-398.

150. Kakuta, S. Evaluation of Viscosity of Fresh Concret / S. Kakuta, M. Fujii, T. Akashi // Rev.33 and Gen. Meet, Cem. Assos. Jap.Techn. Sess. – Tokyo, 1979. – Pp. 129-131.

151. Kjellsen, K.O. Infiense of natural mineral in the filler fraction on hydration and properties of mortars / K.O. Kjellsen, B. Lagerblad // Swedish Cement and Concrete Research Institut. – Stockholm, 1995. – P. 41.

152. Lechert, H., Nucleation Gels for the Synthesis of Faujasite Type Zeolites / H. Lechert, M. Staelin, U. Wrobel, R. Schimmel // Zeolites and Related Microporous Materials. Studies in Surface Science and Catalysis. – 1994. – V. 84. – Pp. 147-154.

153. Legrand, C. L'état flocculent des Pastes de Ciment avant Prise et Ses Consequences sur le Comportement Rheologique / C. Legrand // Can. Groupe franc, rheol., 1981, num. spec: Comport. Rheol. et struct, mater. 15-eme Collog. Annu. – Paris, 1981. – Pp. 129 – 136.

154. Mumpton, F. A. La rocamagica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry / F.A. Mumpton – PNAS, 1999. – V. 96. – №. 7. – Pp. 3463 – 3470, doi:10.1073/pnas.96.7.3463

155. Maranhro F.L., The influence of moisture on the deformability of cement polymer adhesive mortar / F.L. Maranhro, K. Loh, V.M. John // Construction and Building Materials. – 2011. – № 25(6). – Pp. 2948 – 2954.

156. Miata, I., Kiguo Kagaku Zasshi / I. Miata, S.Okayaki. – 1970. – V.73. – P.1940.

157. Gleissle, W. Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere / W. Gleissle, H.M. Laun, M. Pahl // VDI – Gesellschaft Kunststofftechnik. – Dusseldorf, 1990.

158. Reschke, Th. Einfiub der Granulometrie der Feinstoffe auf die Festigkeits – und Gefuge entwicklung Von Mortel und Beton. / Th. Reschke, G. Thielen // 14 Internationale Baustofftagung IBAUSIL. – Weimar, 2000. – Pp. 10289 – 10299.

159. Ross, H. Praxis-Hand buch Putz / H. Ross, F. Stahl // Rudolf Muller. – Koln, 2006. – 300 p.

160. Robson, H.E. Molecular Sieves – II, Advances Chem. Ser., Symposium Ser. / H.E. Robson, K.L. Riley, D.D. Manes // Washington, 1977. – № 40. – p.233.

161. Schneider, R. ReinforcedMasonry Design / R. Schneider, W.L. Diskey // New Jersey, 1987. – 682 p.

162. Sotelo, J.L. Toluene alkylation with methanol on ZSM-5 zeolite: alteration of catalytic, adsorption-diffusion and acidic properties by zeolite modification with different agents / J.L. Sotelo, M.A. Uguina, D.P. Serrano // An. Quim, 1994. – V. 90. – №2. – p. 87.

163. Stark, U. Neue Methoden zur Messung der Korngröße und Kornform von Mikro bis Marko/ U. Stark, M. Reinold, A. Muller // 15 Internationale Baustoff tagung IBAUSIL. – Weimar, 2003. – p. 1–1369 – 1–1380.

164. Sudo, T., Geochim. Cosmochim. Acta / T. Sudo, M.Matsuoki. –1959. – V. 17. – № 1. – p. 1.

165. Taramasso, M. Proceedings of the 5th International Conference on Zeolites (Ed.L.V.C.Rees). / M. Taramasso, G. Perego, B. Notari // Heyden, London, 1980. – p. 40.

166. Yiqing, F. Effect of aqueous boric acid (H_3B_03) treatment on catalytic performance of HZSM-5 zeolite catalysts / F. Yiqing, C.Lianzhang // Shiyou Xuebao, Shiyou Jiagong, 1991. – V. 7. – № 2. – p. 44.

167. Zhdanow, S. P. In: Molecular sieve zeolites / S.P. Zhdanow // Washington, 1971, Pp. 20—43.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
Ремонтно-строительное управление «Спецработ»**

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

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

Тел. факс: (8412) 32-28-21, 32-28-22.

ИНН 5835025043, КПП 583501001, Р/с 40702810948000110814 Отделение № 8624

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

« 2 » февраля 2016 г.

АКТ

опытно-производственного апробирования клеевых сухих строительных смесей с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО РСУ «Спецработ» Пшестилевский В.А., начальник ПТО ООО РСУ «Спецработ» Алешина Т.А., профессор ПГУАС Логанина В.И., аспирант ПГУАС Жегера К.В., составили настоящий акт о том, что нами было произведено опытно-производственное апробирование клеевых сухих строительных смесей, разработанных на кафедре «Управление качеством и технологии строительного производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» Логаниной В.И., Жегерой К.В.. Состав клеевой сухой строительной смеси включает: портландцемент, минеральный наполнитель (Песок Ухтинского месторождения фракций 0,65мм – 0,315мм и 0,315мм – 0,16мм в соотношении 80% : 20%), добавка на основе аморфных алюмосиликатов, суперпластификатор Кратасол ПФМ, редиспергируемый порошок Neolith P 4400.

Плиточный клей готовили перемешиванием клеевой сухой строительной смеси с водой в барабане лопастной мешалки.

Применяя полученный плиточный клей были облицованы керамической плиткой поверхности железобетонных стеновых панелей зданий складского помещения. Перед нанесением плиточного клея поверхность очищалась от пыли и грязи. Состав наносился ручным способом. При нанесении плиточного клея отмечалась его хорошая удобоукладываемость. Время коррекции керамической плитки составило 20 мин. Расход смеси составил 5,8 кг/м² при нанесении толщиной 5 мм. Общая площадь отделанной поверхности составила 610 м².

При визуальном осмотре отслаивания плиточного клея и сползания керамической плитки не зафиксировано.

Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»

Начальник ПТО
ООО РСУ «Спецработ»

Профессор ПГУАС

Аспирант ПГУАС



[Signature] В.А. Пшестилевский

[Signature] Т.А. Алешина

[Signature] В.И. Логанина

[Signature] К.В. Жегера

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

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»

В. А. Пшестилевский



«16» января 2016 года

**КЛЕЕВЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ
НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ
Технические условия**

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184 – ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандартов организации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций».

Сведения о стандарте организации

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

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Назначение и область применения.....	4
2 Нормативные ссылки	4
3 Термины и определения, обозначения и сокращения.....	7
4 Общие положения	8
5 Технические требования	9
5.1 Требования к материалам.....	9
5.2 Характеристики смеси.....	9
6 Характеристика исходного сырья и материалов	11
7 Технология изготовления клеевой сухой строительной смеси.....	13
7.1 Рецептúra клеевой сухой строительной смеси на цементной основе... 13	
7.2 Технология изготовления добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	13
7.3 Технология изготовления сухой клеевой строительной смеси на цементной основе	14
8 Контроль производства.....	15
9 Методы испытаний.....	16
10 Правила приемки.....	20
11 Требования безопасности и охраны окружающей среды.....	22
12 Упаковка.....	23
13 Маркировка.....	24
14 Транспортирование и хранение.....	24
15 Гарантии изготовителя.....	25
Приложение А. Методика определения сдвига клеевой смеси.....	26
Приложение Б. Технология производства клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	28
Ключевые слова.....	29

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**КЛЕЕВЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
СМЕСИ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ**
Технические условия

Введён
впервые

Дата введения

1 Назначение и область применения

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

Стандарт распространяется на клеевые составы, применяемые в качестве плиточного клея для отделки стен зданий и сооружений облицовочной плиткой.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом регламенте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ГОСТ 310.2-76* Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема;

ГОСТ 5382-91 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа;

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний;

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний;

ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия;

ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия;

ГОСТ 10354- 82 Пленка полиэтиленовая. Технические условия;

ГОСТ 12966-85 Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия;

ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов;

ГОСТ 18958-71 Стекло натриевое жидкое. Технические условия;

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

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

ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести;

ГОСТ 24596.5-81 Фосфаты кормовые. Методы определения рН раствора или суспензии;

ГОСТ 25951-83 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия;

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

ГОСТ 30459–2003* Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности;

ГОСТ 30515 – 2013 Цементы. Общие технические условия;

ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия;

ГОСТ 31356 – 2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний;

ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия;

ГОСТ Р 56387-2015 Смеси сухие строительные клеевые на цементном вяжущем. Технические условия;

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

DIN EN 1308-2007 Растворы и клеи для керамической плитки. Определение сползания. Немецкое издание;

DIN EN 1348-2007 Растворы и клеи для керамической плитки. Определение прочности сцепления с основанием цементосодержащих растворов для внутренних и наружных работ. Немецкое издание;

DIN EN 12004-2007 Растворы и клеи для керамической плитки. Требования, оценка соответствия, классификация и обозначение. Немецкое издание.

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен

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

3 Термины и определения, обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие термины, обозначения и сокращения:

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

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

3.3 время коррекции: Время возможной корректировки положения плитки.

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

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

3.6 зубчатый шпатель: Зубчатый инструмент, позволяющий создавать на основании слой растворной смеси в виде борозд одинаковой толщины.

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

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

3.9 наибольшая крупность зерна заполнителей: Максимальный размер частиц заполнителя, входящего в состав сухой смеси и определяемый лабораторно-аналитическим методом.

3.10 прочность клеевого соединения (адгезия): Разрушающее напряжение, при котором происходит отрыв облицовочной плитки от основания.

3.11 прочность при сжатии: Величина напряжения, вызывающая разрушение образца при одноосном сжатии.

3.12 раствор: Искусственный камневидный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущего, мелкого заполнителя и необходимых добавок.

3.13 растворная смесь: Смесь тщательно перемешанных вяжущего, мелкого заполнителя и необходимых добавок, готовая к применению.

3.14 смеси сухие строительные: Смеси сухих компонентов, содержащие вяжущие, наполнители, заполнители, модифицирующие добавки и изготовленные в заводских условиях.

3.15 сползание: Смещение под действием силы тяжести плиток или плит, уложенных на обработанный зубчатым шпателем слой растворной смеси, нанесенной на вертикальную или наклонную поверхность.

4 Общие положения

4.1 Клеевой состав представляет собой сухую строительную смесь, состоящую из портландцемента, кварцевого песка, добавки на основе аморфных алюмосиликатов, пластификатора, редиспергируемого порошка и воды.

4.2 Клеевой состав наносят на поверхность шпателем, а затем разравнивают зубчатым шпателем с размером зубьев 60 мм × 60 мм × 60 мм или 100 мм × 100 мм × 100 мм.

5 Технические требования

Клеевые сухие строительные смеси на цементной основе должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

5.1 Требования к материалам

5.1.1 Для приготовления смесей следует применять материалы:

- портландцемент по ГОСТ 31108-2003;
- кварцевый песок фракций: 0,63-0,315 и 0,315-0,14 по ГОСТ 8736;
- добавка пластифицирующая Кратасол ПФМ;
- редиспергируемый порошок Neolith P 4400;
- добавка модифицирующая на основе аморфных алюмосиликатов.

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

5.1.3 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ($A_{эфф}$) материалов, а также готовых смесей должна соответствовать требованиям ГОСТ 30108 для 1 класса и быть не более 370 Бк/кг.

5.1.4 Химические добавки не должны выделять в окружающую среду вредные вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). Добавки вводят в сухие смеси в виде водорастворимого порошка или гранул.

5.2 Характеристики смеси

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

5.2.2 Основные технические характеристики клеевых сухих строительных смесей на цементной основе с применением в рецептуре синтетической добавки должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Таблица 1 - Нормы и требования, предъявляемые к клеевым сухим строительным смесям на цементной основе

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1	Насыпная плотность сухой смеси	Не менее 1350 кг/м ³	ГОСТ 8735
2	Влажность	Не более 0,30%	ГОСТ 31357
3	Наибольшая крупность зерен заполнителя	Не более 0,63	ГОСТ 31357
4	Содержание зерен наибольшей крупности	Остаток на сите не более 0,50%	ГОСТ 31357

5.2.3 Основные технические характеристики строительных смесей на основе клеевых смесей с применением в рецептуре синтетической добавки должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Нормы и требования, предъявляемые к строительным смесям, изготовленным на основе клеевой ССС с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов и покрытий на их основе

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1	2	3	4
1	Время коррекции	Не менее 10 мин	DIN EN 12004
2	Сползание плитки	Не более 0,5 %	DIN EN 1308
3	Прочность сцепления покрытия после выдерживания в воздушно-сухой среде	Не менее 0,5 МПа	ГОСТ 31356
4	Прочность сцепления покрытия	Не менее 0,5 МПа	DIN EN 1348

1	2	3	4
	после выдерживания в водной среде		
5	Прочность сцепления покрытия после 50 циклов замораживания-оттаивания влагонасыщенного образца	Не менее 0,5 МПа	DIN EN 1348
6	Прочность сцепления на сдвиг	Не менее 0,5 МПа	Приложение А
7	Морозостойкость плиточного клея	Не менее F50	ГОСТ 31356
8	Морозостойкость контактной зоны	Не менее $F_{кз}50$	ГОСТ 31356
9	Водопоглощение при капиллярном подсосе	Не более $2,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$	ГОСТ 31357
10	Водоудерживающая способность	Не менее 97 %	ГОСТ 5802
11	Деформация усадки	Не более 0,4 мм/м	ГОСТ 24544

При необходимости могут быть установлены дополнительные показатели по ГОСТ 4.212, ГОСТ 4.233 или условиям контракта.

5.2.4 Устойчивость к сползанию растворных смесей должна сохраняться до толщины отделочного слоя, составляющего 5 мм - 15 мм.

5.2.5 Нормируемые показатели качества затвердевших растворов должны быть обеспечены в проектном возрасте в условиях естественного твердения при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 50 % - 60 %.

6 Характеристика исходного сырья и материалов

Качество исходного сырья для производства клеевых смесей с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов должно соответствовать предъявляемым требованиям согласно таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика исходного сырья

№ п/п	Наименование сырья	Нормативный документ	Показатели, необходимые для приемки партии перед использованием
1	Портландцемент	ГОСТ 31108; ГОСТ 310.4; ГОСТ 5382	-предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе; -сроки схватывания; -химический состав клинкера.
2	Алюминия сульфат технический	ГОСТ 12966 с изм. 1,2	-массовая доля оксида алюминия.
3	Жидкое стекло натриевое	ГОСТ 18958	- модуль жидкого стекла; -плотность.
4	Песок «Ухтинского» месторождения	ГОСТ 8736	- химический состав; - гранулометрический состав; - насыпная плотность; - содержание пылевидных и глинистых частиц.
5	Пластификатор Кратасол ПФМ	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	-массовая доля воды; -показатель активности водородных ионов 2,5 %-ного водного раствора
6	Редиспергируемый порошок Neolith P 4400	Единый справочник и корпоративный классификатор МТР МХК «Еврохим»	-зольность; -плотность; -содержание твердых частиц.
7	Вода	ГОСТ 23732	-водородный показатель pH.

7 Технология изготовления клеевой сухой строительной смеси

7.1 Рецепт клеевой сухой строительной смеси на цементной основе содержит такие компоненты как: портландцемент, песок, пластификатор Кратасол ПФМ, релдиспергируемый порошок Neolith P 4400 и добавку на основе аморфных алюмосиликатов в массовых долях, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Рецепт клеевой сухой строительной смеси на цементной основе

№ п/п	Наименование компонентов	Состав, массовая доля, %
1.	Портландцемент	31,05
2.	Песок (молотый $S_{уд}=20 \text{ м}^2/\text{кг}$) с фракциями:	
	0,63-0,315	49,68
	0,315-0,16	12,42
3.	Пластификатор Кратасол ПФМ	6,21
4.	Релдиспергируемый порошок Neolith P 4400	0,32
5.	Добавка на основе аморфных алюмосиликатов	0,32
ИТОГО:		100,00

7.2 Технология изготовления добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

7.2.1 Синтетическую добавку на основе аморфных алюмосиликатов получают путем тщательного перемешивания сульфата алюминия и жидкого стекла.

7.2.2 В 15%-ый раствор сульфата алюминия тонкой струей добавляется натриевое жидкое стекло с модулем 2,7 – 2,9 и тщательно перемешивается, после чего образуется осадок прозрачно-белого цвета.

7.2.3 Полученный осадок отфильтровывается через фильтры «Синяя лента».

7.2.4 Далее осадок промывается дистиллированной водой до нейтрального значения pH среды.

7.2.5 Высушивание добавки проходит при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

7.2.6 Полученную смесь измельчают до удельной поверхности $S_{\text{уд}} = (86.5 \pm 3.5) \text{ м}^2/\text{г}$.

7.3 Технология изготовления клеевой сухой строительной смеси на цементной основе.

7.3.1 Портландцемент, установленной маркой по прочности, из силосов поступает в смеситель.

7.3.2 Дозирование и смешивание песка определенных фракций в заданной пропорции.

7.3.3 Процесс приготовления 15%-ого раствора сульфата алюминия заключается в совместном смешивании отдозированных воды и сульфата алюминия технического в смесительном модуле.

7.3.4 Добавка на основе аморфных алюмосиликатов получается путем перемешивания отдозированных жидкого стекла и раствора сульфата алюминия, фильтрации полученного осадка, его высушивания при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

7.3.5 Измельчение синтетической добавки до удельной поверхности $S_{\text{уд}} = (86.5 \pm 3.5) \text{ м}^2/\text{г}$ происходит в шаровых мельницах.

7.3.6 Подача добавки на основе аморфных алюмосиликатов к дозаторам осуществляется вручную.

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

7.3.8 Подача редиспергируемого порошка и пластификатора к дозаторам осуществляется вручную.

7.3.9 Процесс приготовления составов заключается в совместном смешивании отдозированных компонентов в смесительном модуле. Для смешивания возможно применение смесителей как циклического, так и непрерывного типа гравитационного или принудительного действия.

7.3.10 Перед фасовкой сухая смесь проверяется на соответствие нормативным документам.

7.3.11 При несоответствии отдельных показателей клеевой смеси требованиям стандарта ПТО ООО РСУ «Спецработ» производится постановка плиточного клея на коррекцию состава с обязательным последующим перемешиванием.

7.3.12 Плиточный клей, соответствующий требованиям стандарта ПТО ООО РСУ «Спецработ», направляют на фасовку. Фасовка клеевой сухой строительной смеси предусмотрена как в крупную, так и в мелкую тару.

7.3.13 Из смесительного модуля готовая смесь поступает в модуль упаковки и выдачи, где предусматривается ее дозирование и расфасовка. Предусматривается фасовка одного вида: готовая смесь в тару различной емкости. Сухая смесь упаковывается в мешки емкостью от 5 до 50 кг. Упакованная продукция на тележках отправляется на склад готовой продукции.

8 Методы испытаний

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

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

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

8.4 Насыпную плотность определяют по ГОСТ 8735.

8.5 Наибольшая крупность зерен заполнителя ГОСТ 31357.

8.6 Время коррекции облицовочной плитки DIN EN 12004.

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

8.8 Водопоглощение при капиллярном подсосе затвердевших растворных смесей определяют по ГОСТ 31356.

8.9 Морозостойкость затвердевших растворов определяют по ГОСТ по ГОСТ 31356.

8.10 Морозостойкость контактной зоны по ГОСТ 31356.

8.11 Прочность при сдвиге затвердевших растворов с основанием определяют в соответствии с приложением А настоящего стандарта.

8.12 Эффективность применяемых добавок определяют по ГОСТ 30459.

8.13 Сползание плитки с горизонтальной поверхности по DIN EN 1308.

8.14 Прочность сцепления покрытия после выдерживания в воздушно-сухой среде по ГОСТ 31356.

8.15 Прочность сцепления покрытия после выдерживания в водной среде по DIN EN 1348.

8.16 Прочность сцепления покрытия после 50 циклов замораживания-оттаивания влагонасыщенного образца по DIN EN 1348.

8.17 Деформация усадки определяется по ГОСТ 24544.

9 Контроль производства

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

Таблица 5 – Контроль производства клеевой сухой смеси

№	Наименование стадии процесса, место отбора пробы или измерения параметра	Что контролируется	Частота и способ контроля	Нормы и технические показатели	Методы испытаний или условия приемки	Кто контролирует
1	2	3	4	5	6	7
1	<p>Все сырье при поступлении на предприятие.</p> <p>Отбор проб при поступлении сырья на предприятие.</p>	<p>Качество</p>	<p>Каждая партия</p>	<p>а) песок: химический состав; гранулометрический состав; насыпная плотность; содержание пылевидных и глинистых частиц.</p> <p>б) портландцемент: предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе; сроки схватывания; химический состав клинкера.</p> <p>в) жидкое стекло: модуль жидкого стекла; плотность.</p>	<p>Принимается по паспорту поставщика</p>	<p>Инженер по качеству</p>

1	2	3	4	5	6	7
				<p>г) сульфат алюминия: массовая доля оксида алюминия</p> <p>д) редуцируемый порошок: зольность; плотность; содержание твердых частиц.</p> <p>е) пластификатор: массовая доля воды; показатель активности водородных ионов 2,5 %-ного водного раствора</p>		
2	Все оборудование перед началом работы. Место осмотра - цех.	Состояние и чистота оборудования	Перед загрузкой сырья	Должно быть чистым, исправным, герметичным	Визуально	Инженер по качеству
3	Добавка на основе аморфных	Стадии изготовления	Каждая операция	- pH раствора сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$;	ГОСТ 24596.5;	Инженер по качеству

1	2	3	4	5	6	7
	алюмосиликатов			- удельная поверхность;- активность; -истинная плотность.	ГОСТ 310.2	
4	Загрузка сырья в смеситель	Количество сырья	Периодически, до полного смешивания	Согласно нормам технологического режима	Визуально	Инженер по качеству
5	Тара	Чистота и исправность	Каждая партия	Должна быть чистой и исправной	Визуально	Бригадир
6	Фасовка	Точность дозировки; правильность оклейки; правильность нанесенной маркировки.	Через каждый час	- наименование изготовителя; - дата и место отбора проб; - номер партии; - дата изготовления.	ГОСТ 30515; ГОСТ 14192; визуально	Инженер по качеству

10 Правила приемки

10.1 Клеевая сухая строительная смесь должна приниматься техническим контролером или лицом, ответственным за качество, предприятия-изготовителя.

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

10.3 Приемку клеевой сухой строительной смеси осуществляют по результатам приемо-сдаточных и периодических испытаний.

10.4 Для проведения приемо-сдаточных испытаний отбирается проба в соответствии с требованиями ГОСТ 30515.

10.5 Приемку по показателям для клеевых сухих строительных смесей: подвижность, сползание плитки, водоудерживающая способность следует осуществлять по результатам приемо-сдаточных испытаний один раз в смену от каждой партии.

10.6 При получении неудовлетворительных результатов приемо-сдаточных испытаний хотя бы по одному показателю проводят повторные испытания на удвоенном количестве продукции, взятом от той же партии. Результаты повторных испытаний являются окончательными и распространяются на всю партию.

10.7 Партию смеси бракуют, если смесь хотя бы по одному показателю не соответствует требованиям настоящего стандарта.

10.8 При периодических испытаниях приемку производят по показателям: удельная эффективная активность естественных радионуклидов, прочность сцепления с основанием (адгезия), водопоглощение.

10.9 Периодичность испытаний по показателям:

- прочность сцепления с основанием – один раз в месяц;
- время переработки растворной смеси – один раз в квартал;
- водопоглощение – один раз в шесть месяцев;

- морозостойкость, сцепление с основанием, трещиностойкость – один раз в год.

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

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

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

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

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

10.14 Каждая партия поставляемой смеси должна сопровождаться документом о качестве, за подписью лица, ответственного за качество и содержащим:

- наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак, адрес;
- наименование смеси, ее назначение;
- номер рецептуры, партии;
- дату изготовления смеси;
- дату выдачи документа о качестве;
- условия хранения и срок гарантийного хранения;
- отметку о принятии;

- обозначение нормативного документа, в соответствии с которым изготовлена сухая строительная смесь.

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

11 Требования безопасности и охраны окружающей среды

11.1 Сухие смеси пожаро- и взрывобезопасны, нерадиоактивны, относятся к веществам IV класса опасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.007.

11.2 Помещение, в котором изготавливаются сухие смеси, должно быть оснащено приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, в соответствии со СНиП 2.04-05-91 и ГОСТ 12.4.021.

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

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

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

11.6 Безопасность минеральных составляющих смесей (цемента, заполнителей, наполнителей) оценивают по содержанию радиоактивных веществ, а химических добавок – по их санитарно-гигиеническим характеристикам.

11.7 Смеси не должны выделять во внешнюю окружающую среду вредные химические вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), утвержденные органами здравоохранения.

11.8 Запрещается сбрасывать сухие смеси, а также отходы от промывки оборудования в водоемы санитарно-бытового использования и канализацию.

11.9 Отходы производства образуются в ходе технологического процесса и сосредотачиваются на площадке, где собираются и помещаются в тару:

- третий класс – в бумажные мешки;
- четвертый класс – собираются в виде конуса, откуда автопогрузчиком перегружаются в автотранспорт и доставляются на полигон захоронения.

11.10 Во избежание пыления сверху отходы следует закрывать брезентом или полиэтиленовой пленкой по ГОСТ 10354.

11.11 Транспортировка промышленных отходов на полигон производится транспортом предприятия в соответствии с «Инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом».

11.12 Все работы, связанные с загрузкой, транспортировкой и выгрузкой и захоронением отходов, должны быть механизированы и герметизированы.

11.13 Транспортирование отходов следует производить в специально оборудованном транспорте, исключающем возможность потерь по пути следования и загрязнения окружающей среды, а также обеспечивать удобство при перегрузке.

11.14 При перегрузке твердых и пылевидных отходов необходимо самостоятельное устройство или тара с захватными приспособлениями для загрузки автокранами, работающими на полигоне.

11.15 При работе с пылевидными отходами необходимо их увлажнение на всех этапах: при погрузке, транспортировании, выгрузке и разравнивании.

12 Упаковка

12.1 Упаковка смесей должна производиться в многослойные бумажные мешки из крафт-бумаги или с полиэтиленовым вкладышем массой 10 кг, 25кг, 40кг и 50 кг, полиэтиленовые пакеты массой 5 кг, 10 кг и 25 кг и 50 кг.

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

12.3 Сухие смеси, упакованные в мешки и пакеты, укладываются на деревянные поддоны ровными рядами общим весом не более 1500 кг на один поддон. Поддоны должны соответствовать требованиям ГОСТ 9078.

По требованию потребителя поддоны со смесями дополнительно могут быть упакованы термоусадочной пленкой по ГОСТ 25951.

12.4 Упаковка смесей должна обеспечивать защиту от доступа влаги к смесям из окружающего воздуха и исключать высыпание смесей при транспортировании и хранении.

13 Маркировка

Маркировка смесей должна производиться несмываемой краской непосредственно на упаковку или ярлык, вкладываемый в упаковку.

Маркировка должна содержать:

- наименование предприятия-изготовителя, его товарный знак, адрес;
- наименование и обозначение смеси;
- инструкцию по применению;
- условия хранения;
- срок гарантийного хранения;
- дату изготовления;
- массу нетто, кг;
- номер партии;
- отметку о принятии лица, ответственного за качество;
- обозначение настоящего стандарта.

14 Транспортирование и хранение

14.1 Упакованные клеевые сухие смеси перевозят транспортными пакетами автомобильным, железнодорожным и другими видами транспорта в соответствии с

правилами перевозки и крепления грузов, действующими на транспорте конкретного вида, и инструкцией предприятия-изготовителя.

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

14.3 Клеевые сухие строительные смеси должны храниться в упаковке предприятия-изготовителя, в сухих помещениях с влажностью воздуха не более 70 %, при температуре не ниже +5°C в условиях, обеспечивающих сохранность упаковки и предохранения от увлажнения.

14.4 При хранении мешки с сухими смесями следует укладывать на деревянные поддоны на расстоянии 15 см от земли в ряды по высоте не более 1,8м, располагая мешки в ряду плотно один возле другого при обеспечении подхода к ним.

15 Гарантии изготовителя

15.1 Изготовитель гарантирует соответствие сухих смесей требованиям настоящего стандарта при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения и применения.

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

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

Приложение А
(рекомендуемое)

Методика определения сдвига клеевой смеси

А.1 Средства испытания

Прибор ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек»».

Подложки из бетона цилиндрической формы размером (71,4×15) мм.

Зубчатый шпатель размерами зубьев 6 мм × 6 мм и расстоянием между центрами зубьев 12 мм.

А.2 Подготовка к испытанию

На подготовленную подложку наносится состав плиточного клея толщиной 5мм, сверху прикрепляется еще одна подложка, после чего полученный образец выдерживается в нормальных условиях. В качестве нормальных условий (нормального климата) принимают температуру (20 ± 2) °С, относительную влажность воздуха (60 ± 10) %, скорость циркуляции воздуха в зоне испытаний менее 0,2 м/с.

Приготовление растворной смеси проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 31356.

А.3 Проведение испытания

Испытываемый образец помещается в каретку прибора (рисунок А.1) таким образом, чтобы подложка находилась в малом срезном кольце, а исследуемый состав – в большом срезном кольце. Технологический зазор размером 1 мм образует область среза. В процессе испытаний при увеличении касательной

нагрузки, применяемой к нижнему срезному кольцу, фиксируется значение деформаций сдвига исследуемого состава относительно подложки.

Скорость сдвига растворного слоя на основе плиточного цементного клея принимается равной 0,2 мм/мин.

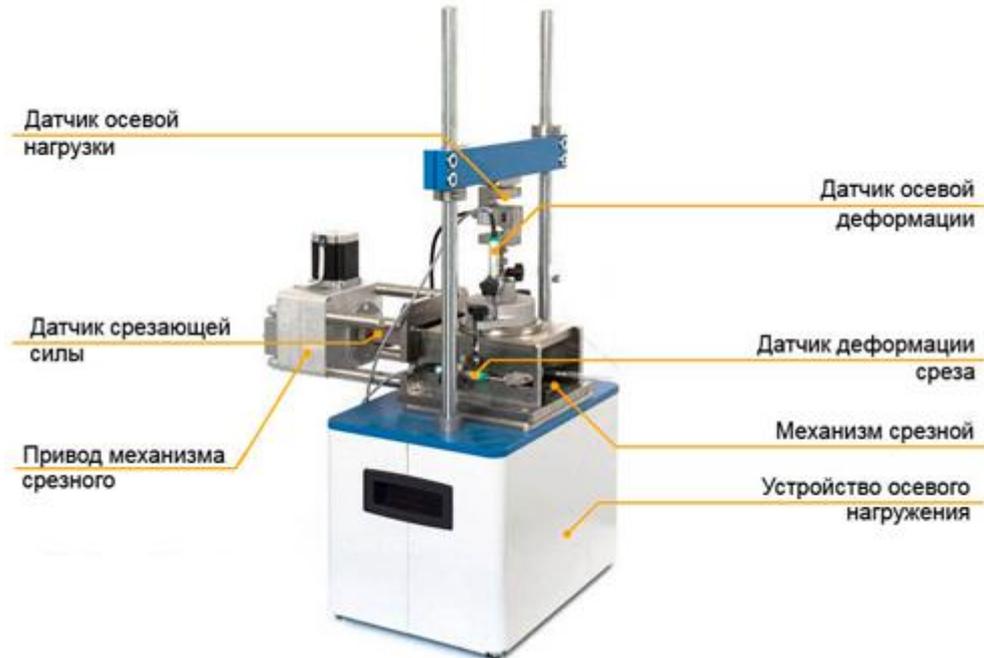


Рисунок А.1 – Внешний вид прибора ГТ 2.2.3

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

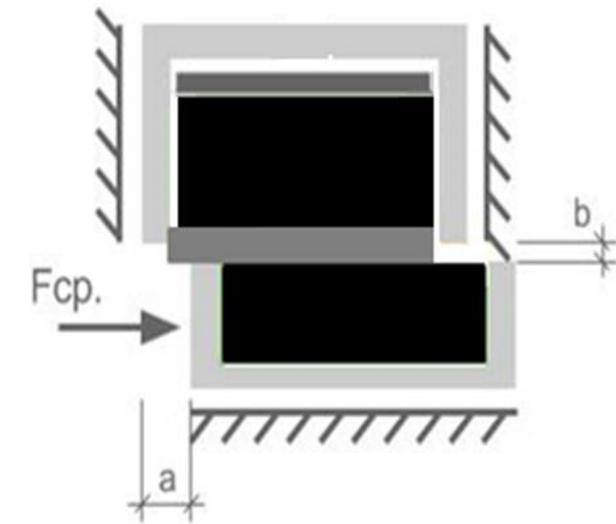
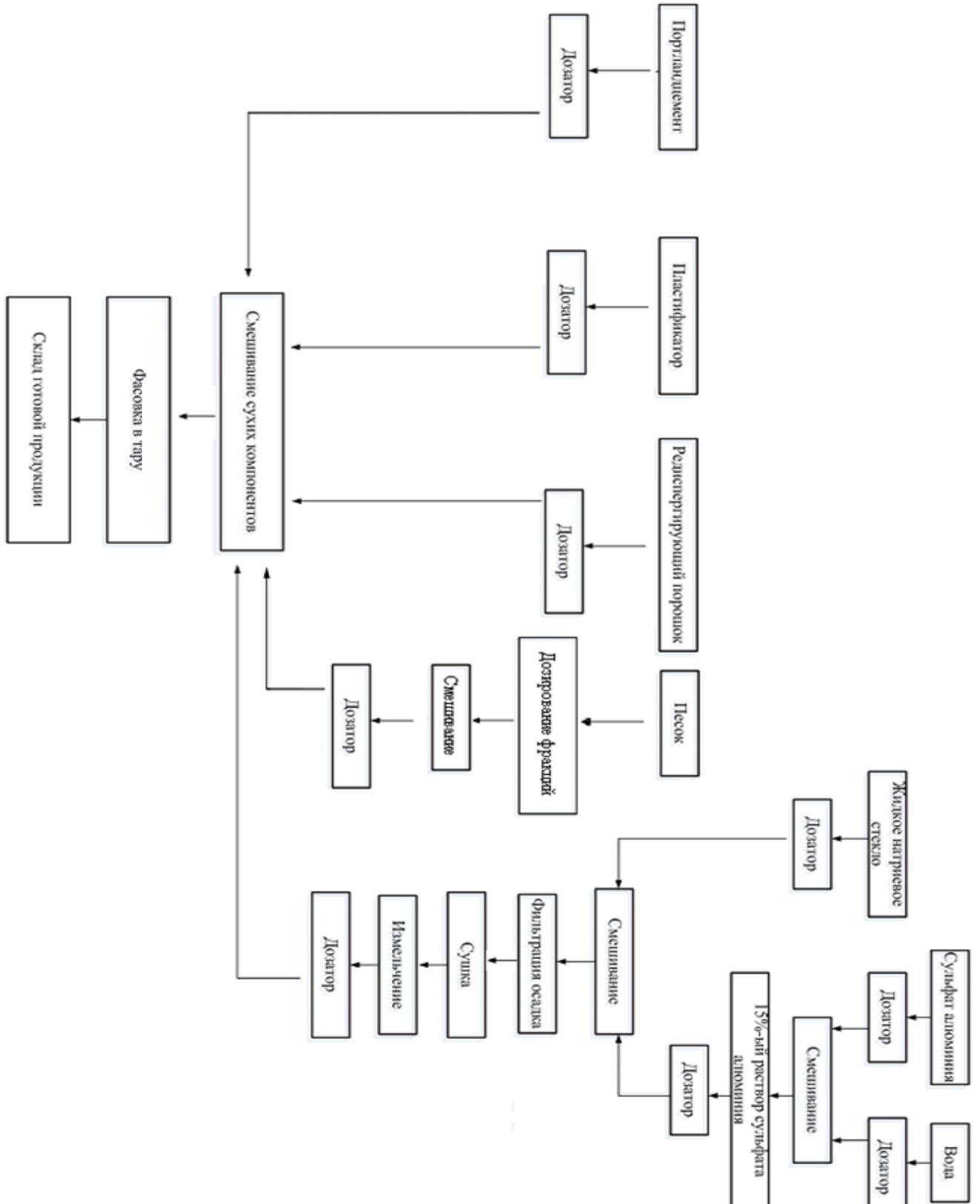


Рисунок А.2 – Схема испытания исследуемых образцов на сдвиг

Приложение Б
(рекомендуемое)

Технология производства клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов



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