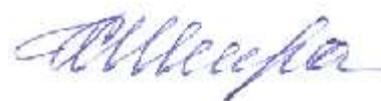


На правах рукописи



Жегера Кристина Владимировна

**РАЗРАБОТКА КЛЕЕВОЙ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ  
НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пенза 2016

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Логанина Валентина Ивановна**

Официальные оппоненты: **Акулова Марина Владимировна**,  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Ивановский  
государственный политехнический  
университет», заведующий кафедрой  
«Строительное материаловедение,  
специальные технологии и  
технологические комплексы»

**Загороднюк Лилия Хасановна**,  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Белгородский  
государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова»,  
заместитель заведующего кафедрой  
«Строительное материаловедение,  
изделия и конструкции»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Самарский  
государственный архитектурно-  
строительный университет»

Защита диссертации состоится 01 июля 2016 г. в 13<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте: <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/70-01-01-zhegera-kristina-vladimirovna>.

Автореферат разослан 30 апреля 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.184.01

  
Бакушев  
Сергей Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 редицергируемый 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  $F_{50}$ , марка по морозостойкости контактной зоны  $F_{кз} 50$ , водопоглощение при капиллярном подсосе  $W = 1,43$  кг/(м<sup>2</sup>·ч<sup>0,5</sup>), 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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

При отделке стен зданий и сооружений облицовочной плиткой, реставрации памятников архитектуры, производстве строительных и отделочных работ применяют модифицированные сухие строительные смеси (ССС).

Для повышения технологических и эксплуатационных свойств отделочных растворов в рецептуру СССР вводят специальные модифицирующие добавки. На сегодняшний день большинство модифицирующих добавок для СССР поступают из-за рубежа, что делает производство сухих строительных смесей зависимым от импортных поставок и удорожает производство СССР. Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что при разработке рецептуры СССР перспективным является применение добавок, содержащих аморфные алюмосиликаты. Наличие аморфного алюмосиликата в структуре добавки создает предпосылки для ее химического взаимодействия с продуктами гидратации и гидролиза цемента и возможности применения ее в рецептуре цементных плиточных клеев. Однако не выявлен механизм взаимодействия аморфных алюмосиликатов с цементным вяжущим, не установлены закономерности структурообразования цементного композита. В связи с этим, в качестве рабочей гипотезы выдвинуто предположение о возможности применения добавки на основе аморфных алюмосиликатов в качестве модифицирующей добавки в рецептуре клеевых СССР для повышения технологических и эксплуатационных свойств плиточного клея.

В работе использовалась добавка, полученная при помощи тщательного перемешивания жидкого стекла и сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ . Добавка представляет собой порошок белого цвета с удельной поверхностью, определенной методом БЭТ, равной  $S_{уд}=(68,6\pm 3,5) м^2/г$ . После высушивания при температуре  $(105\pm 5) ^\circ C$  истинная плотность добавки составляет  $2140 кг/м^3$ , насыпная плотность –  $568,2 кг/м^3$ .

Установлено, что структура добавки представлена, в основном, частицами округлой формы размера  $5,208-5,704 мкм$ , но встречаются частицы лещадной формы с размером  $7,13-8,56 мкм$  (рисунок 1).

Химический состав добавки представлен химическими элементами, такими как – O, Si, Na, S и Al – с содержанием, %, соответственно, 48,71, 19,59, 16,42, 9,67 и 4,7.

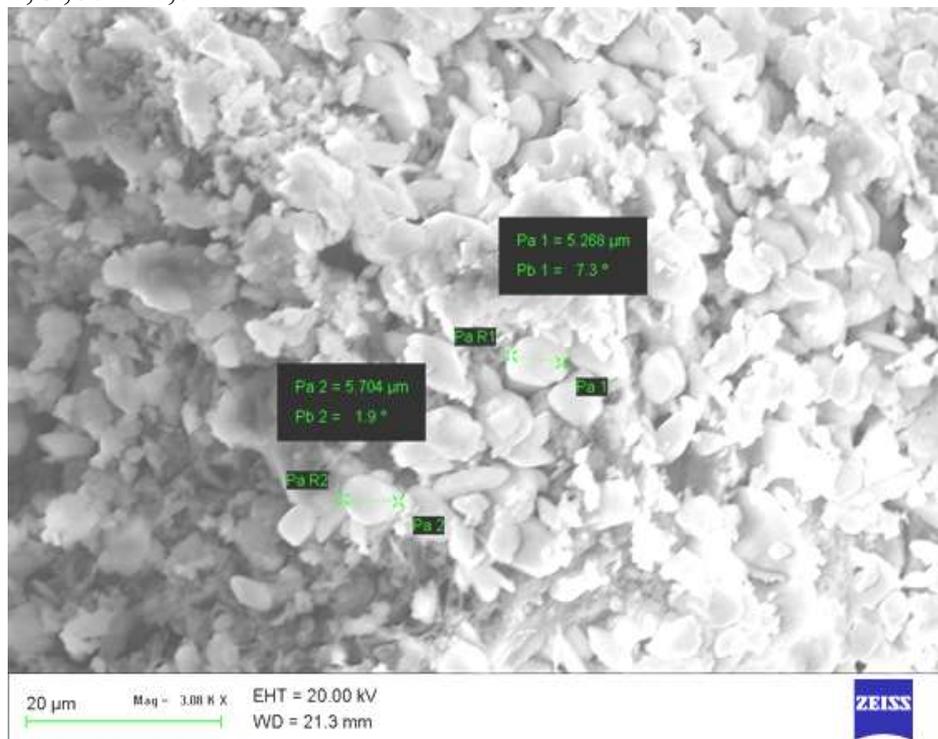


Рисунок 1 – Микроструктура добавки

По данным рентгенофазового анализа (РФА), минералогический состав добавки представлен тенардитом – ромбической модификацией сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , гиббситом  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , алюмосиликатом гидрата натрия  $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\cdot\text{H}_2\text{O}$ . Концентрация аморфной фазы синтетической добавки составляет 77,5 %.

Выявлено, что введение добавки на основе аморфных алюмосиликатов в цементное тесто приводит к ускорению сроков схватывания и увеличению значения нормальной плотности цементного теста (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение нормальной плотности и сроков схватывания цементного теста в зависимости от содержания добавки

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

Установлено, что 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 рН составляет, соответственно, 11,88 и 11,50.

Оценка кинетики тепловыделения при твердении цементного вяжущего выявила, что температура в процессе гидратации цементного теста максимальна у образцов с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Введение в рецептуру цементного теста добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к более раннему структурообразованию цементного камня. Так, на третьи сутки воздушно-сухого твердения наблюдается увеличение прочности при сжатии образца в зависимости от содержания добавки на 23,0–34,1 % по сравнению с контрольным образцом, в возрасте 90 суток – на 40,2–52,7 %.

Для изучения физико-химических процессов твердения цементного камня были проведены рентгенофазовый и дифференциально-термический анализы (ДТА).

Анализ фазового состава цементного камня показал, что минералогический состав представлен следующими гидратными образованиями: портландит ( $d, (\text{Å}) = 7.32, 6.62, 6.57, 6.28, 4.93, 4.92, 4.63, 3.11, 2.67, 2.62, 2.28$ ), гидросиликаты CSH ( $d, (\text{Å}) = 9.8, 6.46, 5.77, 5.74, 3.21$ ), этtringит ( $d, (\text{Å}) = 9.73, 7.00, 5.61, 4.704$ ), гидроалюминаты кальция ( $d, (\text{Å}) = 10.60, 8.20, 6.71, 6.34, 5.30, 5.14, 4.44, 4.303, 3.50, 2.80, 2.30$ ), CSH(II) ( $d, (\text{Å}) = 2.88, 2.00, 1.83$ ), тоберморит ( $d, (\text{Å}) = 11.5, 6.00, 5.86, 4.89, 3.09, 3.03, 2.78$ ), гидроферрит кальция ( $d, (\text{Å}) = 7.60, 5.46, 5.18, 4.50, 4.48, 2.70$ ) и кальцит  $\text{CaCO}_3$  ( $d, (\text{Å}) = 3.88, 2.75, 2.204, 2.189, 2.088$ ) (рисунок 2).

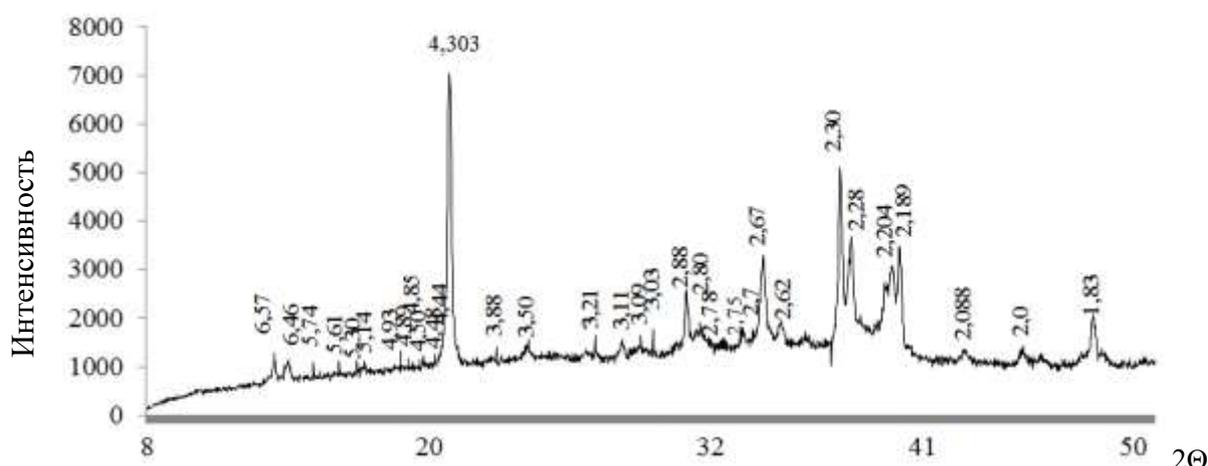


Рисунок 2 – Рентгенограмма цементного камня

Минералогический состав цементного камня с добавкой 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 ( $d, (\text{Å}) = 5.61, 5.62, 4.704, 3.88$ ), гидроалюминаты кальция ( $d, (\text{Å}) = 8.2, 7.8, 5.14, 4.86, 4.50, 4.48, 4.303, 2.30$ ), CSH(II) ( $d, (\text{Å}) =$

8.67, 6.51, 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 ( $d, (\text{Å}) = 10.67, 7.54, 6.16, 5.48, 3.21, 3.37$ ),  $CaNaHSiO_4$  ( $d, (\text{Å}) = 2.84, 2.23$ ), 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 ( $d, = 4.5, 3.19, 1.7$ ) (рисунок 3).

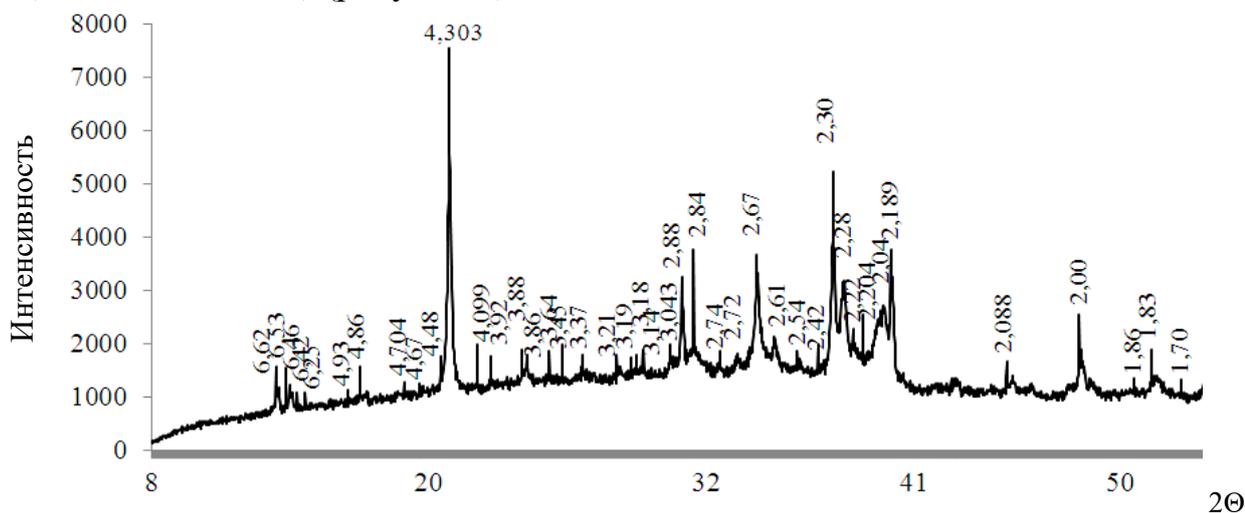


Рисунок 3 – Рентгенограмма цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

Проведенный дифференциально-термический анализ (рисунки 4–5) подтвердил результаты, полученные при анализе данных РФА.

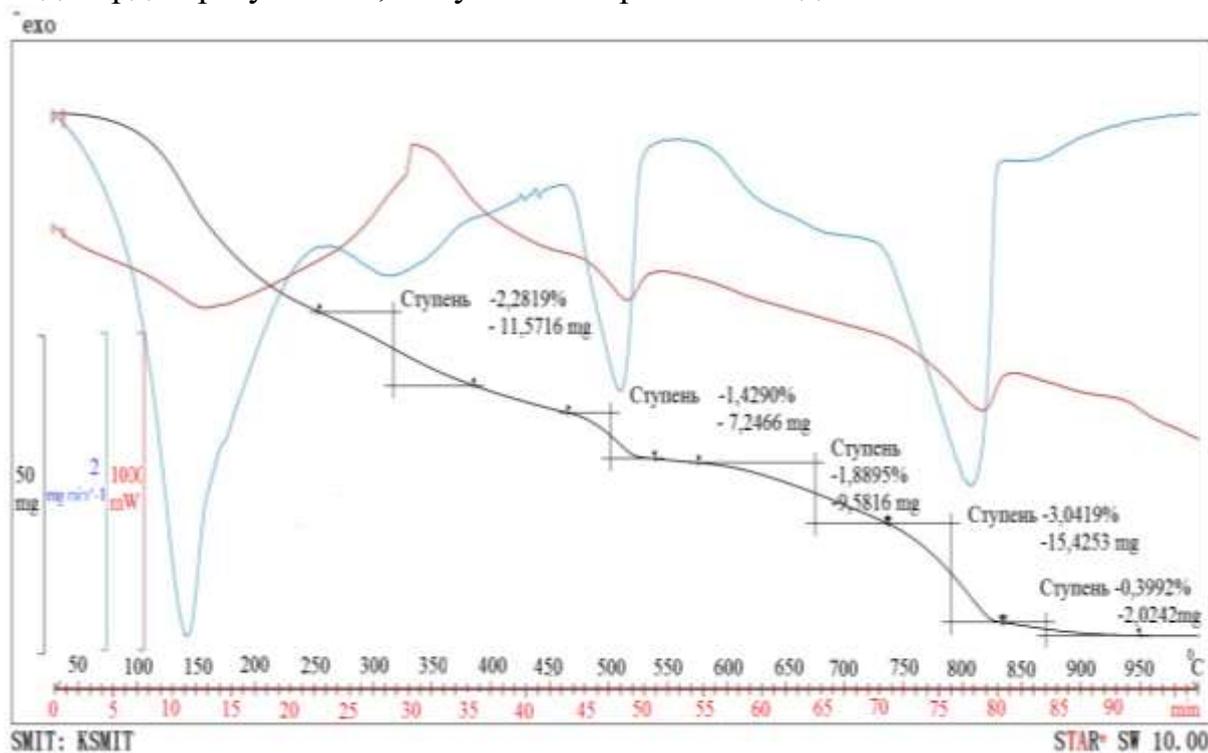


Рисунок 4 – Термограмма контрольного образца цементного камня

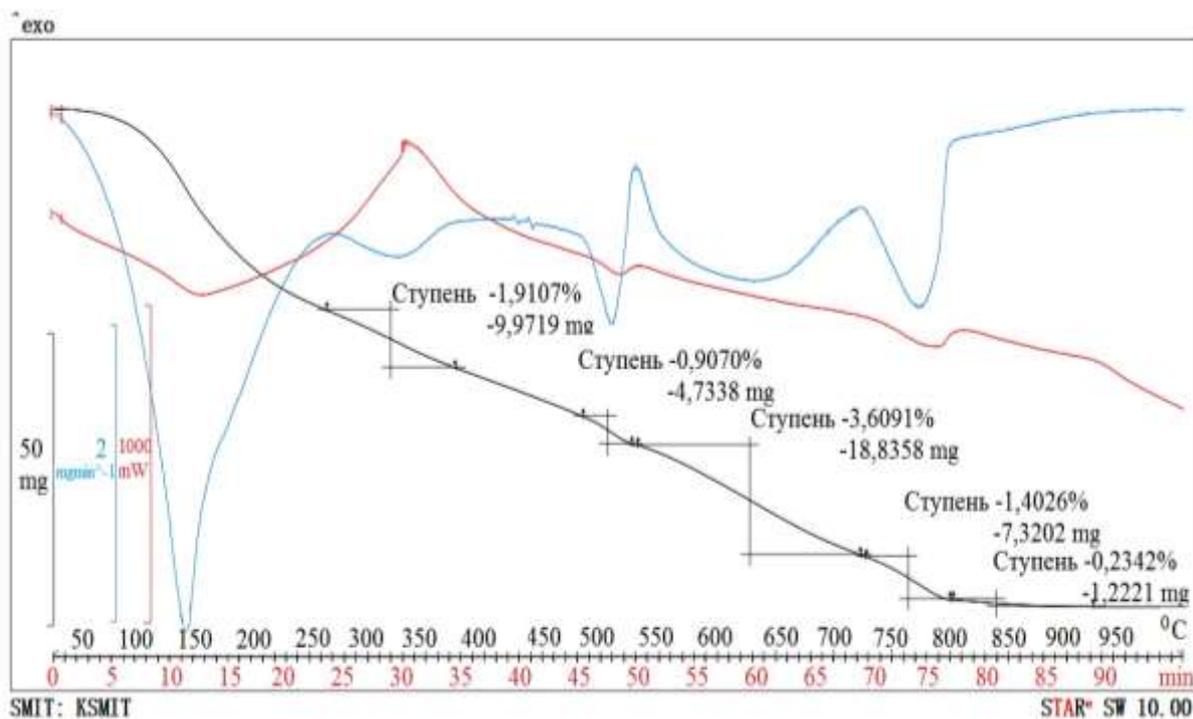


Рисунок 5 – Термограмма образца цементного камня с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов

В цементном камне с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов наблюдается уменьшение количества свободной воды и увеличение химически связанной воды по сравнению с контрольным образцом. У образцов на основе контрольного состава содержание свободной и химически связанной воды составляет, соответственно, 7,3 % и 14,5 %, а у образца с добавкой в количестве 20 % от массы цемента, соответственно, 6,1 % и 17,0 %.

Выявлено уменьшение количества свободной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементном камне с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов. Содержание свободной извести в контрольном образце составило 13 %, а в образце с содержанием 20 % добавки от массы цемента – 6,5 %. Полученные результаты свидетельствует о взаимодействии аморфных алюмосиликатов с гидролизной известью.

Введение в рецептуру цементного композита добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к изменению его пористости (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение значения пористости цементных образцов в зависимости от содержания добавки

Составы	Пористость, %			
	общая	капиллярная	гелевая	контракционная
контрольный	41,2	18,7	15,5	7,0
10 % добавки	40,3	16,7	16,3	7,3
20 % добавки	38,3	12,0	18,1	8,2
30 % добавки	37,3	9,0	19,5	8,8

Общая и капиллярная пористость контрольных образцов в 1,1 и 1,6 раз выше пористости образца с добавкой (количество добавки 20 % от массы цемента), а контракционная и гелевая пористости ниже в 1,2 раза.

Структура цементного камня изучалась 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 6).

Структура цементного камня с применением аморфных алюмосиликатов (рисунок 6, изображение 2) характеризуется меньшими размерами частиц новообразований. Наблюдается связь волокон гидросиликатов с сотовидной решеткой аморфных алюмосиликатов. Микроструктура контрольного образца (рисунок 6, изображение 1), в свою очередь, характеризуется большим размером частиц, которые находятся на значительном расстоянии друг от друга.

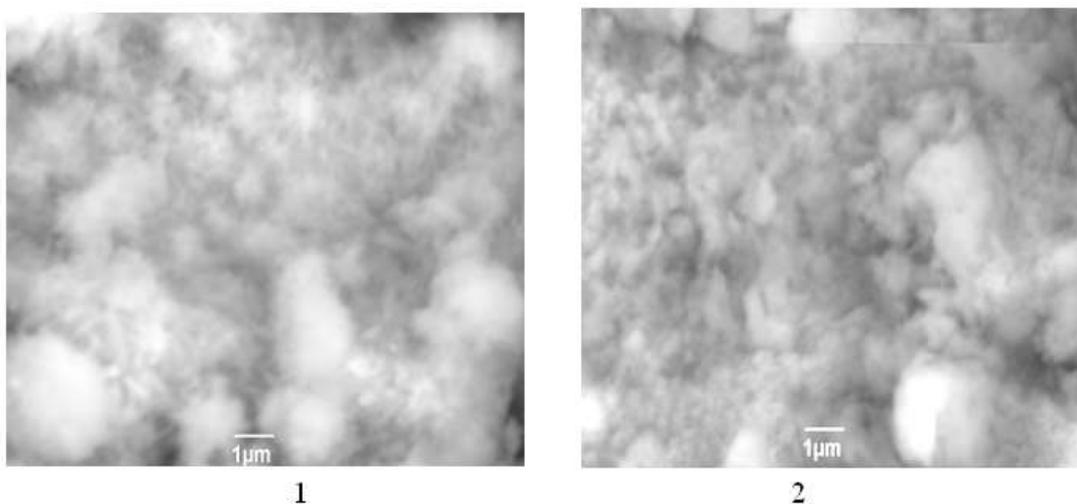


Рисунок 6 – Микроструктура образцов: 1 – контрольный образец, 2 – образец с добавкой 10 % от массы цемента

При разработке рецептуры клеевой сухой строительной смеси в качестве пластифицирующей добавки применялась добавка Кратасол ПФМ, Sika ViscoCrete 3180. Установлено, что добавка Кратасол ПФМ оказывает большее пластифицирующее влияние на цементно-песчаный раствор.

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, т.к. повышается прочность при сжатии образцов в возрасте 90 суток на 49,4 % по сравнению с контрольным образцом (без добавки).

При разработке рецептуры ССС была создана модель прочности цементного композита. Для создания модели использовали метод планирования эксперимента. 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 ( $x_3$ ).

После обработки полученных экспериментальных данных и исключения из уравнения регрессии незначимых коэффициентов уравнение приобрело следующий вид:

$$y = 33,388 + 2,2125x_1 + 3,525x_2 - 0,9875x_3. \quad (1)$$

Уравнение (1) характеризует зависимость прочности цементного композита от исследуемых факторов.

В результате проведенных исследований разработана рецептура клеевой ССС, содержащая портландцемент, песок определенных фракций, пластифицирующую добавку Кратасол ПФМ, редиспергируемый порошок Neolith P 4400 и добавку на основе аморфных алюмосиликатов (таблица 3).

Таблица 3 – Рецептура клеевой сухой строительной смеси с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов

№ 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

Проведен расчет устойчивости к сползанию слоя плиточного клея. При расчете касательных напряжений принято, что клеевой слой имеет толщину  $\delta = 0,005$  м (таблица 4).

Таблица 4 – Устойчивость к сползанию плиточного клея на основе разработанной ССС

Вид плитки	Размер плитки, м	Касательные напряжения, МПа		Предельное напряжение сдвига плиточного клея, $\tau_0$ , МПа	Условие отсутствия сползания
		$\tau_{max1}$	$\tau_{max2}$		
керамическая	0,1×0,1×0,005	0,00022	0,00013	0,002	выполняется
керамическая	0,3×0,3×0,005	0,00024	0,00015	0,002	выполняется
керамо-гранитная	0,6×0,6×0,01	0,00033	0,00024	0,002	выполняется
	1,2×1,8×0,02	0,00060	0,00052	0,002	выполняется
гранитная	0,3×0,6×0,015	0,00069	0,00042	0,002	выполняется

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, что не превышает значения, установленного немецким стандартом DIN EN 1308 и равного  $\tau_{сп.} \leq 0,5$  мм.

Оценивалась прочность сцепления клеевого слоя с различными подложками. Установлено, что плиточный клей, изготовленный на основе разработанной рецептуры, обладает достаточной прочностью сцепления с разными видами поверхности. Прочность сцепления образца плиточного клея с гипсовой подложкой и с цементно-песчаной подложкой на отрыв составляет более  $R_{адг} > 1,4$  МПа, а прочность сцепления на сдвиг  $R_{сдв} = 0,92$  МПа, что удовлетворяет условиям, указанным в стандарте серии DIN EN 12004, где  $R_{адг} \geq 0,5$  МПа.

Для оценки трещиностойкости плиточного клея проводились измерения усадочных деформаций покрытия в процессе его отверждения, а также деформативных свойств покрытий. Выявлено, что наиболее интенсивный рост усадочных деформаций наблюдается в течение пяти суток воздушно-сухого твердения, после чего заметна стабилизация значений. Значение усадочных деформаций образцов на основе разработанного состава клеевой ССС спустя 90 суток составило  $\varepsilon = 0,028$  %, у контрольного состава –  $\varepsilon = 0,034$  %. Деформативные свойства плиточного клея на основе клеевой ССС представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Деформативные свойства клеевого слоя

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Модуль упругости покрытия, МПа	128,6
2	Усадочные деформации, $\varepsilon_{ус}$ , мм/мм	0,00028
3	Предельная растяжимость, $\varepsilon_{пр}$ , мм/мм	0,018
4	Коэффициент трещиностойкости, $K_{мп} = \varepsilon_{ус} / \varepsilon_{пр}$	0,015
5	Прочность при осевом растяжении, МПа	2,2

Полученные данные свидетельствуют о достаточной усадочной трещиностойкости плиточного клея, изготовленного на основе клеевой ССС.

Дополнительно для оценки трещиностойкости и стойкости к отслаиванию клеевого шва оценивалось напряженное состояние клеевого слоя от действия температур как одного из факторов разрушения. Для проведения расчетов были выбраны г. Пенза и г. Якутск, находящиеся в одной зоне влажности – 3 (сухая) и в разных климатических подрайонах, соответственно – IIВ и IA.

В расчетной схеме ограждающей конструкции в качестве стенового материала (подложка) принят керамзитобетон с плотностью  $\rho = 1600$  кг/м<sup>3</sup> и

коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,58$  Вт/(м·°С), в качестве теплоизоляционного материала – пенополистирол с плотностью  $\rho=40$  кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,038$  Вт/(м·°С), в качестве облицовочного материала – керамическая плитка плотностью  $\rho=2600$  кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности  $\lambda=1,2$  Вт/(м·°С). Плиточный клей, изготовленный по разработанной рецептуре ССС, имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,58$  Вт/(м·°С).

Расчеты проводились с помощью универсальной программной системы конечно-элементного анализа Mechanical APDL (ANSYS) [лиц. № 104-82-86]. На рисунке 7 и рисунке 8 приведены значения касательных напряжений  $\sigma_{xz}$ , возникающих в течение года для г. Пензы и г. Якутска.

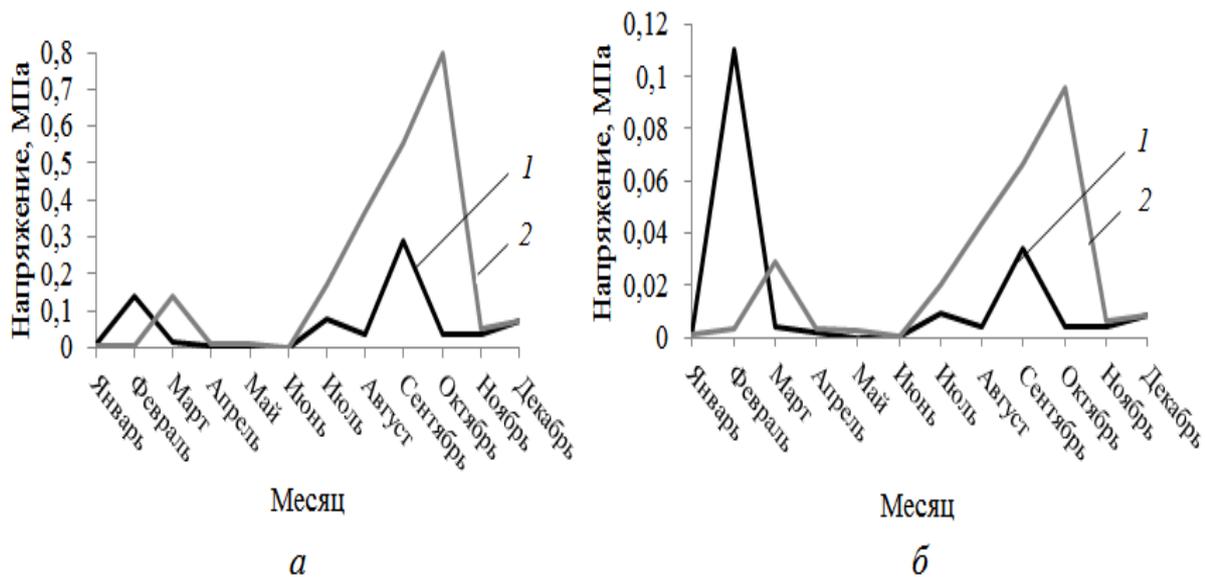


Рисунок 7 – Изменение касательных напряжений  $\sigma_{xz}$  в клеевом слое в течение года в г. Пенза (кривая 1), г. Якутск (кривая 2): а – на границе с керамической плиткой (по простирацию); б – на границе с подложкой (по простирацию)

Выявлено, что максимальные значения касательных напряжений в клеевом слое на границе с подложкой, составляющие  $\sigma_{xz}=0,11$  МПа (г. Пенза, рисунок 7 б, кривая 1), наблюдаются в феврале, и на границе с керамической плиткой – в сентябре –  $\sigma_{xz}=0,29$  МПа (г. Пенза, рисунок 7 а, кривая 1). В г. Якутск (рисунок 7, кривая 2) максимальные значения касательных напряжений в клеевом слое на границе с подложкой и на границе с керамической плиткой, составляющие, соответственно,  $\sigma_{xz}=0,096$  МПа и  $\sigma_{xz}=0,8$  МПа, наблюдаются в октябре.

В центре клеевого шва (по толщине) для условий г. Пенза (рисунок 8 б, кривая 1) максимальные значения касательных напряжений наблюдаются в марте и составляют  $\sigma_{xz}=0,00039$  МПа, а для условий г. Якутска (рисунок 8 б, кривая 2) – в феврале –  $\sigma_{xz}=0,00036$  МПа. В краевой зоне (по толщине) максимальные значения напряжений для условий г. Пензы (рисунок 8 а,

кривая 1) в сентябре составляют  $\sigma_{xz}=0,29$  МПа, а для условий г. Якутск (рисунок 8 а, кривая 2) в октябре –  $\sigma_{xz}=0,8$  МПа.

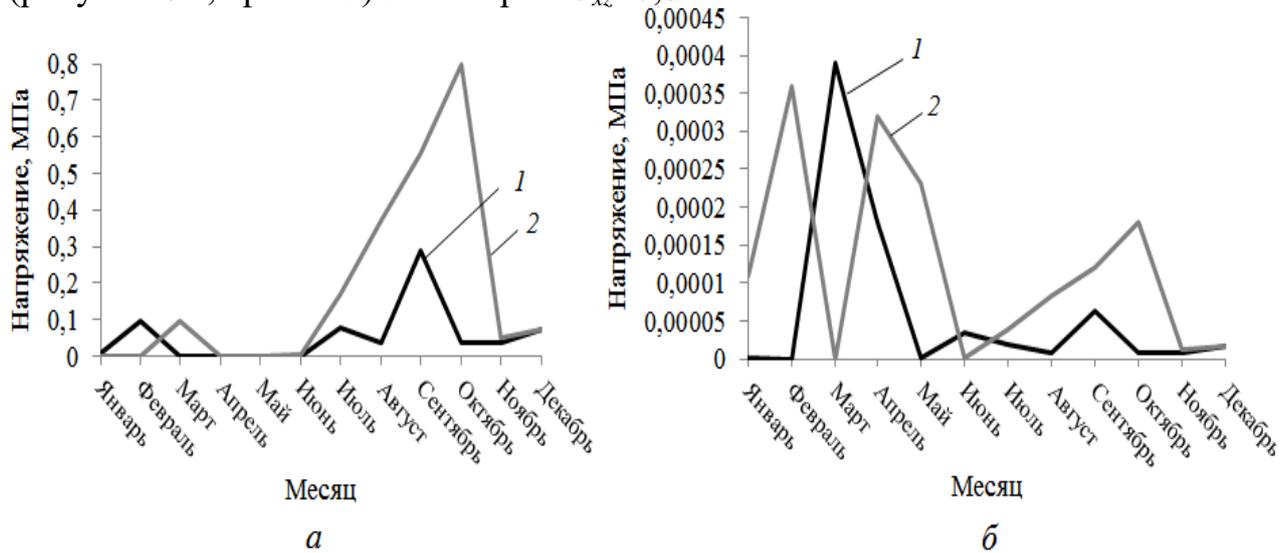


Рисунок 8 – Изменение касательных напряжений  $\sigma_{xz}$  в клеевом слое в течение года в г. Пенза (кривая 1), г. Якутск (кривая 2): а – краевая зона (по толщине); б – центр клеевого слоя (по толщине)

Сравнение полученных значений максимальных касательных напряжений  $\sigma_{xz}$ , 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 ССС стоек к отслаиванию.

На рисунке 9 приведены значения растягивающих напряжений, возникающих в клеевом слое на границе с подложкой и на границе с керамической плиткой в течение года в г. Пенза и в г. Якутск.

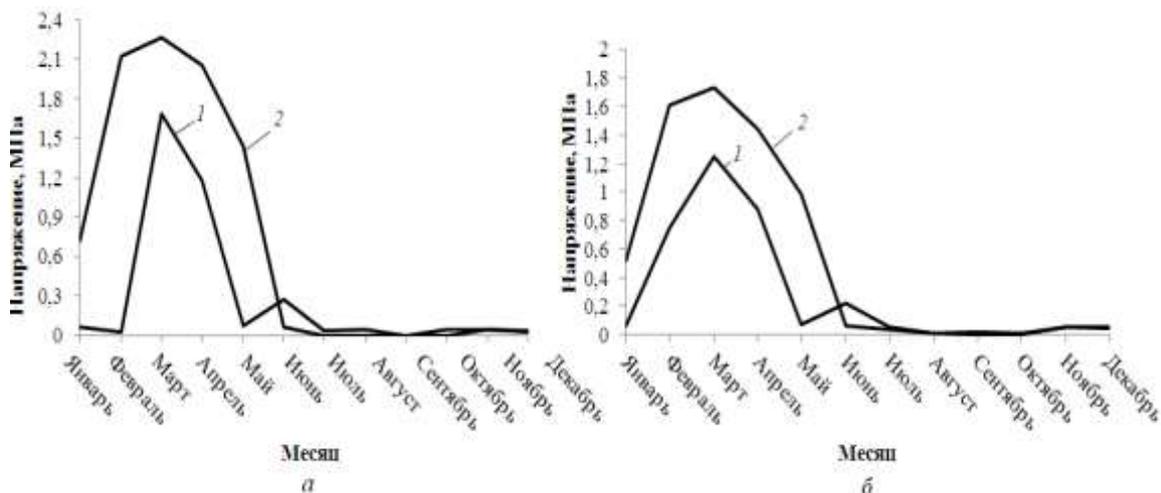


Рисунок 9 – Изменение растягивающих напряжений  $\sigma_x$  в клеевом слое на границе с подложкой в течение года (а), на границе с керамической плиткой в течение года (б): 1 – г. Пенза; 2 – г. Якутск

Анализ данных, представленных на рисунке 9, показал, что максимальные значения растягивающих напряжений  $\sigma_x$ , возникающих в клеевом слое на границе с подложкой (рисунок 9 а) и на границе с керамической плиткой (рисунок 9 б), наблюдаются в марте. Значения максимальных растягивающих напряжений  $\sigma_x$  клеевого слоя на границе с подложкой в условиях г. Пенза и в г. Якутск составляют соответственно  $\sigma_x=1,68$  МПа и  $\sigma_x=2,26$  МПа. Значения максимальных растягивающих напряжений  $\sigma_x$ , возникающих в клеевом слое на границе с керамической плиткой, в г. Пенза и в г. Якутск, соответственно, равны  $\sigma_x=1,24$  МПа и  $\sigma_x=1,73$  МПа.

Результаты сравнения значений максимальных растягивающих напряжений, возникающих в клеевом слое для условий г. Якутск, со значением когезионной прочности плиточного клея показали, что плиточный клей на основе разработанной рецептуры рекомендуется применять в городах, находящихся в зоне влажности – 3 (сухая) и климатических подрайонах ПВ в соответствии со СНиП 23-01-99\*.

В таблице 6 приведены основные технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на основе разработанной рецептуры с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.

Таблица 6 – Технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на основе разработанной клеевой ССС

Параметр	Ед.изм	Величина показателя для состава		
		разрабо- танный	прототип 1	прототип 2
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Средняя плотность ССС	кг/м <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	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:				

1	2	3	4	5
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> <sub>кз</sub> 50	<i>F</i> <sub>кз</sub> 50	<i>F</i> <sub>кз</sub> 50
Водопоглощение при капиллярном подсосе	кг/(м <sup>2</sup> ·ч <sup>0,5</sup> )	1,43	2,00	1,78
Усадочные деформации, $\varepsilon$	%	0,028–0,034	0,030–0,040	0,029–0,038
Температура эксплуатации	°С	от –50 до +70	от –50 до +50	от –50 до +70
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 плиточный клей на основе разработанного состава клеевой ССС с добавкой на основе аморфных алюмосиликатов обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами: более высокая устойчивость к сползанию, высокая прочность сцепления с поверхностью при разных условиях эксплуатации и низкое значение усадочных деформаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Итоги выполненного исследования

1. Установлены физико-химические показатели добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Истинная плотность добавки составляет

2140 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность – 568,2 кг/м<sup>3</sup>. 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, релаксируемый 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  $R_{адг} > 1,4$  МПа, прочностью сцепления при сдвиге  $R_{сдв} = 0,92$  МПа, когезионной прочностью  $R_{ког} = 2,2$  МПа, маркой по морозостойкости F50, морозостойкостью контактной зоны  $F_{кз} 50$ , водопоглощением при капиллярном подсосе 1,43 кг/(м<sup>2</sup>·ч<sup>0,5</sup>).

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. Методами РФА и ДТА изучен фазовый состав цементного камня. Установлено, что в цементном композите с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов образуются следующие минералы: цеолит, гидросиликат кальция-натрия ( $\text{CaNaHSiO}_4$ ), 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  $\sigma_x$ , 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. Пенза) 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.

**Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в российских рецензируемых научных изданиях:**

1. Логанина, В.И. Применение синтезированных алюмосиликатов в составе плиточного клея на основе цемента / В.И. Логанина, С.Н.

Кислицына, К.В. Жегера // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – №10(658). – С. 23 – 27.

2. Логанина, В.И. Применение синтезированных алюмосиликатов в рецептуре плиточного клея / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 59 – 63.

3. Гарькина, И.А. Математическое программирование в управлении качеством материалов / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 30 – 36.

4. Логанина, В.И. Влияние синтезируемых алюмосиликатов на структурообразование цементных сухих строительных смесей / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – №5. – С. 36 – 40.

5. Логанина, В.И. Оценка эффективности использования синтезированных алюмосиликатов в цементных системах / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2014. – №3. – С. 84 – 87.

6. Логанина, В.И. Оптимизация состава плиточного клея с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, Р.В. Тарасов, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 40 – 44.

7. Логанина, В.И. Реологические свойства плиточного клея с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 1(33). – С. 46 – 50.

8. 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.

9. 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. – №2(23). – С. 64 – 67.

10. Логанина, В.И. Повышение надежности контроля при выполнении отделочных работ / В.И. Логанина, К.В. Жегера, С.А. Болдырев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3(24). – С. 24 – 28.

11. 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.

12. 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.

13. Логанина, В.И. Оценка прочности сцепления растворного слоя на основе клеевой строительной смеси / В.И. Логанина, К.В. Жегера, А.А. Живаев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №1. – С. 10 – 12.

**в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus:**

14. Loganina, V.I. The composition cement binder with the use of the synthesized aluminosilicates / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, K.V. Zhegera // Advanced Materials Research. Switzerland. – 2014. – № 1022. – Pp. 3 – 6.

15. Loganina, V.I. The effectiveness of use of the composite binder as a dry mix / V.I. Loganina, Ch.V. Zhegera // Case Studies in Construction Materials. – 2015. – № 3. – Pp. 137–140.

**в других изданиях:**

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

17. Loganina, V.I. Contech sintetizzato utilizzando alluminosilicato / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, K.V. Zhegera // Italian Science Review. – 2014. – № 2(11). – Pp. 97 – 100.

18. Жегера, К.В. Композиционное цементное вяжущее с применением синтезированных алюмосиликатов / К.В. Жегера // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2014. – № 5 (3). – С. 141 – 142.

19. Жегера, К.В. Применение синтезированных алюмосиликатов в составе плиточного клея в качестве структурообразующей добавки / К.В. Жегера // Сборник научных трудов международной научной конференции (11-13 февраля 2014 г.) Наука и образование: проблемы развития строительной отрасли. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – 2014. – С. 47 – 51.

20. Жегера, К.В. Исследование влияния дисперсности модифицирующей добавки на структурообразование цементного композита / К.В. Жегера, В.И. Логанина // Наукоемкие технологии и инновации. Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. – 2014. – ч.3. – С. 144 – 147.

21. Жегера, К.В. Свойства цементных сухих строительных смесей при введении в их рецептуру синтезированных алюмосиликатов / К.В. Жегера // Молодой ученый. – 2014. – №3 (62). – С. 278 – 280.

22. Жегера, К.В. Добавка на основе синтезированных алюмосиликатов в составе плиточного клея / К.В. Жегера // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №2 (34). – С. 48 – 51.

23. Логанина, В.И. Плиточные сухие строительные смеси с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Сухие строительные смеси. – 2014. – №2. – С. 36 – 37.

24. Жегера, К.В. Исследование свойств плиточного клея с применением синтезированных алюмосиликатов / К.В. Жегера // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №6 (38). – С. 55 – 58.

25. Жегера, К.В. Влияние дисперсности добавки на основе синтезированных алюмосиликатов на свойства и структурообразование цементного камня / К.В. Жегера // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №8 (40). – С. 154 – 157.

Жегера Кристина Владимировна

РАЗРАБОТКА КЛЕЕВОЙ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ  
НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 25.04.2016. Формат 60×84 1/16

Бумага офсетная. Печать на ризографе.

Объем 1,44 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 74.

Отпечатано в ООО «Интеллект-Сервис».

440028, г. Пенза, ул. Беяева, 14А.