

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

В.И. Логанина, К.В. Жегера

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

Пенза 2016

УДК 691.175.746

ББК 38.3

Л69

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент
С.Н. Кислицына (ПГУАС);
зам.директора ООО «Строительные
материалы» кандидат технических
наук В.Ю.Нестеров

Логанина В.И.

Л69 Разработка клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов: моногр. / В.И. Логанина, К.В.Жегера. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 140 с.
ISBN 978-5-9282-1389-3

Предложена технология получения клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Установлены закономерности влияния добавки на свойства плиточного клея.

Монография подготовлена на кафедре «Управление качеством и технология строительного производства» и предназначена для студентов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство», а также для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами производства сухих строительных смесей.

ISBN 978-5-9282-1389-3

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2016
© Логанина В.И., Жегера К.В., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время отечественный рынок сухих смесей является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов отрасли строительных материалов.

В практике отделочных работ часто применяют плиточные ССС. Для повышения технологических и эксплуатационных свойств плиточного клея в рецептуру сухой строительной смеси вводят специальные модифицирующие добавки. 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. Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что перспективным является применение синтетических добавок на основе аморфных алюмосиликатов при разработке рецептуры ССС. Однако не выявлен механизм взаимодействия синтетических алюмосиликатных добавок с цементным вяжущим, не установлены закономерности структурообразования цементного композита

Материал книги дает возможность читателю ознакомиться с закономерностями изменения реологических и технологических свойств плиточного клея в зависимости от свойств добавки на основе аморфного алюмосиликата и ее содержания.

Книга предназначена для студентов и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами производства ССС.

ВВЕДЕНИЕ

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 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 перспективным является применение добавок на основе аморфных алюмосиликатов при разработке рецептуры СССР. Наличие в структуре добавок аморфного алюмосиликата создает предпосылки возможности их применения в рецептуре цементных плиточных клеев. Однако не выявлен механизм взаимодействия таких добавок с цементным вяжущим, не установлены закономерности структурообразования цементного композита. В связи с этим, разработка клеевых сухих строительных смесей с применением в рецептуре модифицирующих добавок на основе аморфного алюмосиликата является актуальным. Решение этой проблемы позволит снять зависимость от импортных поставок добавок отечественных производителей СССР.

В первой главе монографии представлен материал о перспективах развития производства клеевых сухих строительных смесей в России.

Во второй главе приведены сведения о физико-химических свойствах добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Показано, что в составе синтетической добавки преобладает высокое содержание химических элементов O, Si и Na.

Выявлено, что введение добавки на основе аморфного алюмосиликата в рецептуру цементного композита приводит к изменению реологических свойств цементного теста: ускорению сроков схватывания, увеличению значения нормальной густоты.

Установлено, что добавка на основе аморфного алюмосиликата 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.

Приведен минералогический состав цементного камня с добавкой. Показано, что введение в рецептуру цементного камня добавки на основе аморфного алюмосиликата 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). Приведены данные о пористости цементного камня.

В третьей главе приведены сведения о реологических и технологических свойствах плиточного клея. Показано, 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 синтетической добавки, чем добавка на основе Sika ViscoCrete 3180.

Применение в рецептуре плиточного клея добавки на основе аморфных алюмосиликатов позволяет получить смесь с реологическими свойствами, способными удерживать отделочную плитку на вертикальной поверхности, исключая ее сползание при выполнении плиточных работ. Проведен расчет устойчивости к сползанию слоя плиточного клея.

В четвертой главе приведены эксплуатационные свойства плиточного клея. Рассмотрены вопросы трещиностойкости клея. Приведены данные расчета напряженного состояния клея от действия температуры как одного из факторов старения. Определена область применения разработанного состава плиточного клея.

Авторы будут признательны за все замечания, высказанные по содержанию книги.

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 расходование 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. [1, 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 общестроитель-

ного, 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 (рис. 1.1).

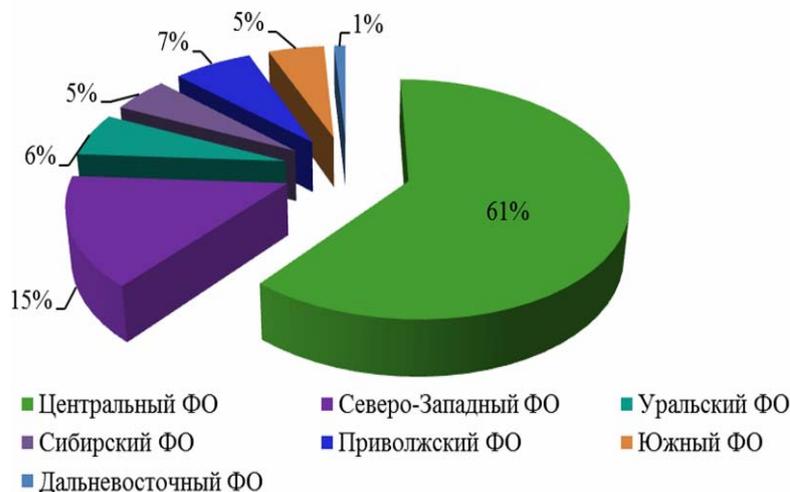


Рис. 1.1. Доли внутреннего объема производства сухих строительных смесей на территории РФ по федеральным округам («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 122]

Рынок производства сухих строительных смесей различного назначения становится все более конкурентоспособным и согласно статистике (рис. 1.2) объемы производства ССС в России увеличиваются. Наиболее распространенной среди модифицированных ССС являются клеевые смеси, составляющие более 40 % от общего объема производства (рис. 1.3) [94, 120, 122].

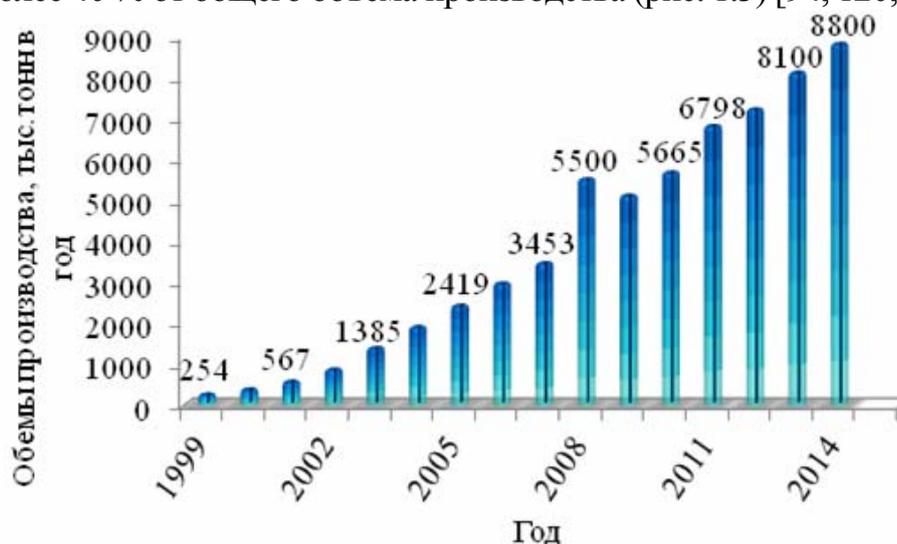


Рис. 1.2. Объемы производства модифицированных сухих строительных смесей в России («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 122]

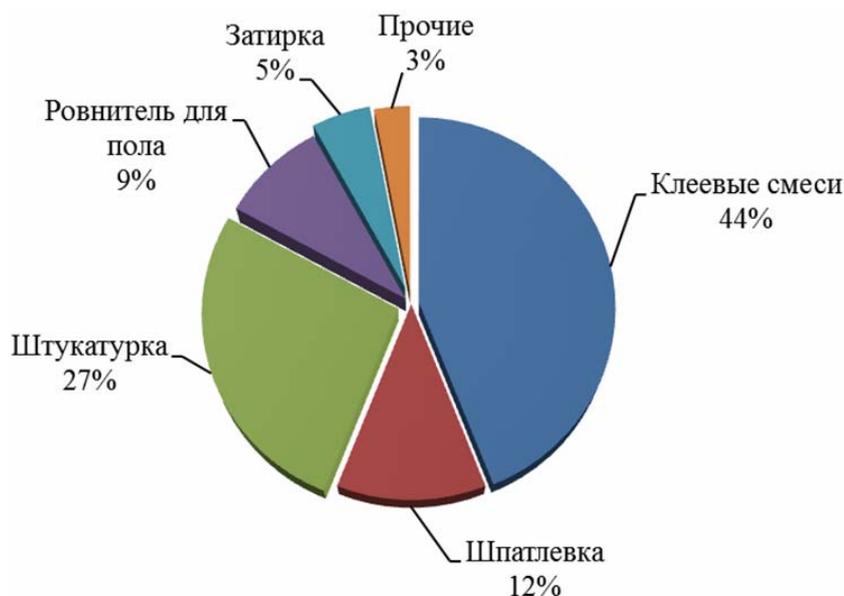


Рис. 1.3. Структура рынка сухих строительных смесей в России («Агентство маркетинговых исследований SYMBOL-MARKETING») [94, 122]

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 рис. 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 как производители продукции стабильного качества.

Клей плиточный марки Кнауф [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 60×60 см на полах внутри помещений, отвечающих требованиям СНиП 2.03.13-88.

На рынке 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 табл. 1.2.

Т а б л и ц а 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	3-15 мм
4.	Расход при использовании шпателя 6×6 мм	3,5 кг/м ²
5.	Жизнеспособность раствора	180 минут
6.	Время укладки плитки	10 минут
7.	Время корректировки плитки	10 минут
8.	Прочность сцепления с основанием	10 кг/см ² (1 МПа)
9.	Удерживаемый вес плитки	80 кг/м ²
10.	Морозостойкость	не менее 100 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 табл. 1.3.

Т а б л и ц а 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°С
8.	Время твердения	24 ч
9.	Расход	3-5 кг/кв.м
10.	Упаковка	крафт-мешки по 5 и 25 кг
11.	Срок хранения	12 месяцев в неповрежденной упаковке

Анализ табл. 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 дольше, до 20–30 минут после его нанесения, сохраняет пластичную консистенцию и клеящую способность при оптимальном водоцементном отношении. При введении этих добавок в рецептуру клеевой ССС на цементной основе гидратация цемента происходит значительно полнее, в том числе на границе с основой и с атмосферой, при отверждении раствор на основе ССС набирает большую прочность как при сжатии, так и при изгибе. Модифицированный данным образом плиточный клей после сухого выдерживания обладает прочностью при отрыве от бетона около 0,5 МПа, что соответствует нормативу DIN EN 18156 «Вещества для керамической облицовки по тонкослойной технологии».

Во многих случаях цементно-песчаному раствору необходимо придавать еще более высокую прочность при отрыве в сложных условиях эксплуатации. Для фасадных красок, штукатурок, шпаклевок и клеев, особенно работающих в цокольной области, для водоизолирующих масс, для самонивелирующихся полов, для эластичных плиточных клеев, для клеев и армирующих масс для пенополистирола применяются совместно и эфиры

целлюлозы, и редиспергируемые порошки (редисперсионные порошки Dairen, DCC, Taiwan [55]). Последние производятся из синтетических дисперсий методом распылительной сушки. Не любой вид дисперсии пригоден для изготовления порошков.

Важными 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 гибких и особо трещиностойких материалов применяют так называемые двухкомпонентные системы, а именно: заранее приготовленную модифицированную цементную смесь затворяют не в воде, а в разбавленной полимерной дисперсии. Полимерные дисперсии находят широчайшее применение и как самостоятельное вяжущее (связующее) в производстве лаков, красок и стройматериалов.

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. Для модификации ремонтных составов, составов для устройства полов и т.п. применяется второй класс модифицирующих добавок – регуляторов сроков схватывания и твердения. Модифицирующие добавки третьего класса – регуляторы структуры используются для модификации штукатурных, ремонтных и т.п. составов. В рецептурах ССС к которым предъявляются особые функциональные требования по условиям применения или эксплуатации применяются модифицирующие добавки четвертого класса – придающие растворам специальные свойства.

В табл. 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 растворовных 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
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, алкенилсульфаты натрия, этоксилированные жирные спирты	Повышение морозостойкости, непроницаемости, стойкости в агрессивных средах, снижение средней плотности. Улучшение удобоукладываемости, повышение морозостойкости, снижение опасности высолов.

Окончание табл. 1.4

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, олеат натрия, 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 кальция, 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 (табл. 1.4), представлена не в полном объеме, однако, основные принципы данной классификации позволяют определить место уже существующих 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, 149, 158].

В качестве отечественной модифицирующей добавки можно рассматривать добавки на основе аморфных алюмосиликатов (природных и синтетических цеолитов, метакаолинита). 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 работах [8, 9, 61] цеолитами называют кристаллические водные алюмосиликаты каркасной структуры, из которых путем умеренного нагревания вода может быть обратимо удалена без разрушения кремнеалюмокислородного 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 щелочно-земельных металлов с открытой каркасно-полостной структурой. Их кристаллический трехмерный каркас состоит из алюмокремнекислородных 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., Пунтпуракалчира М.В. исследуются свойства модифицированного шивиртуйского цеолита и предлагается использовать модифицированный природный цеолит как пламягасящую 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 проводилось 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, 140, 142, 153].

Техническое значение могут иметь искусственно полученные синтетические цеолиты [72]. 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, 166]. Известны также зарубежные исследователи – школа Баррера, Мильтон, Брек и др. [103, 119, 148, 151, 161, 164, 165]. Известно более ста различных видов синтетических цеолитов и их разновидностей [56, 57, 95, 99, 100].

На рис. 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].

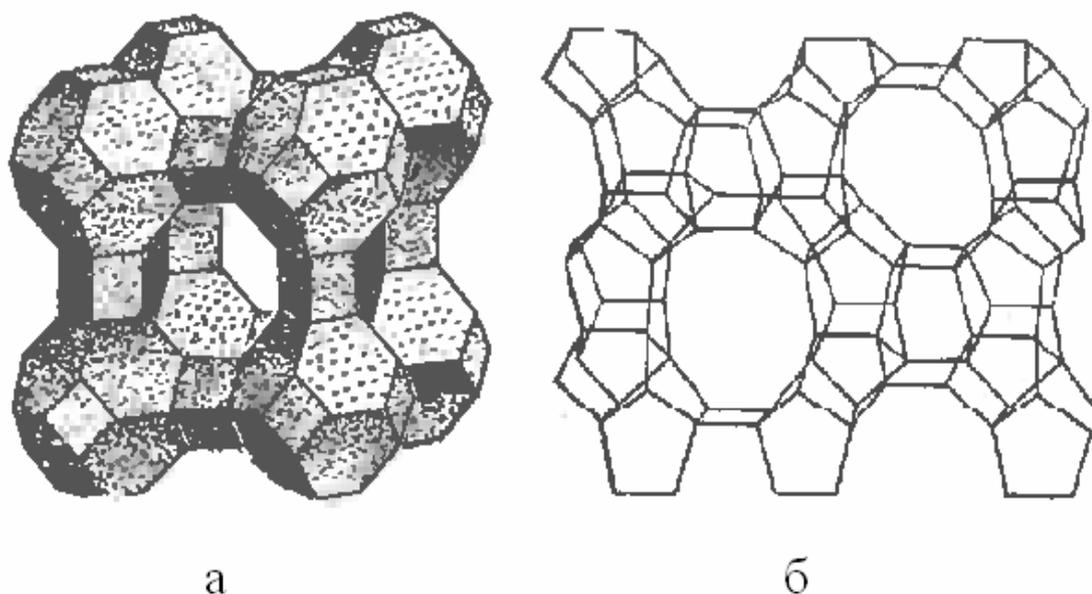


Рис. 1.5. Структура синтетического цеолита:
а – восьмичленные окна в синтетическом цеолите типа А;
б – десятичленные кольца в каркасе цеолитов

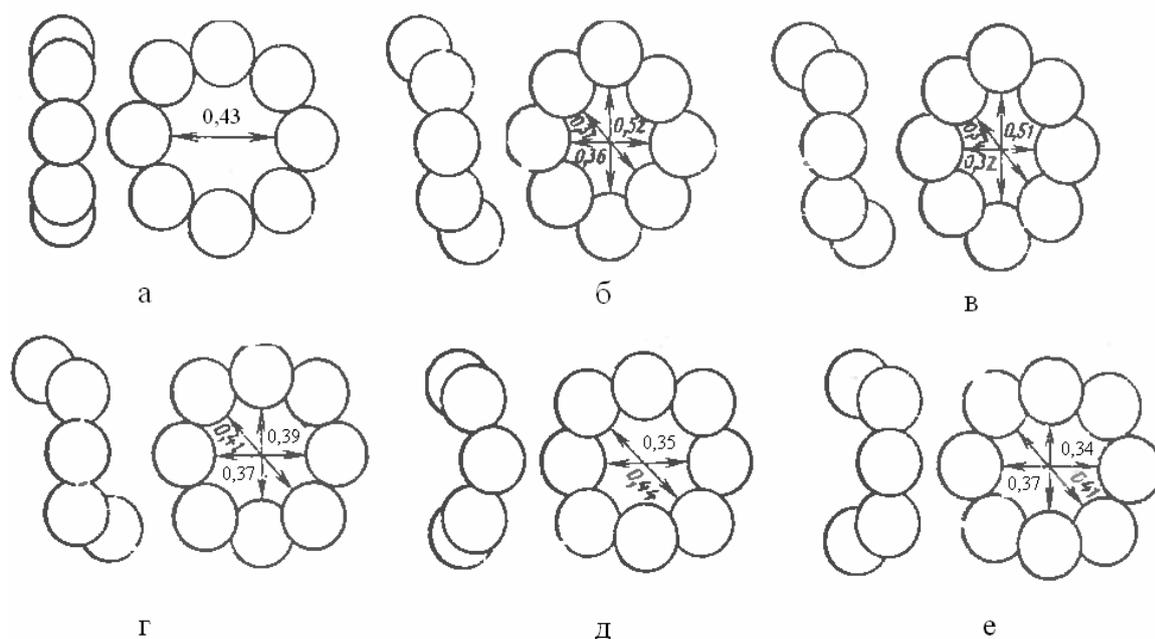


Рис. 1.6. Конфигурации и размеры кислородных колец в цеолитах [60]:
 а – цеолит Na-A; б – эрионит; в – левинит; г – шабазит;
 д – синтетический цеолит Na-PI; е – гмелнит

В работах [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, 163], алюмосиликатные минералы [141], другие цеолиты [155, 159] 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 аминосодержащего соединения из ряда: триэтаноламин, полиэтиленполиамин или мфенилендиамин, приготовление геля путем смешивания полученных растворов. Гель смешивают с диметилсульфоксидом и проводят гидротермальную кристаллизацию при температуре 70–100 °С.

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 алюмосиликата, 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 лабораторных условиях в цеолит можно путем ионного обмена или прямым синтезом ввести широкий набор других катионов. Общая формула цеолита $M_p D_q Al_{p2q} Si_r O_{2p4q2rs} H_2O$. Поскольку каждая вершина принадлежит двум тетрадрам, атомов кислорода в каркасе должно быть вдвое больше, чем Т-атомов. Чтобы заряд компенсировался, число трехзарядных ионов Al должно быть равно сумме р число однозарядных катионов и 2q удвоенное число двузарядных катионов.

Цеолиты имеют широкие поры, в которые после дегидратации могут проникать молекулы. Обменные катионы и алюмосиликатный каркас можно модифицировать химической обработкой, что позволяет 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. Топология алюмосиликатного каркаса является единственным признаком, по которому можно точно идентифицировать структуру цеолита.

Значительные объемы исследований в строительной отрасли посвящены методам получения синтетических алюмосиликатов [60, 61, 77, 90, 115, 164], однако, вопросы их применения в строительной отрасли освещены не полностью: не выявлен механизм взаимодействия синтетических алюмосиликатов с цементным вяжущим, не установлены закономерности структурообразования цементного композита. Это свидетельствует о целесообразности исследования возможности применения синтетических алюмосиликатов в цементных композитах.

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

Анализируя научно-техническую литературу выявлено, что применение синтетических 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.

2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ПРИСУТСТВИИ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

2.1. Физико-химические показатели добавки на основе синтетических алюмосиликатов для сухих строительных смесей

Для расширения рынка сырья и снижения поставок импортных добавок исследовалась возможность применения в рецептуре сухих строительных смесей синтетических алюмосиликатов, полученных осаждением алюмосиликатов из натриевого жидкого стекла сульфатом алюминия $Al_2(SO_4)_3$ [110].

Минеральную добавку получали осаждением алюмосиликатов из жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 путем введения 15 %-го 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].

Для синтеза добавки применялись следующие компоненты:

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

Т а б л и ц а 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°C, 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

Т а б л и ц а 2.2

Физико-химические показатели сульфата алюминия технического
(очищенного)

№ п/п	Наименование показателя	Норма для 1-го сорта
1	Внешний вид	Неслеживающиеся пластинки, брикеты, куски, неопределенной формы и разного размера массой не более 10 кг белого цвета. 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 ₂ SO ₄ , %, не более	Выдерживает испытание по пункту 4.8
6	Массовая доля мышьяка в пересчете на оксид мышьяка, %, не более	0,001

Физико-химические показатели минеральной добавки на основе синтетических алюмосиликатов представлены в табл. 2.3. 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 ± 5)°С. 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.

Т а б л и ц а 2.3

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

Количество растворимого в КОН вещества минеральной добавки определяли по формуле

$$M = \frac{P - P_1}{P} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

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 %-м растворе КОН и активностью добавки (в мг СаО на 1 г добавки) представлена в [12].

Микроструктура добавки на основе синтетических алюмосиликатов изучена при помощи электронного микроскопа и представлена на рис. 2.1 и 2.2.

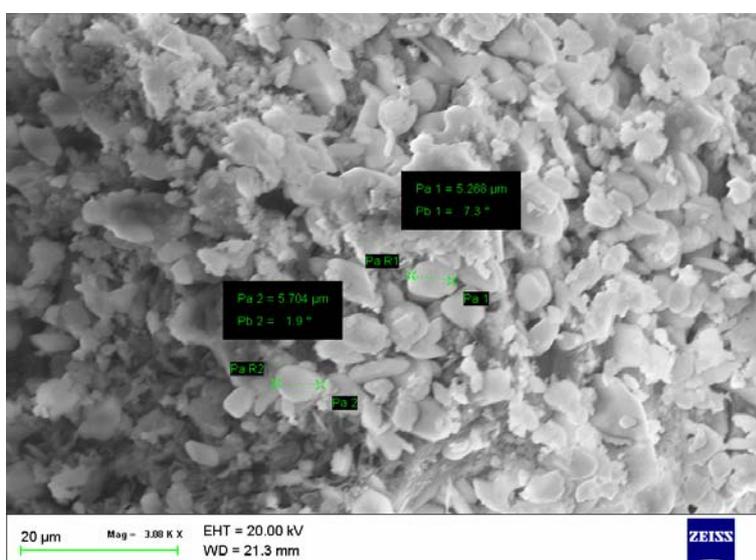


Рис. 2.1. Микроструктура синтетических алюмосиликатов

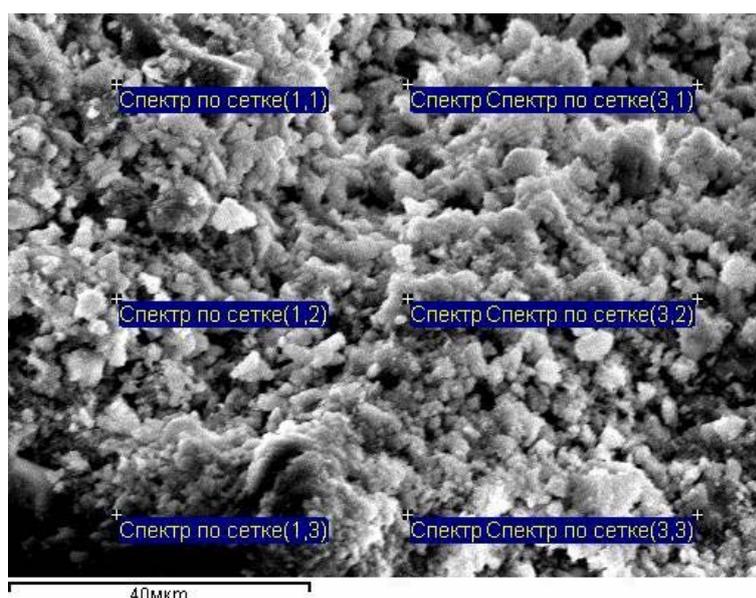


Рис. 2.2. Микроструктура добавки на основе синтетических алюмосиликатов

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. Удельная поверхность частиц, измеренная методом БЭТ, составила $S_{уд} = (68,6 \pm 3,5) \text{ м}^2/\text{г}$ [82]. Химический состав добавки на основе синтетических алюмосиликатов представлен в табл. 2.4 по спектрам, представленным на рис. 2.2.

Т а б л и ц а 2.4

Химический состав добавки на основе синтетического алюмосиликатов

Спектр (по данным рис. 2.2)	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
Макс.	60,69	24,23	8,29	31,26	18,69
Мин.	36,73	8,61	1,10	7,92	0,68

Анализ данных, приведенных в табл. 2.4, показал, что в составе добавки на основе синтетического алюмосиликата преобладает высокое содержание химических элементов, таких как – O, Si и Na – с содержанием соответственно 36,73-60,69 %, 7,92-31,26 % и 8,61-24,23 %.

2.2. Структурообразование цементной композиции в присутствии добавки на основе синтетических алюмосиликатов

В работе применяли портландцемент Вольский ПЦ 400–Д20 с 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].

Введение добавки на основе синтетических алюмосиликатов в рецептуру цементного композита приводит к ускорению сроков схватывания и увеличению значения нормальной густоты цементного теста. Полученные данные приведены в табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

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	2 ч 30мин	5 ч
10	34	50 мин	1 ч 40 мин
20	41	40 мин	1 ч 30 мин
30	43	20мин	1 ч 15 мин

Анализ данных, представленных в табл. 2.5, свидетельствует, что цементное вяжущее, содержащее синтетические алюмосиликаты, имеет более высокое значение нормальной густоты цементного теста, 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 % синтетических алюмосиликатов, соответственно – 40 мин и 1 ч 30 мин. С увеличением содержания добавки сроки схватывания ускоряются. Таким образом, присутствие в рецептуре цементного теста синтетических алюмосиликатов оказывает влияние на структурообразование цементного камня.

Для подтверждения полученных данных был изучен характер изменения реологических свойств цементного теста. 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

$$P_m = K_\alpha \frac{F}{h_m^2}, \quad (2.2)$$

где F – нагрузка на конус, г;

h_m – глубина погружения конуса, см;

K_α – константа конуса.

Цементное тесто имело одинаковое водоцементное соотношение В/Ц, равное В/Ц = 0,47. Результаты исследований приведены на рис. 2.3.

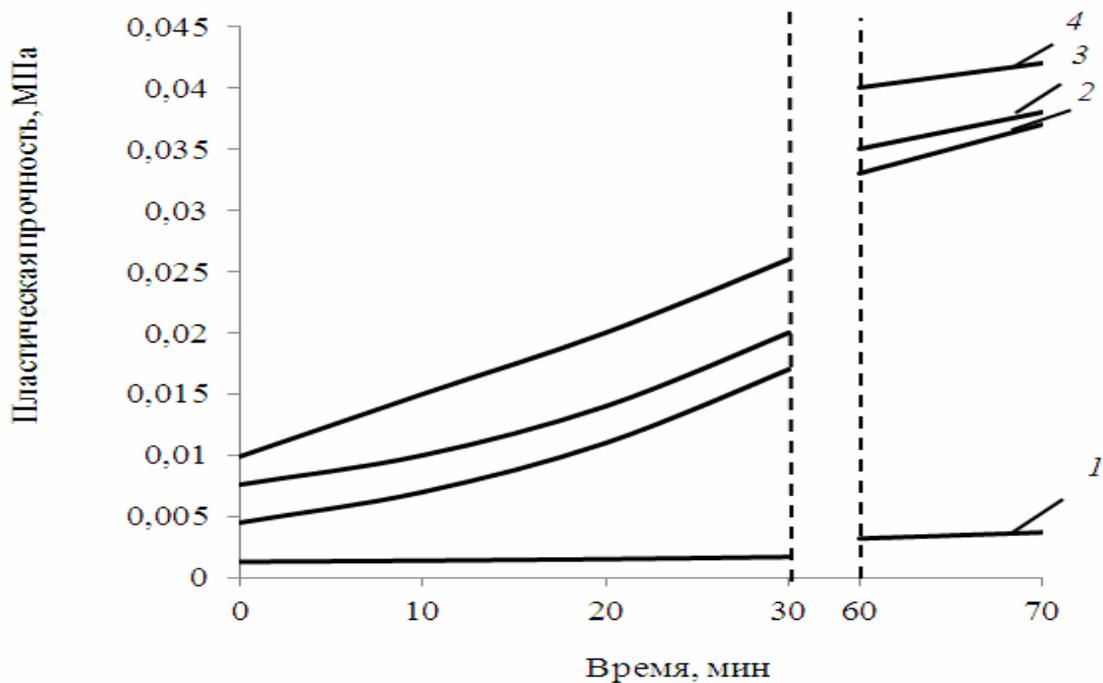


Рис. 2.3. Изменение пластической прочности цементного теста:
 1 – контрольный образец (без содержания синтетической добавки);
 2 – содержание синтетической добавки 10 % от массы цемента; 3 – содержание синтетической добавки 20 % от массы цемента; 4 – содержание синтетической добавки 30 % от массы цемента

Анализ пластограмм, представленных на рис. 2.3, подтверждает полученные ранее данные, что введение в рецептуру цементного теста добавки на основе синтетических алюмосиликатов приводит к более раннему структурообразованию.

Так, значение пластической прочности контрольного состава (без применения синтетических алюмосиликатов) в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,0015$ МПа (рис. 2.3, кривая 1), а при введении добавки на основе синтетических алюмосиликатов в количестве 10 %, 20 % и 30 % от массы вяжущего в возрасте 20 мин с момента затворения составляет соответственно $\tau = 0,011$ МПа (рис. 2.3, кривая 1), $\tau = 0,014$ МПа (рис. 2.3, кривая 2) и $\tau = 0,020$ МПа (рис. 2.3, кривая 3).

Исследовалось влияние дисперсности добавки на основе синтетических алюмосиликатов на изменение реологических свойств цементного теста. Смеси изготавливались с водоцементным соотношением В/Ц, равным $В/Ц = 0,47$. Применяли Вольский портландцемент с удельной поверхностью $S_{уд}$, равной $S_{уд} = 0,34$ м²/г. Содержание добавки составляло 20 % от массы цемента. Результаты исследований приведены на рис. 2.4.

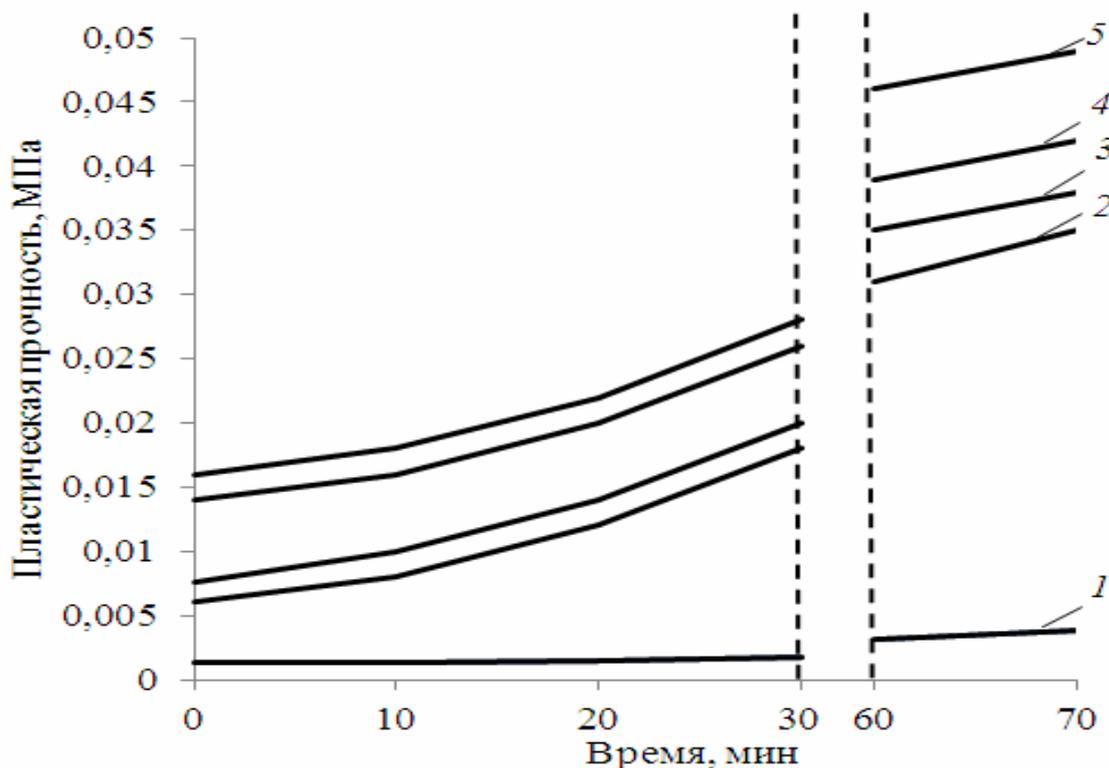


Рис. 2.4. Изменение пластической прочности цементного теста:
 1 – контрольный (без добавки); 2 – цементное тесто (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 1,03 \text{ м}^2/\text{г}$); 3 – цементное тесто (удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,69 \text{ м}^2/\text{г}$); 4 – цементное тесто (удельная 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 рис. 2.4, свидетельствует, что на время структурообразования цементного теста оказывает влияние величина удельной поверхности синтетической добавки. Так, значение пластической прочности цементного теста (контрольный состав) в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,0015 \text{ МПа}$ (рис. 2.4, кривая 1), а при введении в рецептуру синтетических алюмосиликатов пластическая прочность в возрасте 20 мин с момента затворения составила $\tau = 0,012\text{--}0,022 \text{ МПа}$ в зависимости от дисперсности добавки.

Полученные данные реологических характеристик цементного теста при введении в его рецептуру добавки на основе синтетических алюмосиликатов разной дисперсности подтверждаются результатами проведенного анализа кинетики твердения цементного камня (рис. 2.5). В рецептуру цементного теста вводили синтетическую добавку в объеме 20 % от массы цемента. Набор прочности цементных образцов проходил в воздушно-сухих условиях при температуре $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рис. 2.5, свидетельствует, что введение добавки на основе синтетических 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).

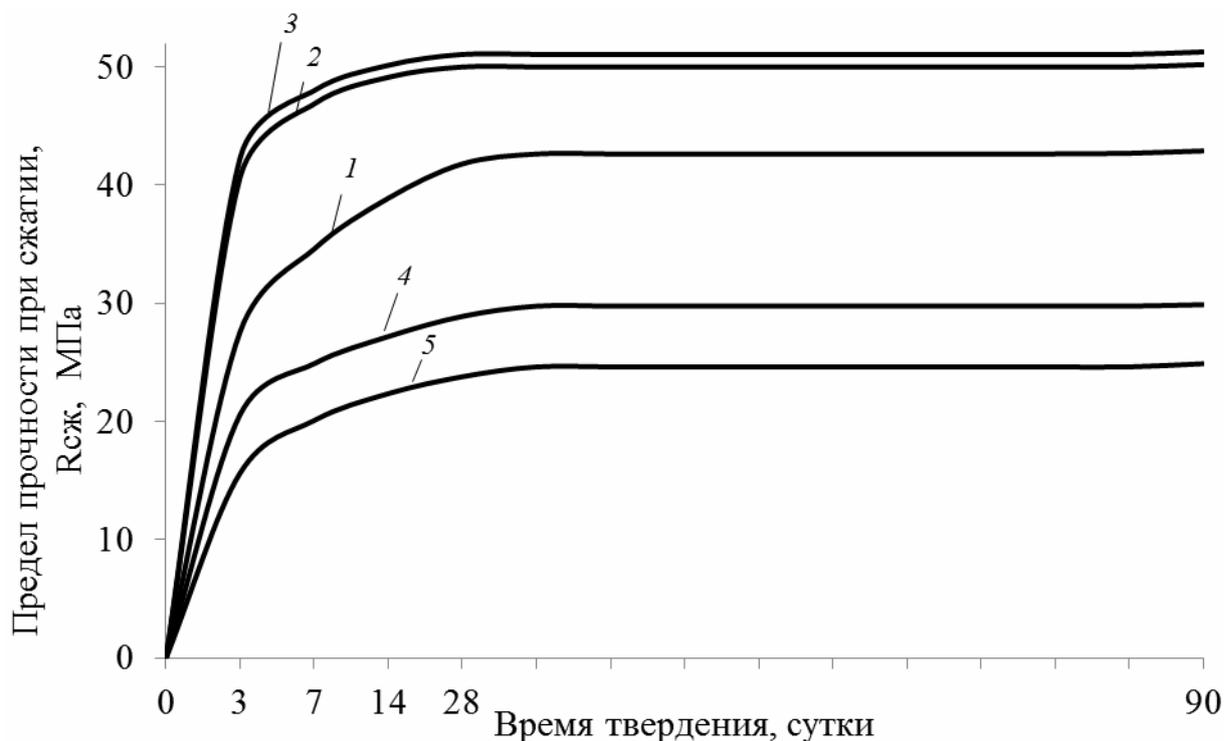


Рис. 2.5. Кинетика набора прочности образцов в воздушно-сухих условиях твердения:

1 – контрольный (без содержания синтетической добавки); 2 – удельная поверхность добавки $S_{уд} = 1,03$ м²/г; 3 – удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,69$ м²/г; 4 – удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,31$ м²/г; 5 – удельная поверхность добавки $S_{уд} = 0,1$ м²/г

Применение в рецептуре цементного камня добавки на основе синтетических алюмосиликатов с удельной поверхностью $S_{уд} = 0,31$ м²/г и $S_{уд} = 0,1$ м²/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 добавки на основе синтетических алюмосиликатов в его рецептуре, так и условия твердения образцов. Для подтверждения этого проведен анализ кинетики твердения цементного камня, в рецептуре которого присутствует добавка на основе синтетических алюмосиликатов, при разных условиях твердения: влажные (рис. 2.6) и воздушно-сухие (рис. 2.7).

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

Анализируя экспериментальные данные, представленные на рис. 2.6, установили, что при твердении во влажных условиях цементный камень, в

рецептуру которого введена добавка на основе синтетических алюмосиликатов, имеет более низкую прочность, чем контрольный образец (без добавки). Так, прочность при сжатии контрольного образца в возрасте 90 сут составила 56,7 МПа, а у образцов с содержанием синтетических алюмосиликатов 10–30 % от массы цемента соответственно 46,7–40,76 МПа.

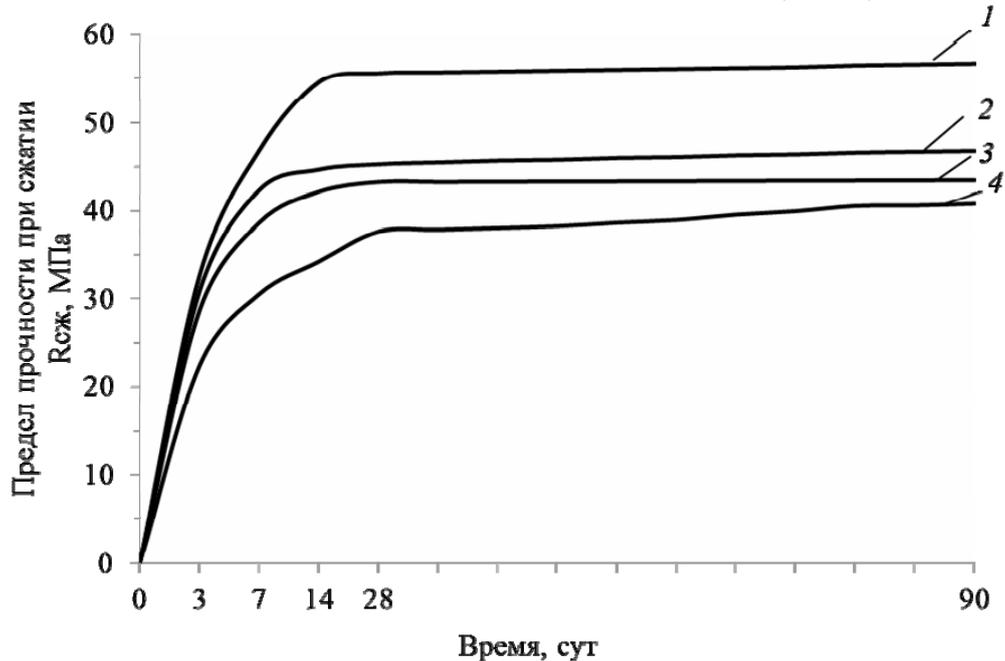


Рис. 2.6. Кинетика твердения цементных образцов во влажных условиях: 1 – контрольный (без содержания добавки); 2 – образец с содержанием 10 % добавки от массы цемента; 3 – образец с содержанием 20 % добавки от массы цемента; 4 – образец с содержанием 30 % добавки от массы цемента

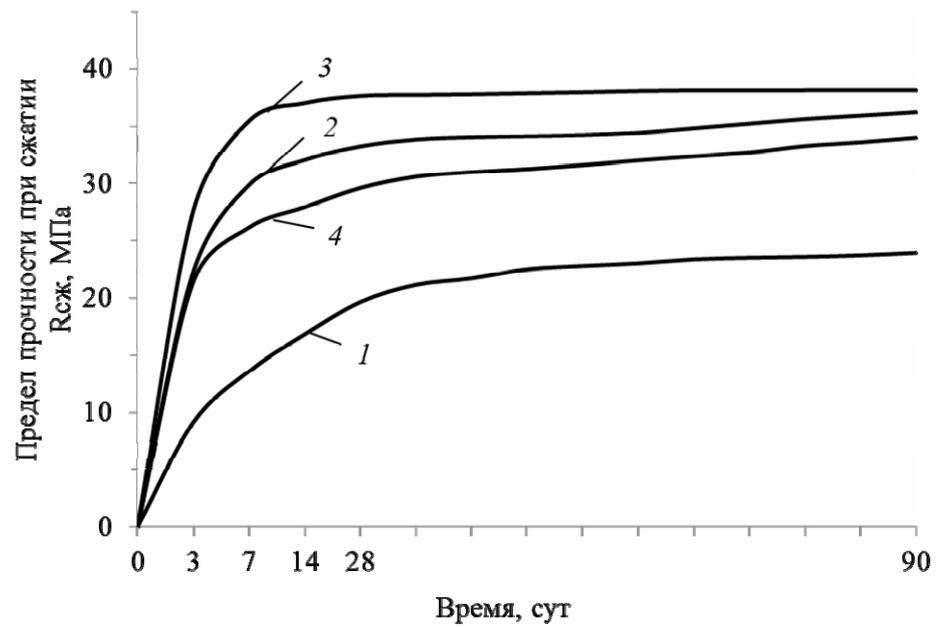


Рис. 2.7. Кинетика твердения цементных образцов в воздушно-сухих условиях: 1 – контрольный (без содержания добавки); 2 – образец с содержанием 10 % добавки от массы цемента; 3 – образец с содержанием 20 % добавки от массы цемента; 4 – образец с содержанием 30 % добавки от массы цемента

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рис. 2.7, свидетельствует, что при введении в рецептуру цементного камня добавки на основе синтетических алюмосиликатов повышается прочность при сжатии в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 40,2–52,7 % в зависимости от содержания добавки.

Анализируя рис. 2.6–2.7, выявлено, что твердение цементного камня, в рецептуре которого присутствует добавка на основе синтетических алюмосиликатов, проходит в более благоприятных влажностных условиях. Таким образом, можно предположить, что добавка на основе синтетических алюмосиликатов обладает влагоудерживающей способностью.

Для подтверждения этого была изучена кинетика высыхания цементных образцов при твердении в воздушно-сухих условиях. Исследуемые образцы изготавливались с водоцементным отношением В/Ц, равным $В/Ц = 0,43$. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.8.

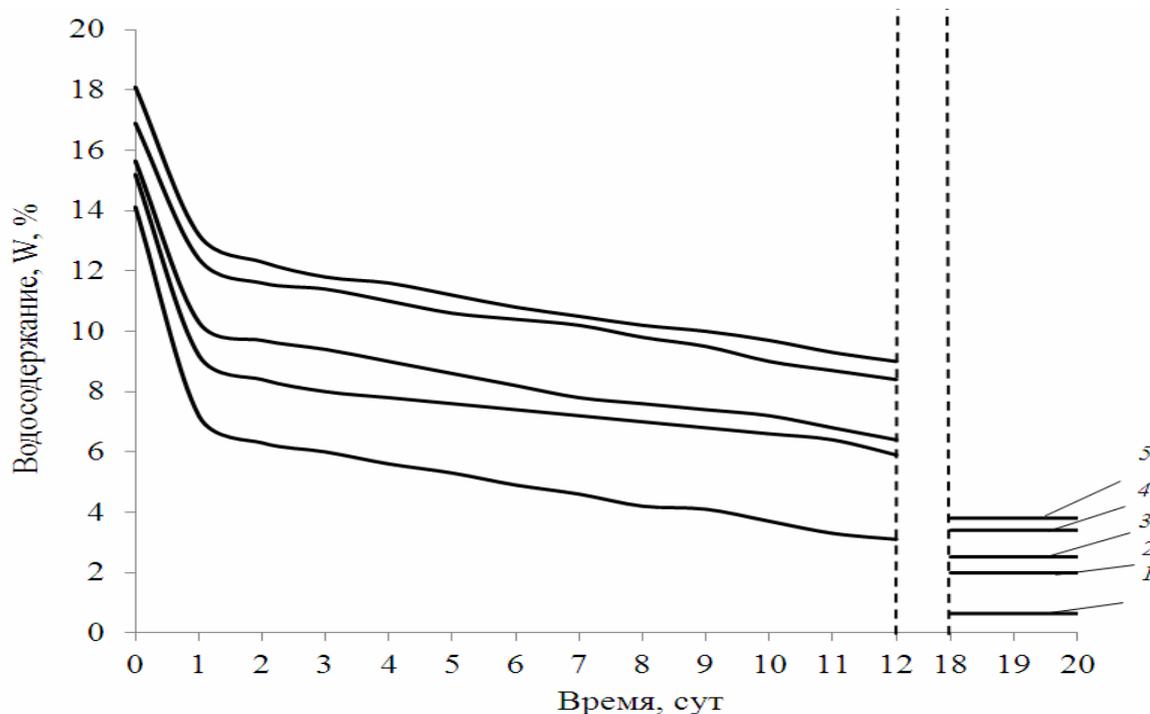


Рис. 2.8. Кинетика изменения влажности цементных образцов при твердении:
 1 – контрольный образец; 2 – содержание добавки 1 % от массы цемента;
 3 – содержание добавки 10 % от массы цемента; 4 – содержание добавки 20 % от массы цемента; 5 – содержание добавки 30 % от массы цемента

Анализ рис. 2.8 показал, что из образцов цементного камня без содержания добавки при воздушно-сухом твердении влага испаряется интенсивней (рис. 2.8, кривая 1) по сравнению с цементными образцами, в рецептуре которых содержится добавка на основе синтетических алюмосиликатов (рис. 2.8, 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 %. Полученные данные подтверждают, что цементный камень с содержанием в рецептуре синтетических алюмосиликатов обладает более выраженным водоудерживающим эффектом, чем контрольный образец (без добавки).

Для подтверждения полученных результатов исследован водоудерживающий эффект добавки на основе синтетических алюмосиликатов, применяемой в рецептуре цементного камня, в зависимости от ее процентного содержания (рис. 2.9).

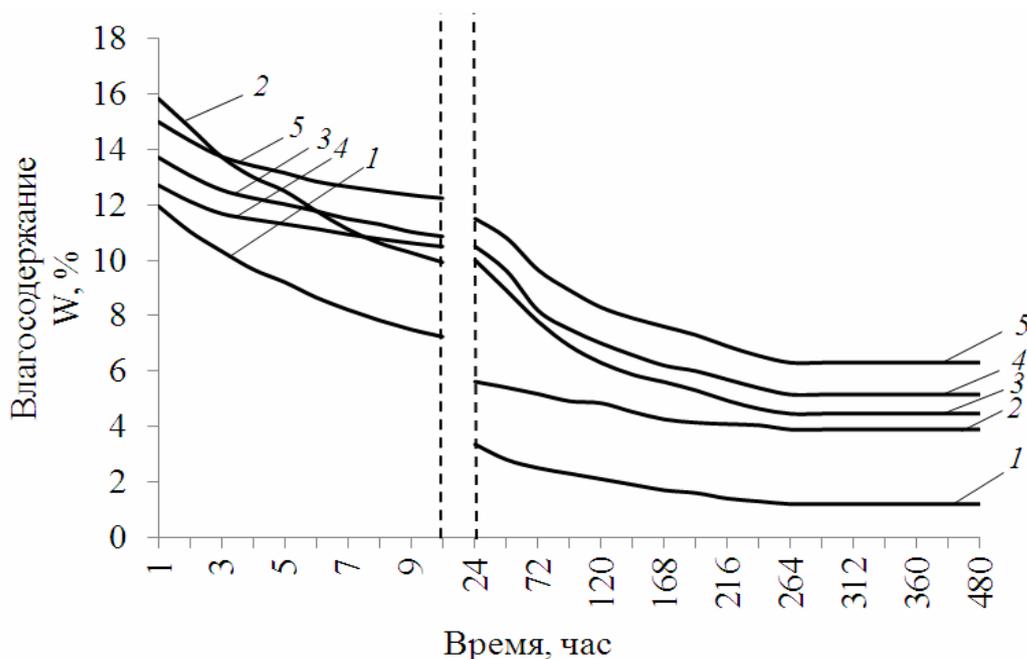


Рис. 2.9. Кинетика высыхания цементных образцов:
 1 – контрольный образец (без содержания добавки); 2 – содержание синтетических алюмосиликатов 1 % от массы цемента; 3 – содержание добавки 10 % от массы цемента; 4 – содержание добавки 20 % от массы цемента; 5 – содержание добавки 30 % от массы цемента

Анализ данных рис. 2.9 установил, что добавка на основе синтетических 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 % (рис. 2.9, кривая 1), а у цементного камня с содержанием добавки в количестве 1–30 % соответственно составило 3,89–6,3 % в зависимости от содержания добавки (рис. 2.9, кривая 2–5).

Для сравнения водоудерживающего эффекта добавки на основе синтетических алюмосиликатов были выбраны добавки метилцеллюлоза марки ФМС 2094 и Vermokool 425 [69, 79].

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

Т а б л и ц а 2.6

Свойства водоудерживающей добавки Vermocoll CCA 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 табл. 2.7 представлены физико-химические характеристики водоудерживающей добавки МЦ марки FMC 2094.

Т а б л и ц а 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 °С
5	рН (1 %-й водный раствор)	5,5 – 8,0

Результаты испытаний приведены на рис. 2.10.

Анализ данных рис. 2.10 установил, что добавка на основе синтетических 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 синтетических алюмосиликатов в количестве 1 % от массы цемента влагосодержание на 20-е сутки (480 ч) твердения составило 3,89 % (рис. 2.10, кривая 2), а у цементного камня с содержанием 1 % метилцеллюлозы марки FMC 2094 и 1 % Vermokool 425 соответственно – 1,9 % (рис. 2.10, кривая 3) и 1,5 % (рис. 2.10, кривая 4).

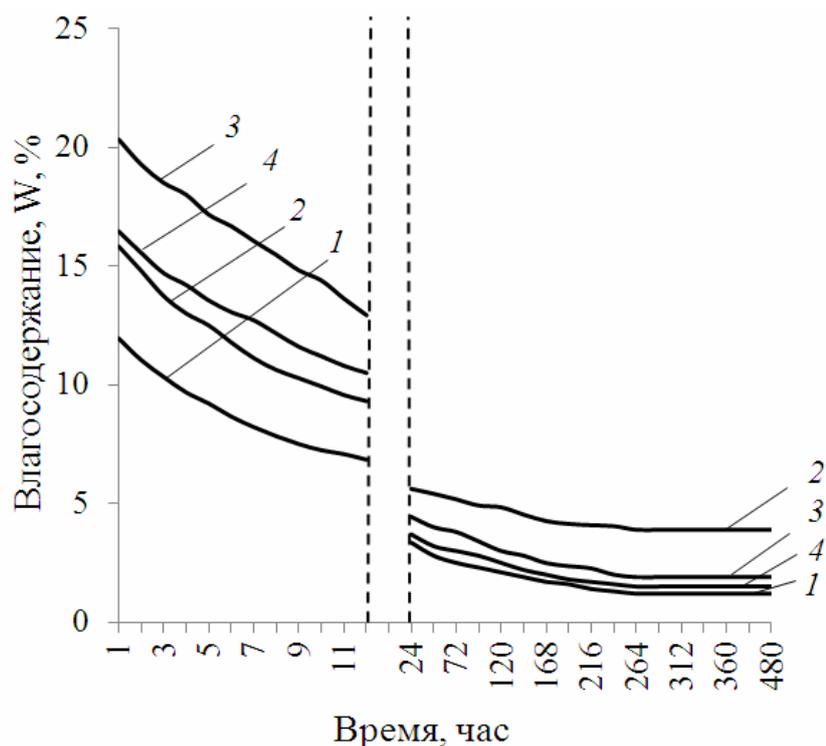


Рис. 2.10. Кинетика высыхания цементных образцов:
 1 – контрольный образец; 2 – содержание синтетических алюмосиликатов 1 % от массы цемента; 3 – содержание добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 – 1 % от массы цемента; 4 – содержание добавки Вермоскоол 425 – 1 % от массы цемента

Наличие в рецептуре добавки на основе синтетического алюмосиликата способствует изменению рН жидкой фазы цементного теста (рис. 2.11). Проводили измерение кинетики изменения рН раствора при твердении образцов с помощью рН-метра марки «Аквилон». В цементный раствор (контрольный образец) и раствор 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.

Как видно из приведенных на рис. 2.11 данных, для жидкой фазы цементного теста контрольного образца характерно более высокое начальное значение водородного показателя рН, равного 12,08, в то время как у цементного теста с применением синтетической добавки в количестве 10 % и 20 % показатель рН составляет соответственно 11,88 и 11,50. Это объясняется, очевидно, взаимодействием аморфной фазы синтетической добавки с гидроксидом кальция, что приводит к уменьшению концентрации последнего в жидкой фазе цементного теста, а также химическим составом добавки на основе синтетических алюмосиликатов.

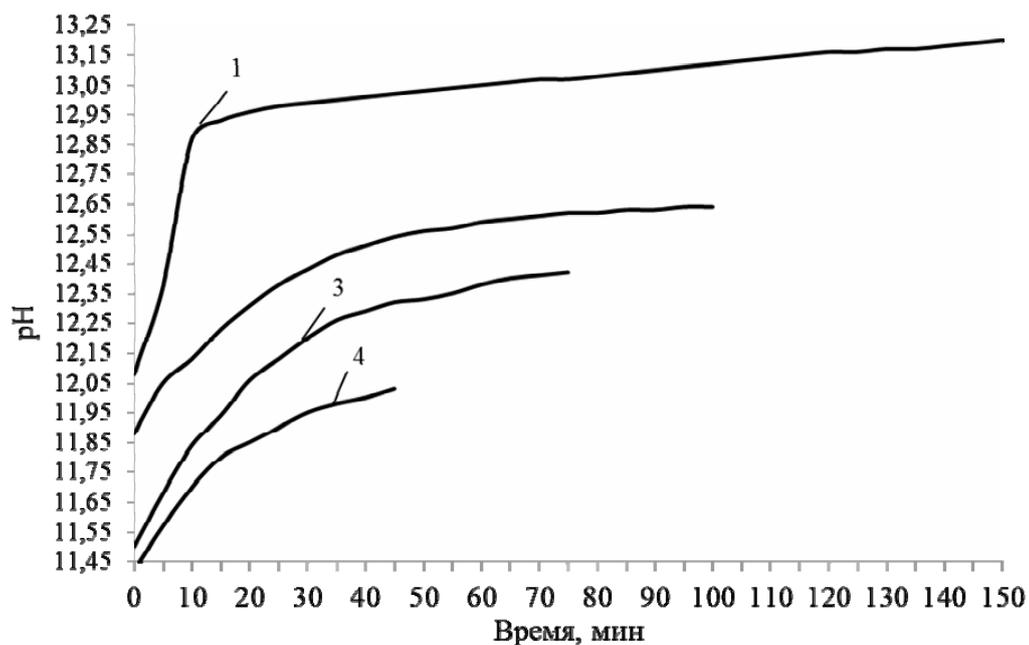


Рис. 2.11. Изменение показателя pH жидкой фазы цементного теста:
 1 – контрольный образец; 2 – содержание добавки 10 % от массы цемента;
 3 – содержание добавки 20 % от массы цемента;
 4 – содержание добавки 30 % от массы цемента

Оценивалась также кинетика тепловыделения при твердении цементного вяжущего в присутствии добавки на основе синтетических алюмосиликатов. 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.

Результаты исследований представлены на рис. 2.12.

Из представленных данных (рис. 2.12) 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 синтетических 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 синтетических алюмосиликатов был проведен рентгенофазовый и дифференциально термический анализы (РФА и ДТА) образцов цементного камня, твердевшего в воздушно-сухих условиях.

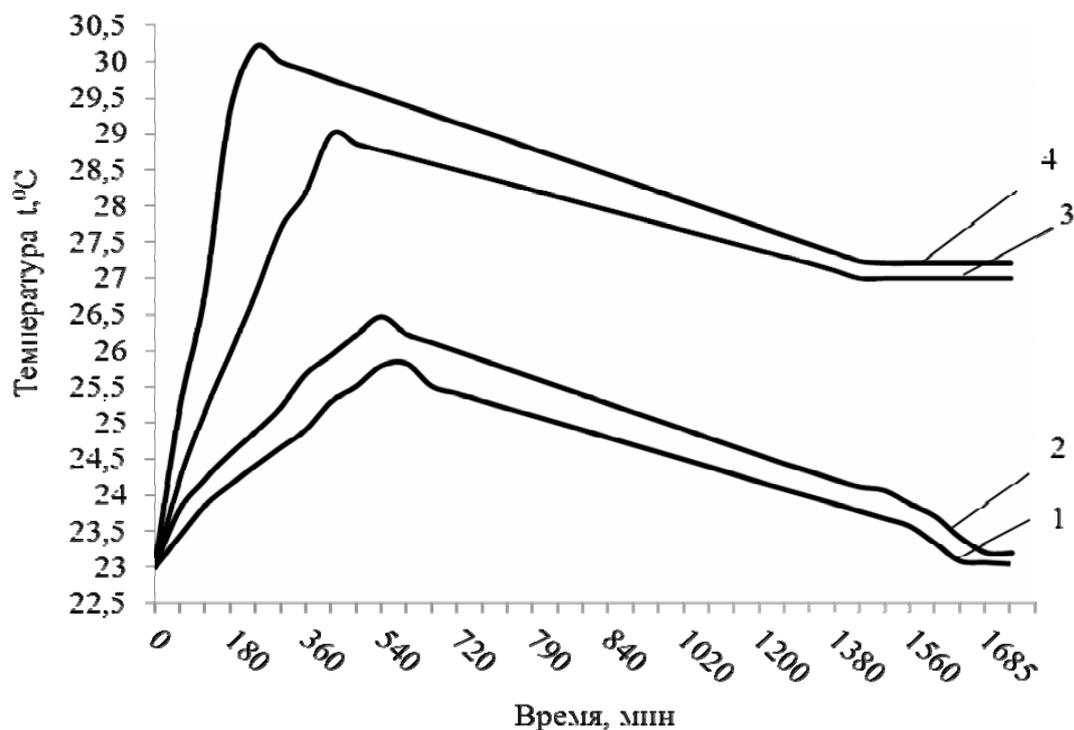


Рис. 2.12. Кинетика тепловыделения при твердении образцов:
 1 – контрольный образец; 2 – содержание добавки 10 % от массы цемента;
 3 – содержание добавки 20 % от массы цемента; 4 – содержание добавки 30 % от массы цемента

Анализ фазового состава цементного камня, определяемого на 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 (Å) = 6,57, 4,93, 3,11, 2,67, 2,62, 2,28), гидросиликаты CSH (d (Å) = 6,46, 5,74, 3,21), эттрингит (d (Å) = 5,61, 4,704), гидроалюминаты кальция (d (Å) = 5,30, 5,14, 4,44, 4,303, 3,50, 2,80, 2,30), CSH(II) (d (Å) = 2,88, 2,00, 1,83), тоберморит (d (Å) = 4,89, 3,09, 3,03, 2,78), гидроферрит кальция (d (Å) = 4,50, 4,48, 2,70) и кальцит CaCO_3 (d (Å) = 3,88, 2,75, 2,204, 2,189, 2,088) (рис. 2.13).

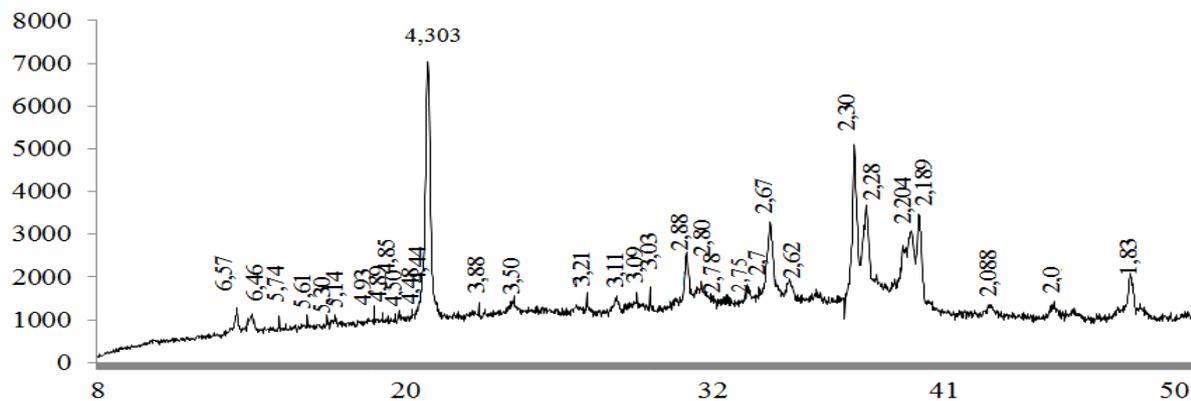


Рис. 2.13. Рентгенограмма цементного камня

При малых углах (до 20°) наблюдаются следующие соединения: портландит (d (Å) = 7,32, 6,62, 6,28, 4,92, 4,63), гидросиликаты CSH (d (Å) = 9,8, 6,46, 5,77), этtringит (d (Å) = 9,73, 7,00, 5,61, 4,704), гидроалюминаты кальция (d (Å) = 10,60, 8,20, 6,71, 6,34), гидроферрит кальция (d (Å) = 7,60, 5,46, 5,18, 4,50, 4,48) и тоберморит (d (Å) = 11,5, 6,00, 5,86) (рис. 2.14) [11, 78].

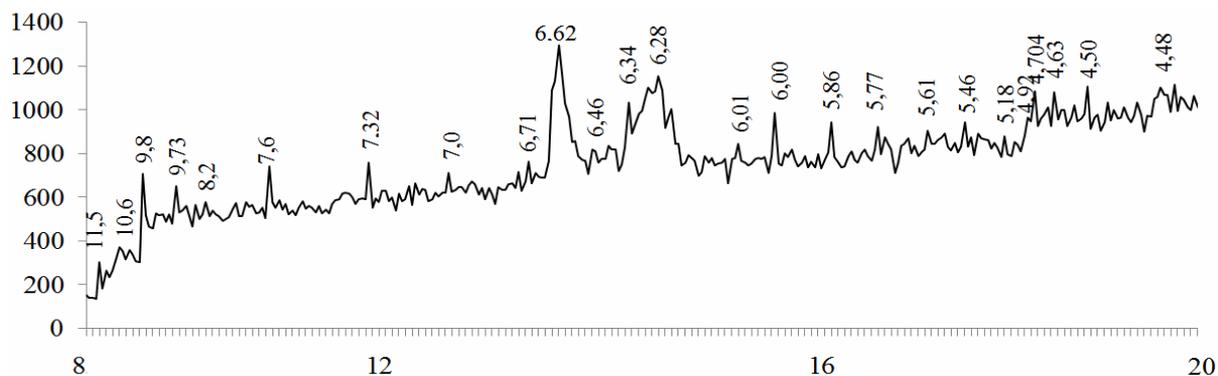


Рис. 2.14. Рентгенограмма цементного камня при малых углах

Минералогический состав цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов представлен такими минералами, как портландит (d (Å) = 4,93, 2,67, 2,28), гидросиликаты CSH (d (Å) = 6,62, 6,46, 6,42), этtringит (d (Å) = 4,704, 3,88), гидроалюминаты кальция (d (Å) = 4,48, 4,303, 2,30), CSH(II) (d (Å) = 2,88, 2,00, 1,83), белит (d (Å) = 2,67, 2,74, 2,61, 2,189), C_3A (d (Å) = 2,72, 2,204, 2,04), цеолит (d (Å) = 3,21, 3,37), $CaNaHSiO_4$ (d (Å) = 2,84, 2,23), гидросиликат алюминия (d (Å) = 4,67, 3,45, 3,14), кальцит $CaCO_3$ (d (Å) = 3,86, 2,42, 2,088, 1,86), натролит (d (Å) = 6,53, 3,64, 3,18), $Ca_3Al_2[SiO_4]_{1.53}(OH)_{5.88}$ (d (Å) = 3,043, 2,72, 2,22), гидросиликаты гидраты натрия (d (Å) = 6.25, 4.099, 3.92) и гидроферрит (d (Å) = 4,5, 3,19, 1,7) (рис. 2.15).

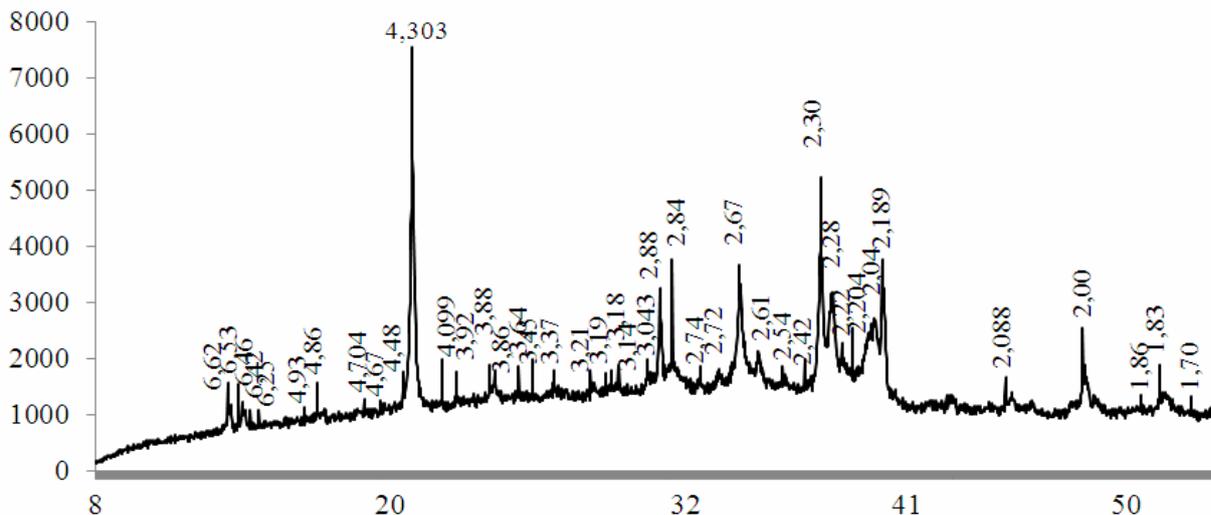


Рис. 2.15. Рентгенограмма цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов

При малых углах (до 20°) идентифицированы гидросиликаты CSH (d (Å) = 6,62, 6,46, 6,42), эттрингит (d , (Å) = 5,61, 5,62), CSH(II) (d (Å) = 8,67, 6,51), цеолит (d (Å) = 10,67, 7,54, 6,16, 5,48), гидроалюминаты кальция (d (Å) = 8,2, 7,8, 5,14, 4,86, 4,50, 4,48), гидросиликаты гидраты натрия (d (Å) = 6,25) и натролит (d (Å) = 6,53) (рис. 2.16).

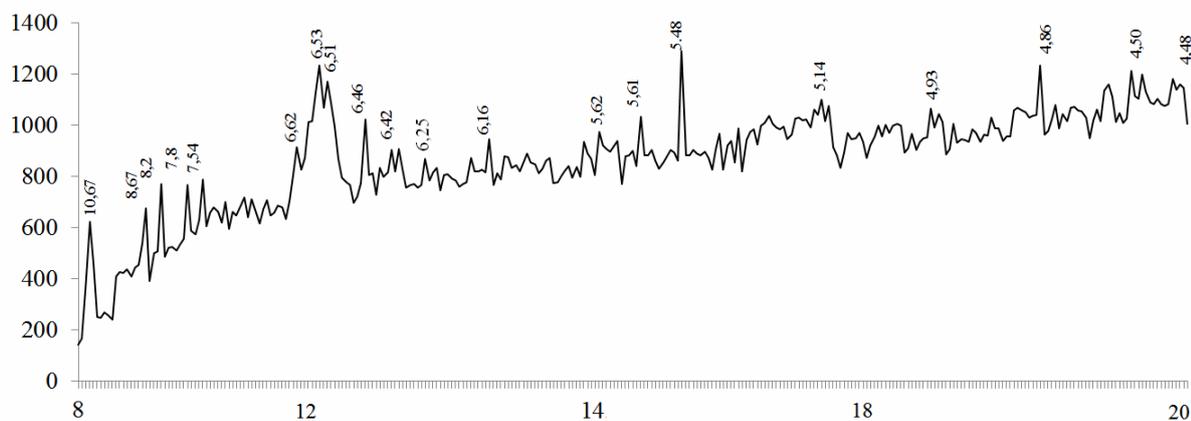


Рис. 2.16. Рентгенограмма цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов при малых углах

Анализируя полученные данные можно утверждать, что цементный камень с применением в рецептуре синтетической добавки имеет больше гидратных образований, что дополнительно подтверждается при дифференциальном термическом анализе (ДТА) (рис. 2.17–2.18). Дериватограммы образцов были получены на дериватографе Q – 1500. Программный нагрев печей от 20 до 1000 °С осуществлялся электронным термонагревателем со скоростью 20 °С/мин. Платиновой термопарой с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$ производится измерение температуры, при этом со скоростью развертки 2,5 мм/мин четырехканальным самописцем на бумаге регистрировался сигнал. Разность температур между изучаемым веществом и эталоном, пропорциональная тепловому эффекту, записывалась в виде ДТА кривой (чувствительность 500 мкВ). Одновременно с кривой ДТА проходила запись кривой потери веса и ее производной (чувствительность 500 мкВ).

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

Анализ термограмм (рис. 2.17 – 2.18) 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 гидросульфалою-

мината кальция. Эндозффект при температуре 320 °С показывает, что в цементном камне происходит образование кубического гидроалюмината C_2AH_6 . Вследствие водоудерживающих свойств добавки на основе синтетических цеолитов твердение цементного камня в ее присутствии происходит в более благоприятных условиях. Уменьшение интенсивности эндозффекта 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 цеолитами с образованием $CaNaHSiO_4$, $Na_{8.4}Ca_{3.2}Si_{36.4}Al_{11.6}O_{96} \cdot 5H_2O$ и $Ca_3Al_2[SiO_4]_{1.53}(OH)_{5.88}$.

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

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 синтетических цеолитов, показывает наличие в составе тоберморита $5Ca \cdot 6SiO_2 \cdot 9H_2O$, переходящего в волластонит.

В работе также оценивалось содержание свободной и химически связанной воды в цементном камне в зависимости от процентного содержания добавки. Результаты исследований приведены в табл. 2.8.

Т а б л и ц а 2.8

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

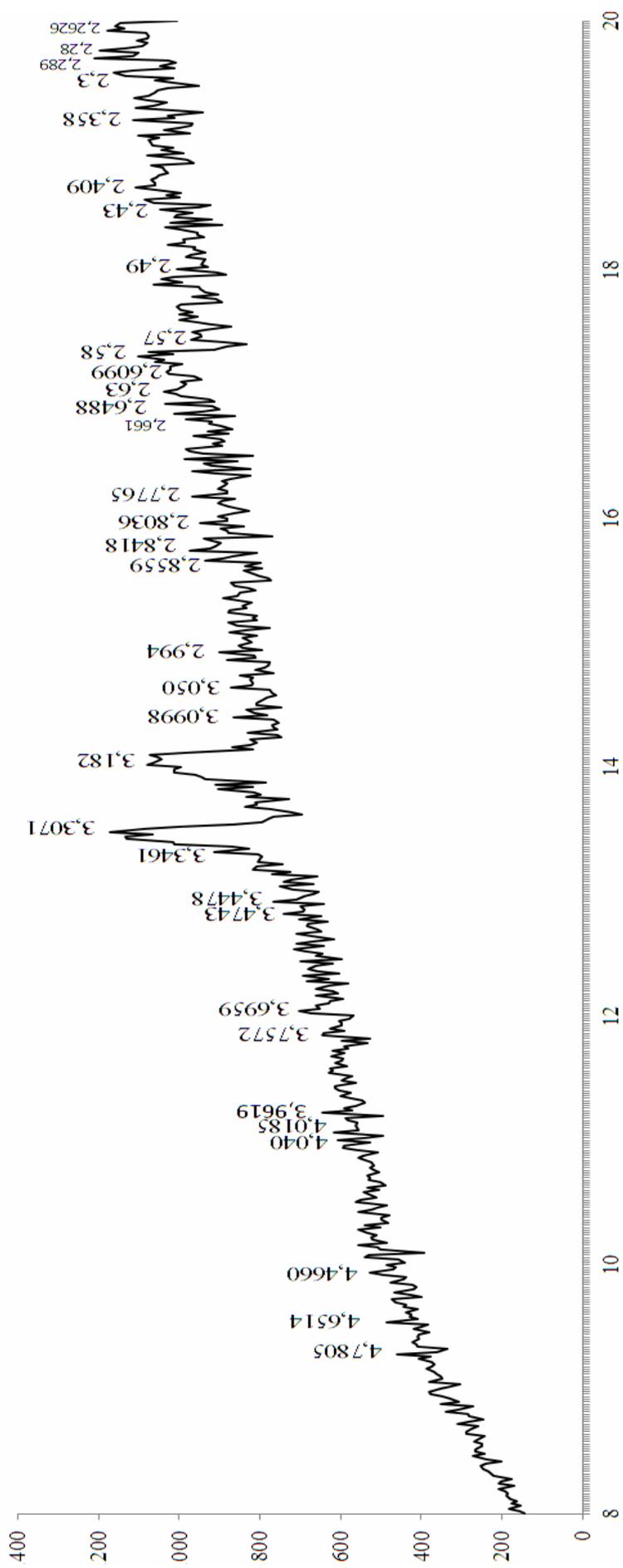


Рис. 2.16. Рентгенограмма цементного камня с применением в рецептуре синтетических алюмосиликатов при малых углах

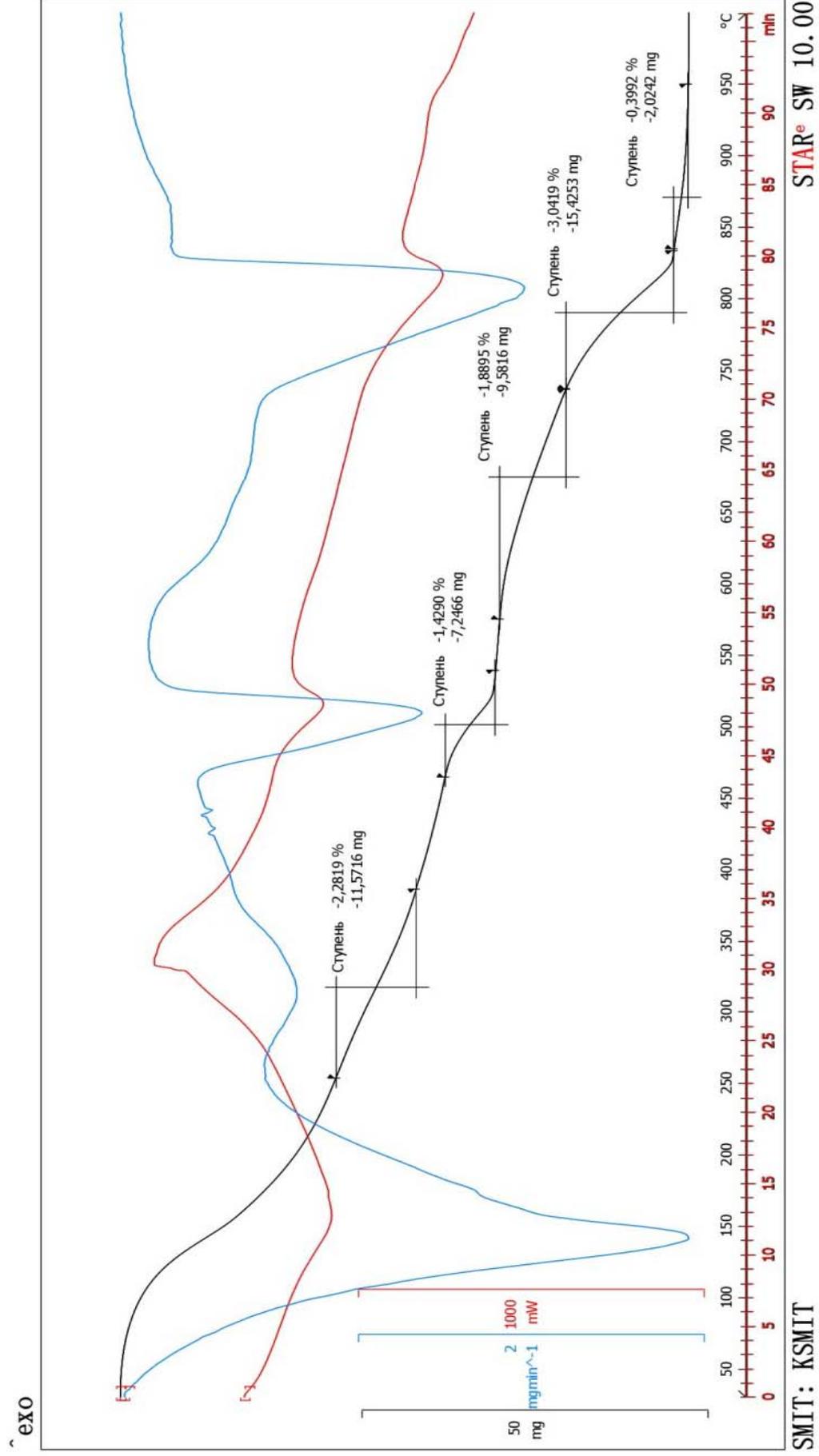


Рис. 2.17. Термограмма контрольного образца цементного камня

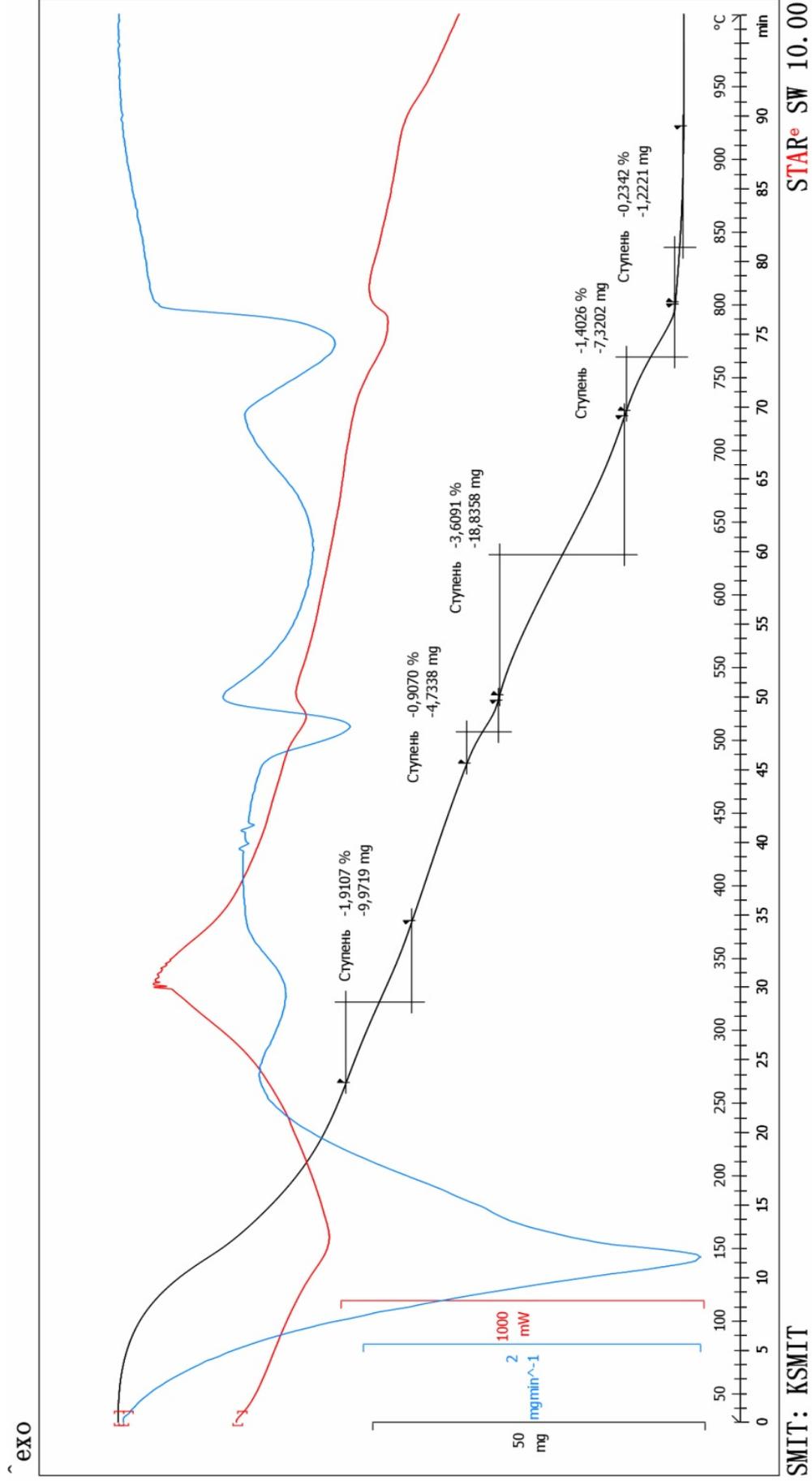


Рис. 2.18. Термограмма образца цементного камня с применением в рецептуре добавки на основе синтетических цеолитов

Как видно из данных, приведенных в табл. 2.8, в цементном камне, содержащим в рецептуре добавку на основе синтетических 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 синтетических алюмосиликатов составляет соответственно 6,1 и 17,0 %.

Для дополнительного подтверждения полученных результатов нами определялось количество свободной извести в цементных образцах в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения. Установлено уменьшение количества свободной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне, в рецептуре которого присутствует добавка на основе синтетических 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 синтетической добавки со свободной известью.

Рассмотрена топология структуры цементного камня с применением в рецептуре синтетических 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 синтетического алюмосиликата S рассчитывалось при известном счетном количестве частиц каждого компонента. Счетные количества частиц рассчитывали по формулам:

$$n_{\text{ц}} = \frac{6m_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ц}} \pi d_{\text{ц}}^3}, \quad (2.4)$$

$$n_{\text{д}} = \frac{6m_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}} \pi d_{\text{д}}^3}. \quad (2.5)$$

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 синтетического алюмосиликата;

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

Количество частиц n рассчитывали по формуле:

$$n = \frac{V_{\text{мат}}}{V_{\text{шара}}}, \quad (2.6)$$

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

$V_{\text{шара}}$ – объем частицы.

Соотношение количества цементных частиц относительно частиц синтетического алюмосиликата C вычислялось по формулам:

$$C = \frac{n_d}{n_c} = \frac{m_d \rho_c d_c^3}{m_c \rho_d d_d^3}, \quad (2.7)$$

или через удельную поверхность:

$$C = \frac{m_d \rho_d^2 S_d^3}{m_c \rho_c^2 d_c^3}. \quad (2.8)$$

где d_c^3 и d_d^3 – соответственно диаметр частиц цемента и добавки;

S_c и S_d – соответственно удельная поверхность цемента и синтетической добавки [67].

Результаты расчета приведены в табл. 2.9. Установлено, что при удельной поверхности цемента $S_{уд} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$ и удельной поверхности добавки на основе синтетических алюмосиликатов $S_{уд} = 1029,8 \text{ м}^2/\text{кг}$ соотношение частиц составляет $C = 4,5$, а при удельной поверхности добавки $S_{уд} = 311,1 \text{ м}^2/\text{кг}$ – $C = 0,1$.

Т а б л и ц а 2.9

Соотношение частиц цемента и добавки на основе синтетических 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 синтетической добавки. 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 синтетической добавки (рис. 2.19).

Суммарный объем частиц добавки на основе синтетических алюмосиликатов рассчитывался по формуле

$$V_d = \frac{\pi d_d^3}{6} n_d. \quad (2.9)$$

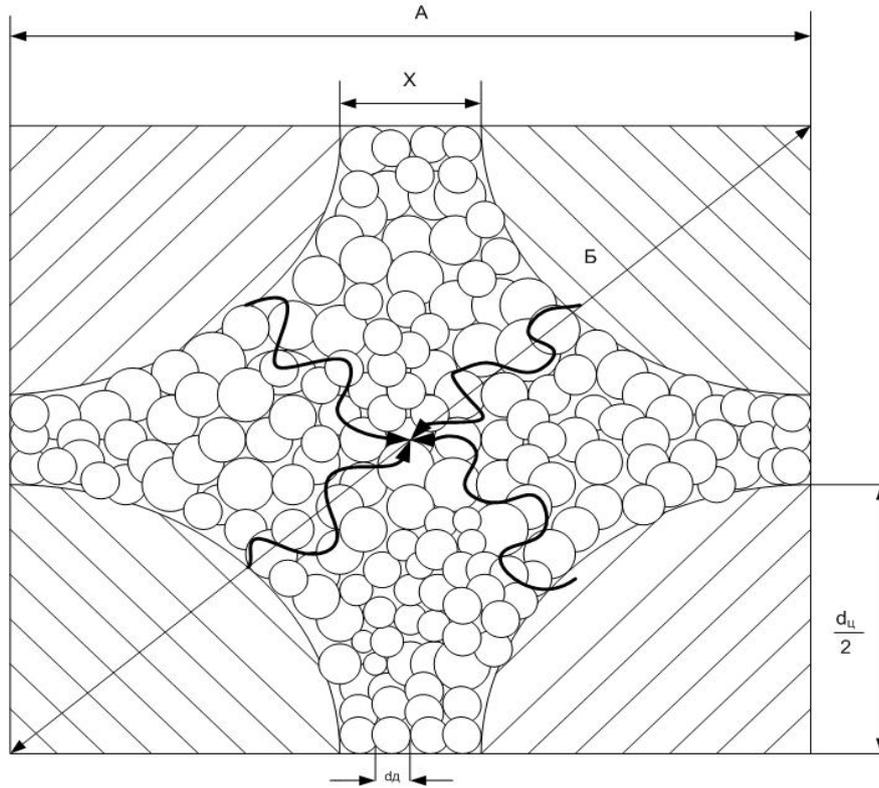


Рис. 2.19. Идеализированная топология структуры цементного вяжущего с применением в рецептуре синтетической добавки и пути переноса продуктов гидратации цемента при монодисперсных частицах синтетической добавки

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

$$V_d = \frac{\pi d_d^3}{6} C. \quad (2.10)$$

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

$$V_я = A^3 = \frac{\pi d_ц^3}{6} + \frac{\pi d_ц^3}{6} C K_{уп}, \quad (2.11)$$

откуда

$$A = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} (d_ц^3 + d_ц^3 C K_{уп})}. \quad (2.12)$$

Для принятых характеристик синтетической добавки и цемента, вычисленного значения $C = 4,5$; $1,3$ и рассчитанного $K_{уп} = 0,74$ получим, соответственно, $A = 5,3 \cdot 10^{-6}$ м, $A = 6,1 \cdot 10^{-6}$ м. Расстояние X между по-

верхностями цементных частиц по ребру элементарной ячейки будет рассчитано по формуле

$$X = A - d_{\text{ц}}. \quad (2.13)$$

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:

$$Y = \sqrt{2}A - d. \quad (2.14)$$

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:

$$Z = \sqrt{3}A - d. \quad (2.15)$$

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 (рис. 2.19) следует, что для связывания гидратированных частиц цемента с частицами добавки на основе синтетических алюмосиликатов при воздушно-сухих условиях твердения необходима миграция продуктов гидратации цементного вяжущего в контактные зоны частиц добавки на основе синтетических алюмосиликатов. Наиболее удаленными от поверхности зонами являются центр куба и центр его грани.

Транспорт химических продуктов должен осуществляться на расстояние от поверхности, равном $t/2 = 0,8 \cdot 10^{-6}$ м и $t/2 = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м. В такой системе перколяционного кластера из связанных пленочной водой частиц синтезированной добавки протекание осуществляется по наиболее проницаемым тетраэдрическим пустотам к контактным участкам. Прочность композиции 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 топологии структуры композиционных вяжущих позволяет более правильно объяснить механизм формирования прочности цементного композита с применением синтетических алюмосиликатов.

Введение в рецептуру цементного композита добавки на основе синтетических алюмосиликатов приводит к изменению его пористости

(табл. 2.10). Пористость цементного камня определялась по полученным значениям содержания свободной и химически связанной воды в цементном камне и его водоцементному соотношению. Расчет проводился по следующим формулам [17]:

$$П_1 = \frac{В/Ц - 0,5 \cdot \alpha}{В/Ц + 0,32} \cdot 100, \quad (2.16)$$

$$П_2 = \frac{0,09 \cdot \alpha}{В/Ц + 0,32} \cdot 100, \quad (2.17)$$

$$П_3 = \frac{0,2 \cdot \alpha}{В/Ц + 0,32} \cdot 100, \quad (2.18)$$

$$П_{\text{общ}} = \frac{В/Ц - 0,21 \cdot \alpha}{В/Ц + 0,32} \cdot 100, \quad (2.19)$$

где $П_1$ – капиллярная пористость, %;

$П_2$ – контракционная пористость, %;

$П_3$ – гелевая пористость, %;

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

$В/Ц$ – водоцементное соотношение;

α – степень гидратации цемента, определяемая по формуле

$$\alpha = 4 \cdot W_n, \quad (2.20)$$

где W_n – количество химически связанной воды.

Открытая пористость определялась по следующей формуле:

$$П_{\text{отк}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{ест}}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100, \quad (2.21)$$

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;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность воды, принимаемая $\rho = 1000$ кг/м³.

Т а б л и ц а 2.10

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 табл. 2.10, в цементном камне с применением синтетических 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, 138, 146, 153]. 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 рис. 2.20 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.

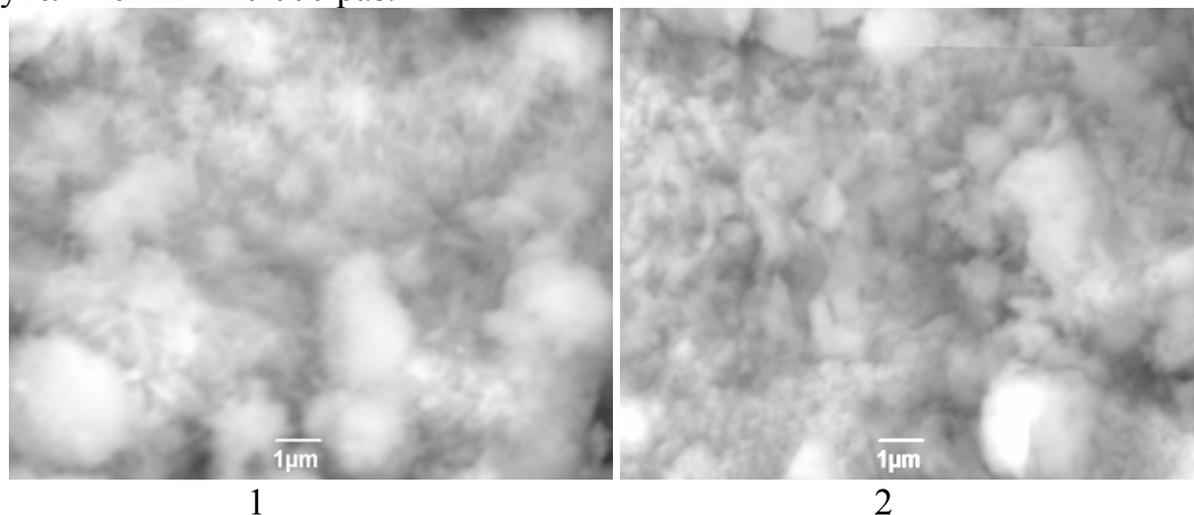


Рис. 2.20. Микроструктура образцов:
1 – контрольный образец, 2 – образец с добавкой 10 % от массы цемента

Результаты анализа микроструктуры образца с добавкой на основе синтетических цеолитов (рис. 2.20, изображение 2) показали, что структура характеризуется меньшими размерами частиц новообразований. Наблюдается связь волокон гидросиликатов с сотовидной решеткой синтезированных алюмосиликатов. Микроструктура контрольного образца (рис. 2.20, изображение 1), в свою очередь, характеризуется большим размером частиц, которые находятся на значительном расстоянии друг от друга.

3. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ СУХОЙ КЛЕЕВОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

3.1. 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 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, 150]. В связи с этим, при разработке рецептуры ССС, преимущество отдавалось пескам со смешанным зерновым составом. В табл. 3.1 представлены гранулометрические составы (процентные содержания фракций) песков Чаадаевского и Ухтинского месторождений.

Т а б л и ц а 3.1

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

Изучение гранулометрических характеристик песка имеет практическую значимость, т.к. пустотность заполнителя в рецептуре ССС определяет расход вяжущего [63, 156, 160]. В табл. 3.2 приведены значения межзерновой пустотности и насыпной плотности исследуемых песков.

Таблица 3.2

Плотность и межзерновая пустотность исследуемых песков

Наименование месторождения песка	Фракция	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

Основной задачей оптимизации гранулометрического состава заполнителя является подбор оптимального соотношения между тремя основными фракциями песка (0,16–0,315; 0,315–0,63; 0,63–1,25). При выборе соотношения между фракциями песка оценивалось значение насыпной плотности [64, 152].

Исследовалось изменение насыпной плотности песка, содержащего две фракции. На рис. 3.1–3.3 представлены зависимости изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций.

Для песка Чаадаевского месторождения (рис. 3.1, кривая 1) оптимальным является соотношение фракций 1,25 – 0,63 : 0,63 – 0,315 соответственно 80 % : 20 % с насыпной плотностью 1623,8 кг/м³, а для Ухтинского песка (рис. 3.1, кривая 2) – соотношение 50 % : 50 % с насыпной плотностью 1573,0 кг/м³.

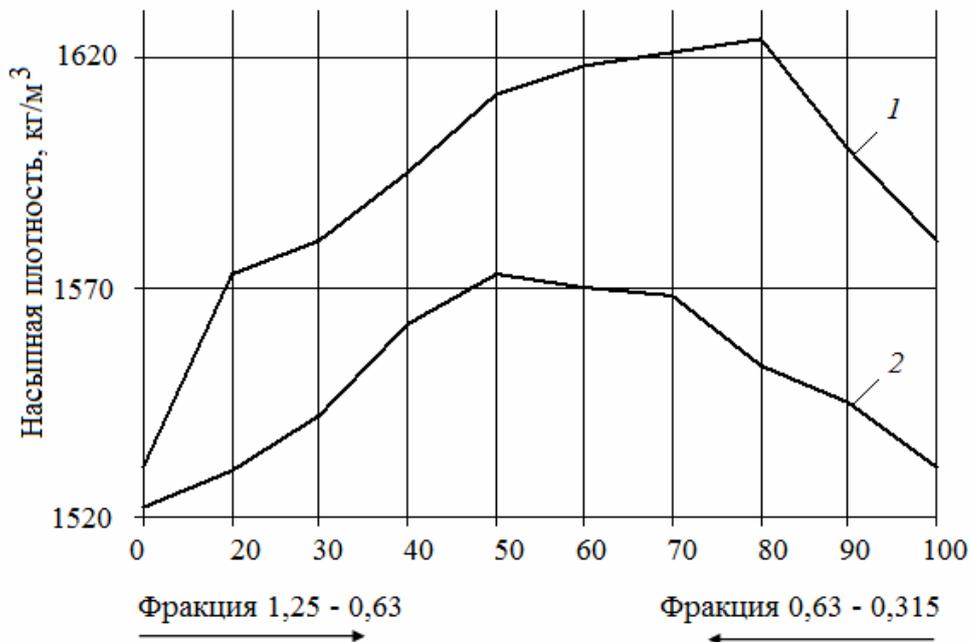


Рис. 3.1. Зависимость изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций 1,25 – 0,63 : 0,63 – 0,315:
1 – Чаадаевское месторождение; 2 – Ухтинское месторождение

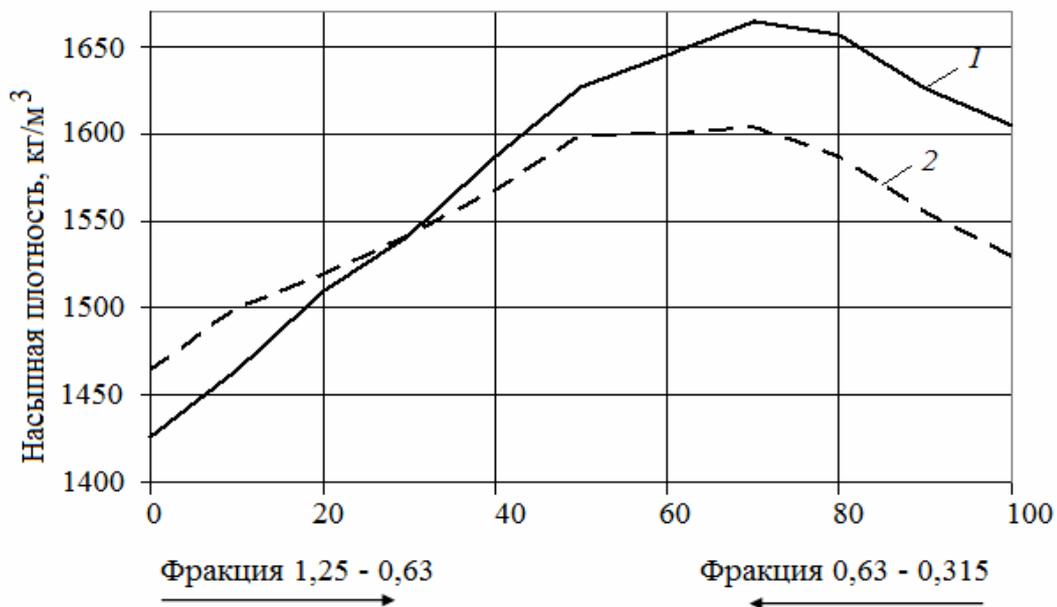


Рис. 3.2. Зависимость изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций 1,25 – 0,63 : 0,315 – 0,16:
1 – Чаадаевское месторождение; 2 – Ухтинское месторождение

Для песков Чаадаевского (рис. 3.2, кривая 1) и Ухтинского (рис. 3.2, кривая 2) месторождений оптимальным соотношением фракций является – 1,25 – 0,63 : 0,315 – 0,16 соответственно равные 70 % : 30 % и с насыпной плотностью соответственно 1664,5 кг/м³ и 1603,3 кг/м³.

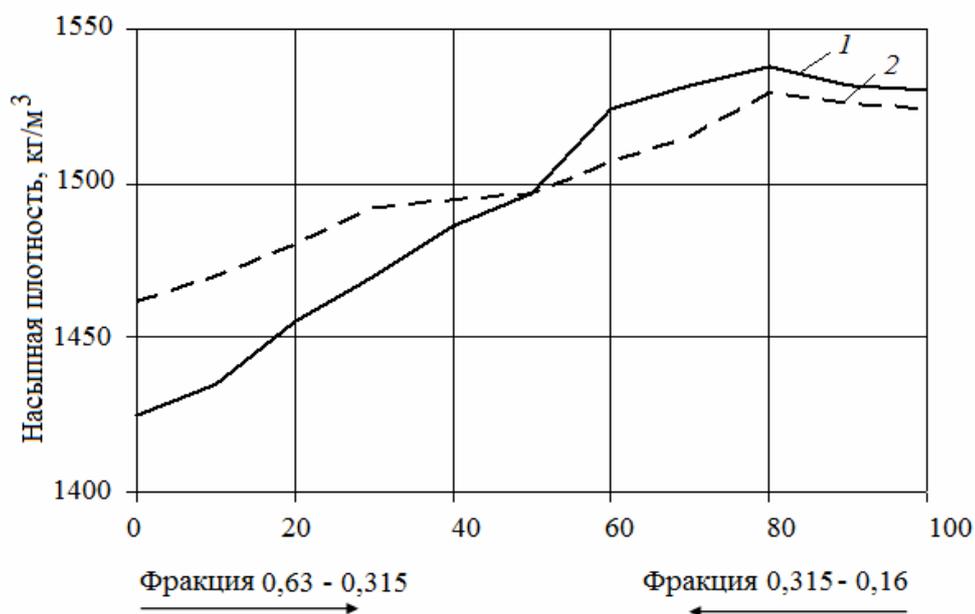


Рис. 3.3. Зависимость изменения насыпной плотности песка от соотношения фракций 0,63 – 0,315 : 0,315 – 0,16:
1 – Чаадаевское месторождение; 2 – Ухтинское месторождение

Анализ рис. 3.3 показал, что оптимальное соотношение фракций 0,63 – 0,315 : 0,315 – 0,16 для песков Чаадаевского (рис. 3.3, кривая 1) и Ухтинского (рис. 3.3, кривая 2) месторождений составляет 80 % : 20 % и с насыпной плотностью, равной соответственно 1538,2 кг/м³ и 1528,6 кг/м³.

Установлено, что при соотношении фракций 1,25 мм – 0,63 мм и 0,315 мм – 0,16 мм соответственно 70 % : 30 % и с насыпной плотностью 1603 кг/м³ песков Ухтинского месторождения достигается наибольшая плотность упаковки, а для песков Чаадаевского месторождения наибольшая плотность упаковки достигается при соотношении фракций 1,25–0,63 : 0,315–0,14 соответственно 70 % : 30 % с насыпной плотностью 1664,5 кг/м³. Ранее установлено, что содержание фракции 1,25 мм – 0,63 мм для песков Ухтинского и Чаадаевского месторождений составляет соответственно 9,8 % и 12,1 % от общего объема (табл. 3.1). В связи с этим, при последующей разработке состава сухой строительной смеси было принято решение применять песок Ухтинского месторождения с соотношением фракций 0,63 – 0,315 : 0,315 – 0,16 соответственно 80 % : 20 %, при этом насыпная плотность песка равна 1527 кг/м³.

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 $K_{уг}$ (фактора Хейвуда) [41, 157, 162].

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

Коэффициент угловатости $K_{уг}$ рассчитывался по формуле

$$K_{уг} = \frac{S_{факт}}{S_T}, \quad (3.1)$$

где $S_{факт}$ – фактическая удельная поверхность, м²/кг;

S_T – теоретическая удельная поверхность, м²/кг.

Теоретическая удельная поверхность песка рассчитывалась по формуле

$$S_T = \frac{6}{\rho} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{D_i}, \quad (3.2)$$

где ρ – теоретическая плотность зерен кварцевого песка, кг/м³;

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

$$D_i = \frac{D_n + D_{n+1}}{2}, \quad (3.3)$$

здесь 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 табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3

Значения коэффициента угловатости для различных песков

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

Установлено, что коэффициент угловатости зерен песка Ухтинского месторождения при соотношении фракций 0,63 – 0,315 : 0,315 – 0,16 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 $K_{\text{уг}} = 1,03$. Таким образом, применение песка при соотношении фракций 0,63 – 0,315 : 0,315 – 0,16 в соотношении соответственно 80 % : 20 % обеспечивает более прочное сцепление с цементной матрицей.

3.2. Кинетика твердения цементного композита в присутствии добавки на основе синтетических алюмосиликатов

Дополнительно проводилось сравнение кинетики твердения цементно-песчаных образцов с применением добавки на основе синтетических алюмосиликатов (10 % – 30 % от массы цемента) и с применением импортной модифицирующей добавкой – метилцеллюлоза марки ФМС 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 рис. 3.4 и 3.5.

На рис. 3.4 и 3.5 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 (рис. 3.4, 3.5), следует, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора добавки на основе синтетических алюмосиликатов способствует более интенсивному структурообразованию цементного композита, чем применение в рецептуре добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094.

Кривые, приведенные на рис. 3.4 и 3.5, описываются следующим экспоненциальным уравнением:

$$y = a \cdot (1 - e^{-bx}), \quad (3.4)$$

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

b – константа скорости структурообразования;

x – время твердения.

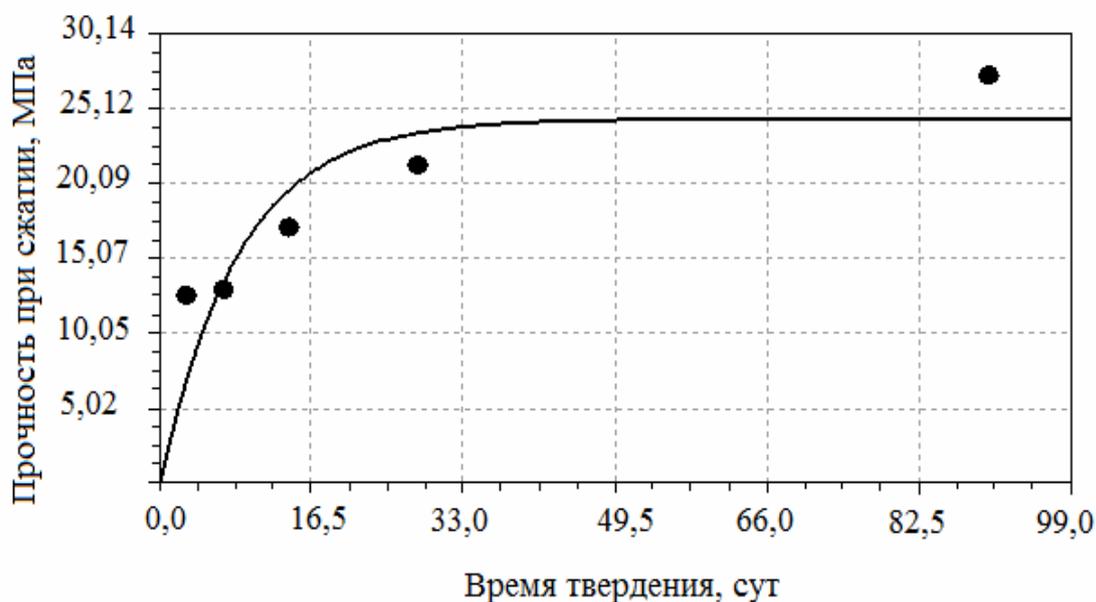


Рис. 3.4. Кинетика набора прочности цементно-песчаного состава с применением в рецептуре добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1 % от массы цемента)

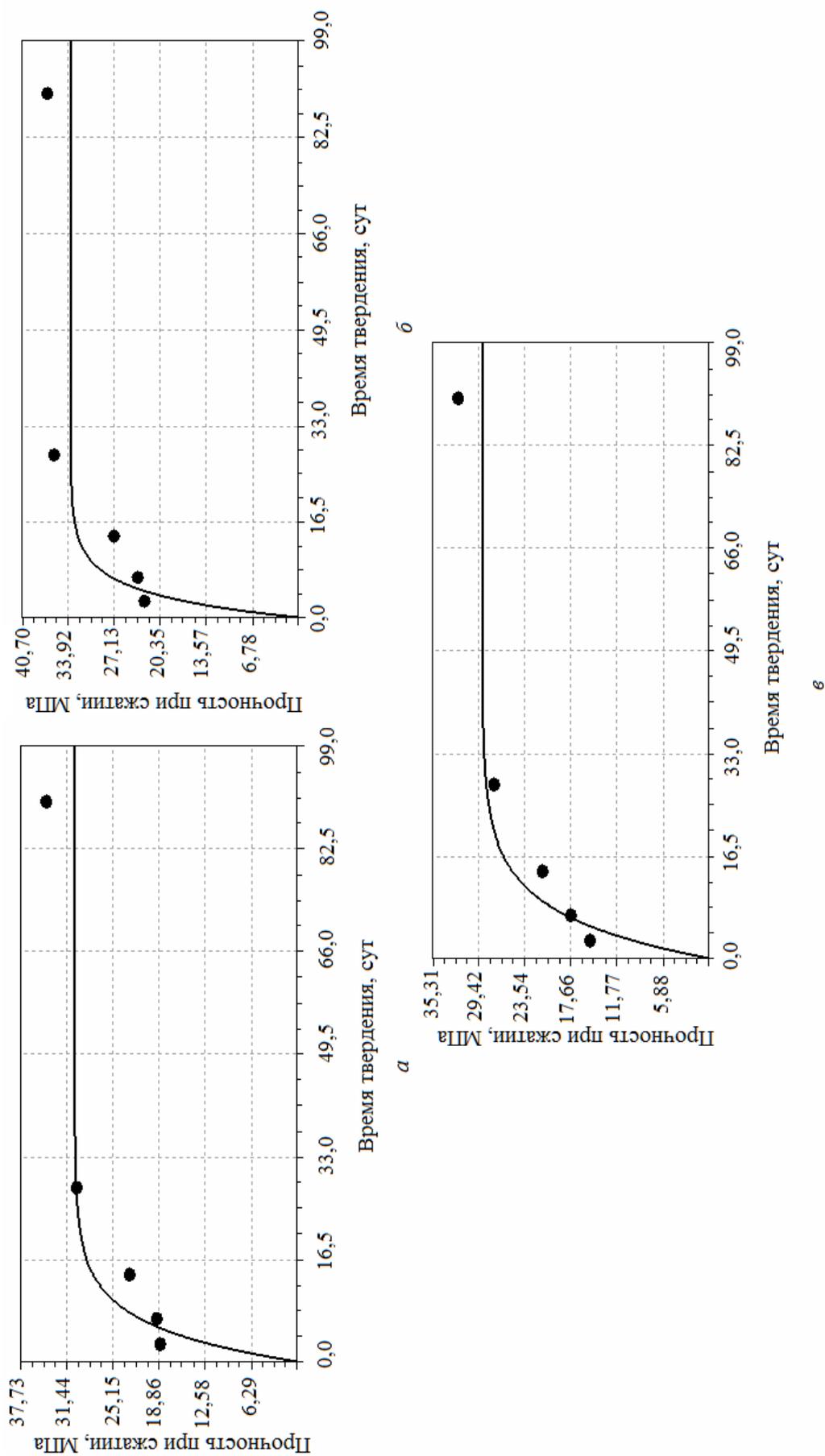


Рис. 3.5. Кинетика набора прочности цементно-песчаного состава с применением в рецептуре синтетической добавки:
 а – 10 % от массы цемента; б – 20 % от массы цемента; в – 30 % от массы цемента

В табл. 3.4 приведены значения констант a и b для приведенного уравнения, описывающего кинетику набора прочности цементного композита.

Таблица 3.4

Значение констант уравнения кинетики набора прочности

Модифицирующая добавка	Количество, %	a	b
Синтетические алюмосиликаты	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) – 0,117 МПа/сут.

Проведена оценка кинетики твердения цементно-песчаного раствора в присутствии добавки на основе синтетических алюмосиликаты и редиспергируемого 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 рис. 3.6.

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рис. 3.6, 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 синтетических алюмосиликаты (20 % от массы цемента) повышает прочность при сжатии образцов в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 37,3 % (рис. 3.6, 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 % (рис. 3.6, кривая 3) по сравнению с контрольным образцом (без добавки). Приме-

нение 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 % (рис. 3.6, кривая 4) по сравнению с контрольным образцом (без добавки).

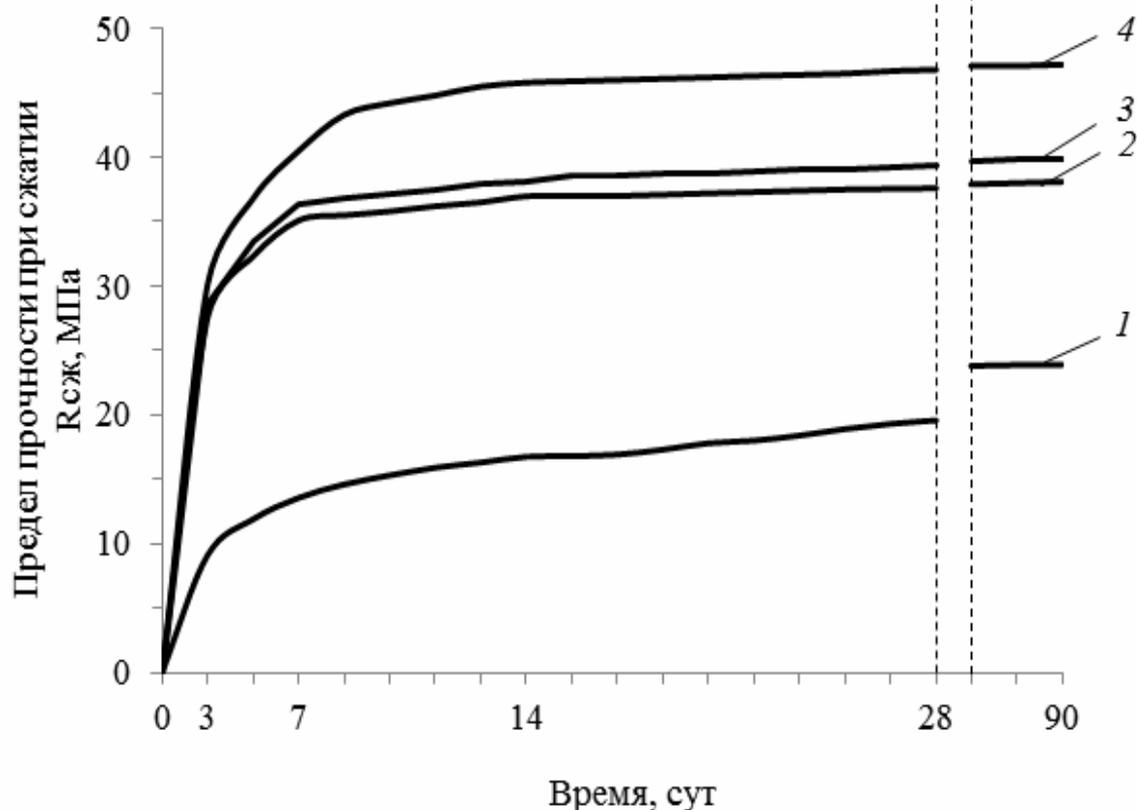


Рис. 3.6. Кинетика твердения цементного композита:
 1 – контрольный (без содержания добавок); 2 – образец с содержанием 20 % синтетической добавки от массы цемента; 3 – образец с содержанием 0,5 % добавки Neolith P 4400 и 20 % синтетической добавки; 4 – образец с содержанием 1 % добавки Neolith P 4400 и 20 % синтетической добавки

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 синтетических алюмосиликатов.

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 табл. 3.5.

Т а б л и ц а 3.5

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

Рассмотрены три основных фактора, влияющие на прочность цементного композита: удельная поверхность добавки на основе синтетических 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 табл. 3.6 и 3.7.

Т а б л и ц а 3.6

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

Т а б л и ц а 3.7

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:

$$y = 33,388 + 2,2125x_1 + 3,525x_2 - 0,9875x_3 \quad (3.5)$$

Уравнение (3.5) характеризует зависимость прочности цементного композита от исследуемых факторов.

Графическая интерпретация полученных данных представлена на рис. 3.7 – 3.9.

Полученные коэффициенты уравнения регрессии и графики (рис. 3.7–3.9) 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 синтетических алюмосиликатов в рецептуре цементного камня составляет 20 % с удельной поверхностью $S_{уд} = 6886 \text{ см}^2/\text{г}$.

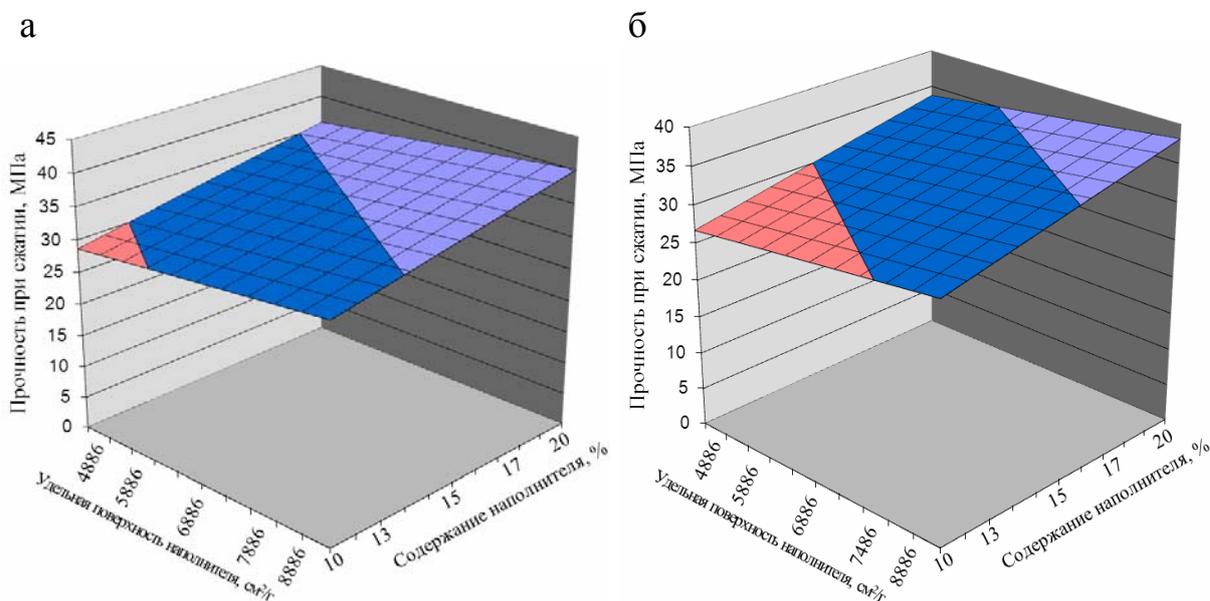


Рис. 3.7. Прочность цементного композиционного камня в зависимости от удельной поверхности $S_{уд}$ и количества синтетической добавки:
 а – при содержании Кратасол ПФМ, равным 0,5 %;
 б – при содержании Кратасол ПФМ, равного 1,5 %

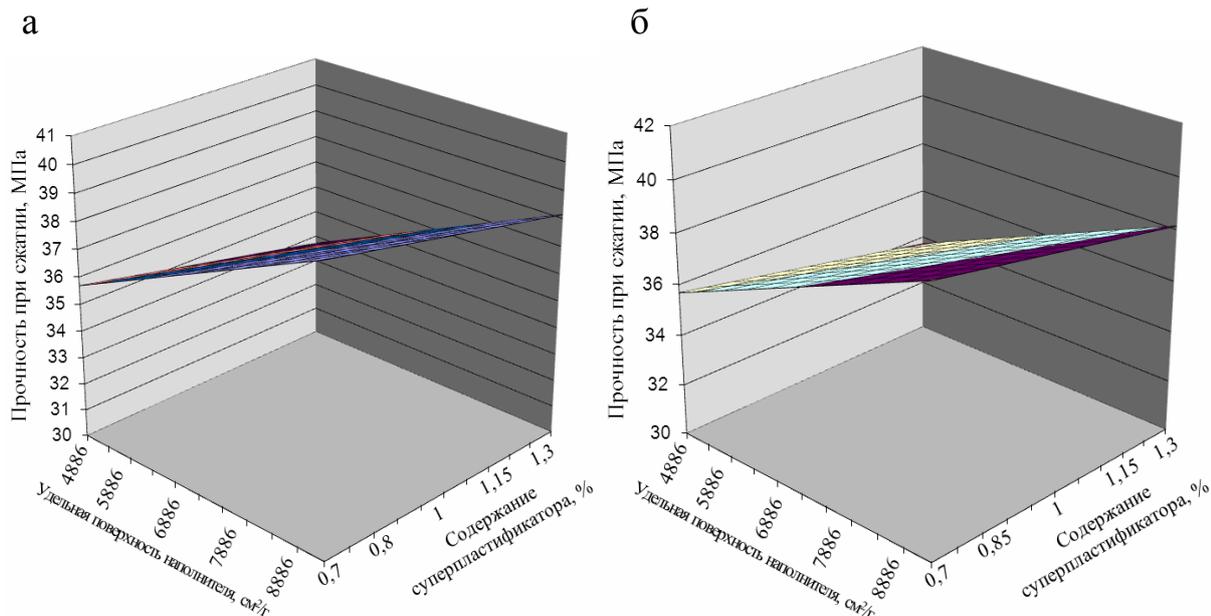


Рис. 3.8. Прочность цементного композиционного камня в зависимости от удельной поверхности $S_{уд}$ и количества содержания суперпластификатора Кратасол ПФМ:
 а – при введении синтетического алюмосиликатов, равного 10 % от массы вяжущего; б – при введении синтетического алюмосиликатов, равного 20 % от массы вяжущего

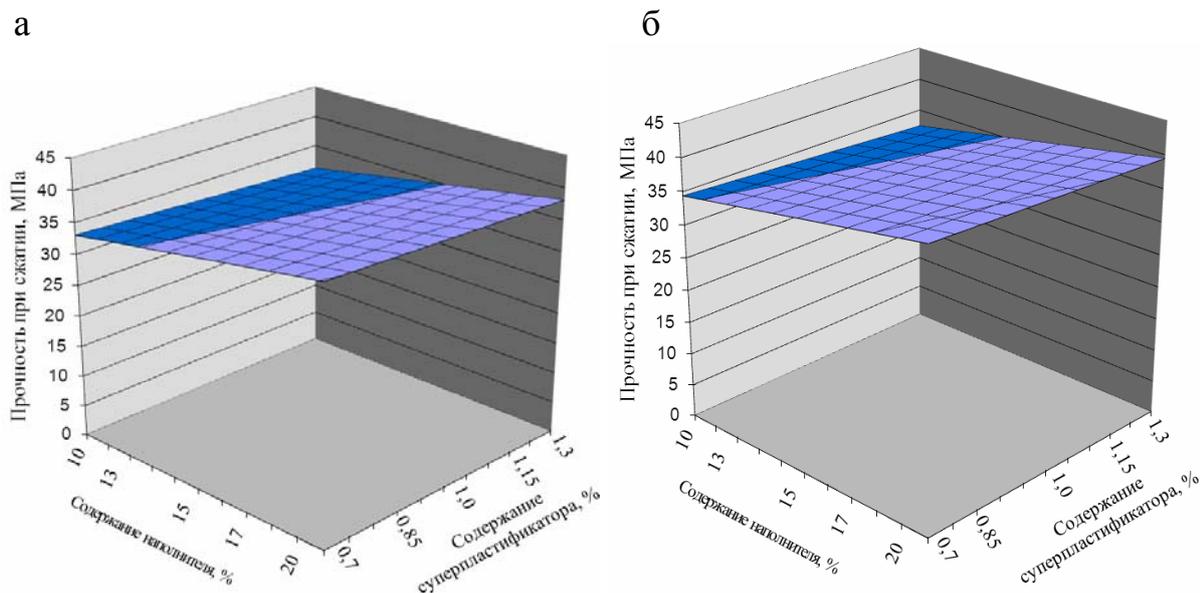


Рис. 3.9. Прочность цементного композиционного камня в зависимости от содержания синтетической добавки и количества содержания суперпластификатора Кратасол ПФМ:
 а – при удельной поверхности $S_{уд}$, равной $S_{уд} = 4886 \text{ см}^2/\text{г}$;
 б – при удельной поверхности $S_{уд}$, равной $S_{уд} = 8886 \text{ см}^2/\text{г}$

3.3. Реологические и технологические свойства сухих строительных смесей с применением добавки на основе синтетических алюмосиликатов

Реологические свойства цементно-песчаных составов оценивались по показателю пластической прочности, определяемым при помощи конического пластометра КП-3. Оценивалось влияние синтетических цеолитов 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 (рис. 3.10) и с соотношением 1:3 (рис. 3.11). Исследуемые составы изготавливались с одинаковым водоцементным соотношением, равным $V/C = 0,7$.

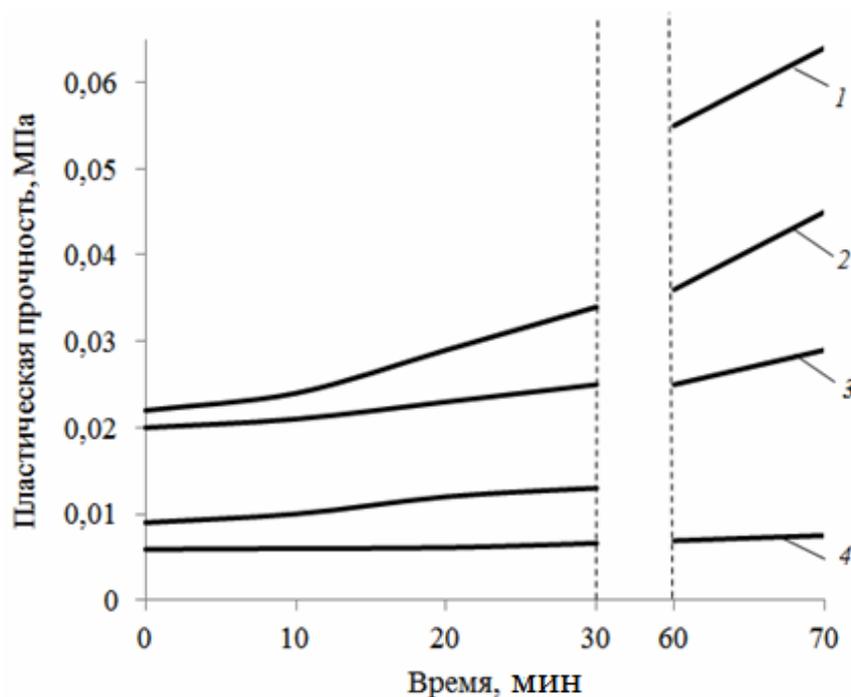


Рис. 3.10. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:2): 1 – содержание синтетической добавки 30 % от массы цемента; 2 – содержание синтетической добавки 20 % от массы цемента; 3 – содержание синтетической добавки 10 % от массы цемента; 4 – контрольный образец (без содержания синтетической добавки)

Анализ пластограмм, представленных на рис. 3.10, свидетельствует, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:2) добавки на основе синтетических 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 (рис. 3.10, кривая 4), а при введении добавки на основе

синтетических алюмосиликатов в количестве 10 %, 20 % и 30 % от массы вяжущего в возрасте 20 мин с момента затворения составляет соответственно $\tau = 0,012$ МПа (рис. 3.10, кривая 3), $\tau = 0,023$ МПа (рис. 3.10, кривая 2) и $\tau = 0,029$ МПа (рис. 3.10, кривая 1).

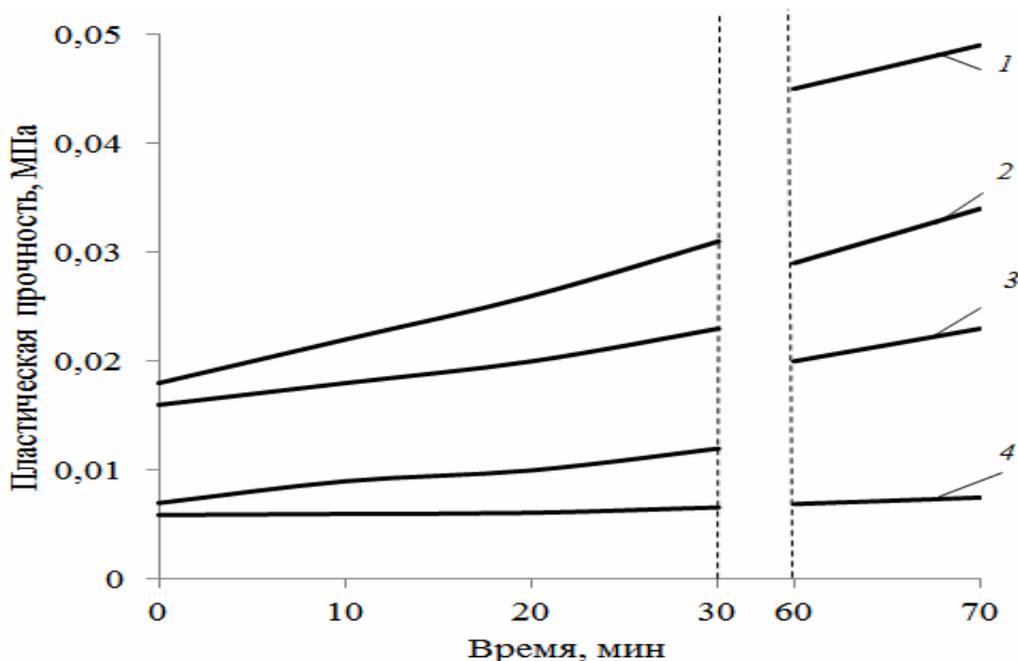


Рис. 3.11. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:3): 1 – содержание синтетической добавки 30 % от массы цемента; 2 – содержание синтетической добавки 20 % от массы цемента; 3 – содержание синтетической добавки 10 % от массы цемента; 4 – контрольный образец (без содержания синтетической добавки)

Анализируя пластограммы (рис. 3.11), выявлено, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора (Ц:П = 1:3) синтетической добавки 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 (рис. 3.11, кривая 4), а при введении добавки на основе синтетических алюмосиликатов в количестве 10 %, 20 % и 30 % от массы вяжущего в возрасте 20 мин с момента затворения составляет соответственно $\tau = 0,01$ МПа (рис. 3.11, кривая 3), $\tau = 0,02$ МПа (рис. 3.11, кривая 2) и $\tau = 0,026$ МПа (рис. 3.11, кривая 1).

Таким образом, из рис. 3.10 и 3.11 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 (рис. 3.10, кривая 2), а с соотношением Ц:П = 1:3 соответственно $\tau = 0,02$ МПа (рис. 3.11, 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 синтетических 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 рис. 3.12.

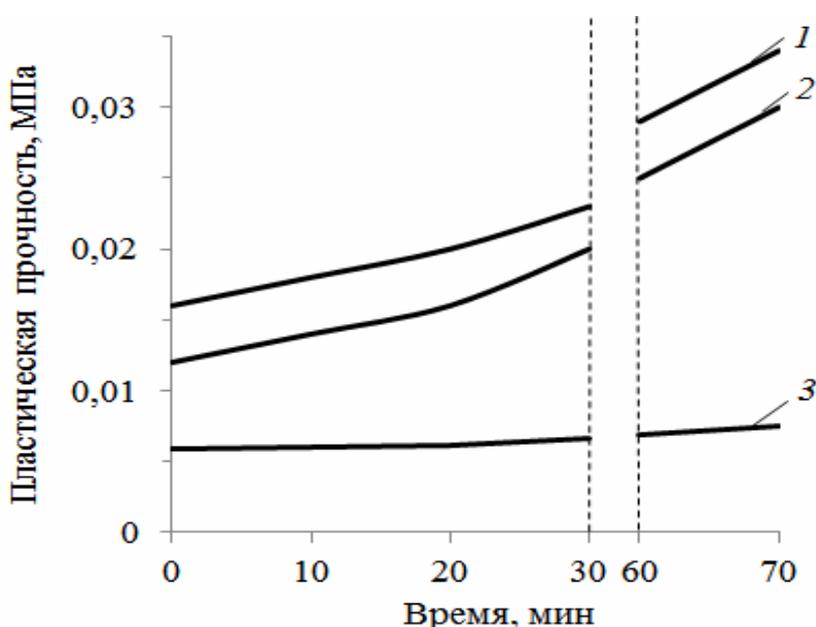


Рис. 3.12. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре добавок:

- 1 – синтетическая добавка (20 % от массы цемента); 2 – метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1 % от массы цемента); 3 – контрольный состав (без добавок)

Анализ пластограмм (рис. 3.12) показал, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора добавки на основе синтетических 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 % синтетической добавки в возрасте 20 мин с момента затворения составляет $\tau = 0,02$ МПа (рис. 3.12, кривая 1), а при введении добавки метилцеллюлоза марки FMC 2094 (1 % от массы цемента) пластическая прочность составила $\tau = 0,016$ МПа (рис. 3.12, кривая 2).

Исследовалось влияние добавок Sika ViscoCrete 3180 и Кратасол ПФМ на значение пластической прочности цементно-песчаного образца с при-

менением в рецептуре добавки на основе синтетических алюмосиликатов (20 % от массы цемента) в зависимости от их процентного содержания в рецептуре. 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 табл. 3.8.

Т а б л и ц а 3.8

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 °С)
4	Показатель pH	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

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 рис. 3.13 и 3.14.

Анализ пластограмм, представленных на рис. 3.13, 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 (см. рис. 3.13, кривая 2) и $\tau = 0,012$ МПа (см. рис. 3.13, кривая 3), а пластическая прочность контрольного состава составила $\tau = 0,02$ МПа (см. рис. 3.13, кривая 1).

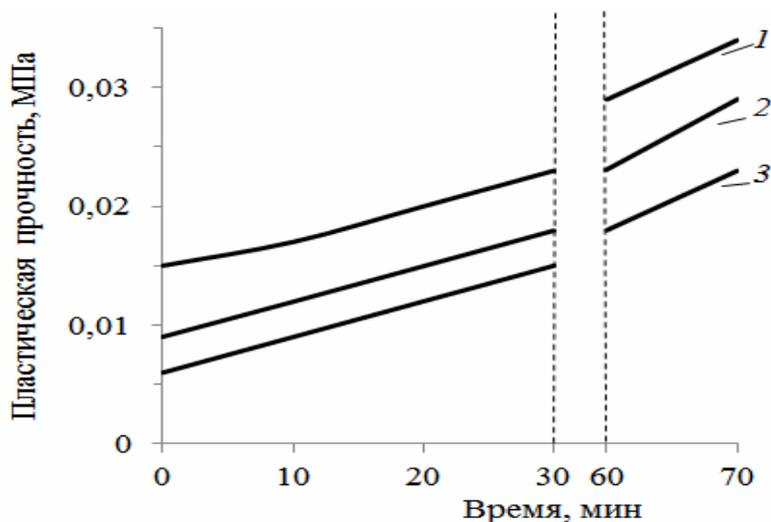


Рис. 3.13. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с синтетической добавкой (20 % от массы цемента) с применением в рецептуре добавок:
 1 – контрольный состав (с применением синтетической добавки);
 2 – Sika ViscoCrete 3180 (1 % от массы цемента);
 3 – Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента)

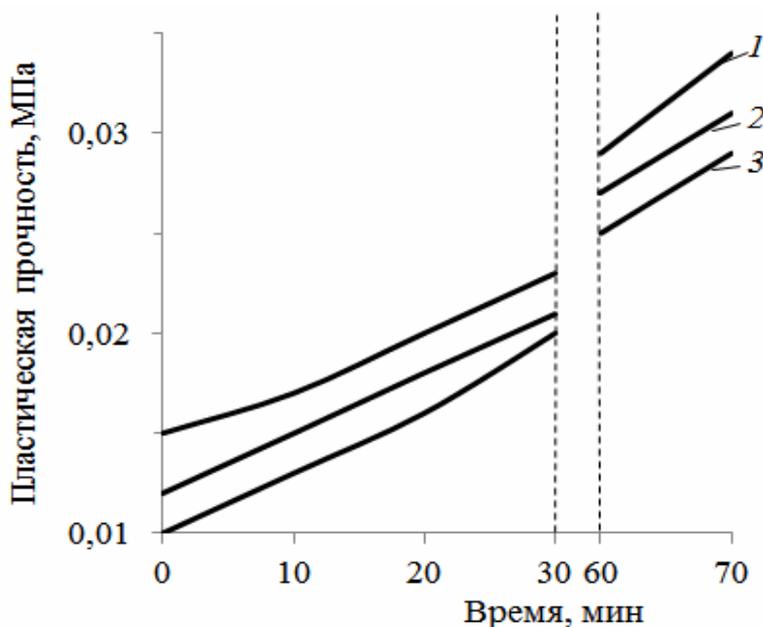


Рис. 3.14. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с синтетической добавкой (20 % от массы цемента) с применением в рецептуре добавок:
 1 – контрольный состав (с применением синтетической добавки);
 2 – Sika ViscoCrete 3180 (0,5 % от массы цемента);
 3 – Кратасол ПФМ (0,5 % от массы цемента)

На рис. 3.14 представлены результаты изменения пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре синтетической добавки (20 % от массы цемента) и введении добавок Sika ViscoCrete 3180 и Кратасол ПФМ в количестве 0,5 % от массы цемента.

Анализ пластограмм (см. рис. 3.14) выявил, что введение в рецептуру цементно-песчаного раствора с применением синтетических 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 (см. рис. 3.14, кривая 2) и $\tau = 0,016$ МПа (см. рис. 3.14, кривая 3). При этом пластическая прочность контрольного состава составила $\tau = 0,02$ МПа (см. рис. 3.14, кривая 1).

Анализируя данные рис. 3.13 и рис. 3.14 установлено, что добавка Кратасол ПФМ оказывает большее пластифицирующее влияние на цементно-песчаный раствор с применением в рецептуре синтетической добавки (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 редиспергируемого порошка Neolith P 4400 на значение пластической прочности цементно-песчаного раствора с применением в рецептуре добавки на основе синтетических цеолитов (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 рис. 3.15.

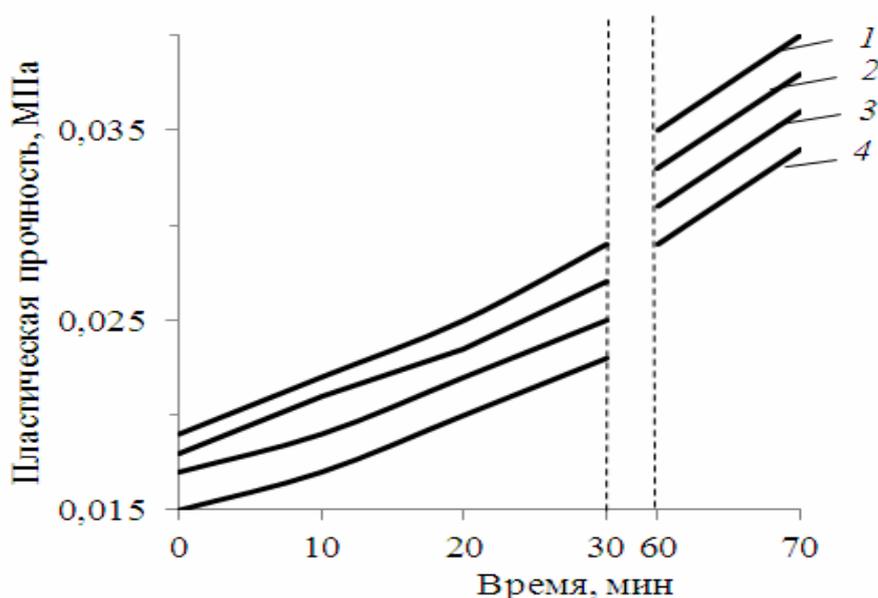


Рис. 3.15. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора с синтетической добавкой (20 % от массы цемента):

- 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)

Выявлено, что при введении в цементно-песчаный раствор синтетической добавки в количестве 20 % от массы цемента пластическая прочность раствора в возрасте 20 мин с момента затворения составила $\tau = 0,02$ МПа (см. рис. 3.15, 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 (см. рис. 3.15, кривая 3), $\tau = 0,023$ МПа (см. рис. 3.15, кривая 2) и $\tau = 0,025$ МПа (см. рис. 3.15, 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 синтетических 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 [143]. 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 – 0,315 : 0,315 – 0,14 соответственно 80 % : 20 % и насыпной плотностью 1538,2 кг/м³, пластификатор Кратасол ПФМ, редиспергируемый порошок Neolith P 4400 и добавку на основе синтетических 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

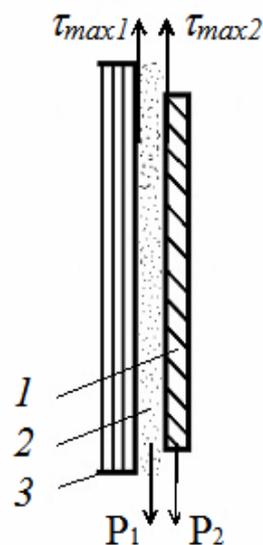


Рис. 3.16. Расчетная схема:
1 – облицовочная плитка;
2 – клеевой слой;
3 – вертикальная подложка

возникают касательные напряжения соответственно $\tau_{\max 1}$ и $\tau_{\max 2}$, которые удерживают в равновесии рассматриваемый слой (рис. 3.16).

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

$$\begin{cases} \tau_{\max 1} S = P_1 + P_2; \\ \tau_{\max 2} S = P_2. \end{cases} \quad (3.6)$$

где P_1 и P_2 – соответственно вес слоя плиточного клея и вес плитки, кг;
 S – площадь клеевого слоя, равная площади плитки, м².

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

$$|\tau_{\max}| \leq \tau_{\text{сд}}. \quad (3.7)$$

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

$$\tau_{\text{сд}} = \tau_0 + \tau_{\text{ад}}. \quad (3.8)$$

Учитывая, что в начальный момент нанесения слоя плиточного клея величина $\tau_{\text{ад}}$ очень мала, выражение (3.7) может быть записано в виде:

$$\tau_{\max} \leq \tau_0. \quad (3.9)$$

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

$$P_1 = \rho_1 V_1, \quad (3.10)$$

где ρ_1 – плотность клеевого раствора, кг/м³;

V_1 – объем нанесенного клеевого раствора, м³.

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

$$P_2 = \rho_2 V_2, \quad (3.11)$$

где ρ_2 – плотность облицовочной плитки, кг/м³;

V_2 – объем облицовочной плитки, м³.

При расчете касательных напряжений принято, что клеевой слой имеет толщину $\delta = 0,005$ м. Результаты расчета приведены в табл. 3.9.

Анализ данных, представленных в табл. 3.9, свидетельствует, что значения касательных напряжений $\tau_{\max 1}$ и $\tau_{\max 2}$ меньше значения предельного напряжения сдвига плиточного клея τ_0 . Так, максимальное касательное напряжение $\tau_{\max 1}$ в зоне контакта с подложкой $\tau_{\max 1}$ составляет $\tau_{\max 1} = 0,00024$ МПа, а в зоне контакта с керамической плиткой размером $0,3 \times 0,3 \times 0,005$ м – $\tau_{\max 2} = 0,00015$ МПа. Предельное напряжение сдвига плиточного клея со-

ставляет $\tau_0 = 0,002$ МПа. Таким образом, выполняется условие отсутствия сползания керамической плитки и плиточного клея.

Т а б л и ц а 3.9

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
		$\tau_{\max 1}$	$\tau_{\max 2}$		
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
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
керамогранит- ная	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

Анализ результатов расчета, приведенных в табл. 3.9, 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. Сползание керамической плитки, закрепленной на подложке исследуемым составом плиточного клея, определялось по европейскому стандарту DIN EN 1308 [142]. 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 $(50 \pm 0,1)$ 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.

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 [143].

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

При отделке поверхности облицовочной плиткой применяют плиточный клей, который наносится слоем 3–10 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.

Водоудерживающая способность определялась путем испытания слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенного на промокательную бумагу [40]. Для проведения испытаний применялись: листы промокательной бумаги размером 150×150 мм по ТУ 13-7308001-758-88; прокладки из марлевой ткани размером 250×350 мм по ГОСТ 11109 [28]; металлическое кольцо с внутренним диаметром 100 мм, высотой 12 мм и толщиной стенки 5 мм; стеклянную пластинку размером 150×150 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 $\pm 0,1$ г. Взвешанные листы промокательной бумаги укладывали на стеклянную пластинку, сверху укладывали прокладку из марлевой ткани, устанавливали металлическое кольцо и еще раз взвешивали. Тщательно перемешанную растворную смесь укладывали вровень с краями металлического кольца, выравнивали, взвесили и оставили на 10 мин. Металлическое кольцо с раствором осторожно снималось вместе с марлей. Промокательную бумагу взвесили с погрешностью до $\pm 0,1$ г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяли выраженным в процентах содержанием воды в пробе до и после эксперимента по формуле

$$V = \left(100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100 \right), \quad (3.12)$$

где m_1 – масса промокатальной бумаги до испытаний, г;
 m_2 – масса промокатальной бумаги после испытания, г;
 m_3 – масса установки без растворной смеси, г;
 m_4 – масса установки с растворной смесью, г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяли дважды для каждой пробы растворной смеси и вычисляли как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % от меньшего значения.

В табл. 3.10 приведены данные влияния добавки на основе синтетических цеолитов, пластифицирующих и модифицирующих добавок на водоудерживающую способность и начальную пластическую прочность составов с применением песка Ухтинского месторождения с соотношением фракций 0,63 – 0,315 : 0,315 – 0,16 соответственно 80 % : 20 %.

Т а б л и ц а 3.10

Влияние рецептуры 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 \pm 0,186
2	то же + синтетическая добавка (10 % от массы цемента)	0,7	95,7	7,0 \pm 0,155
3	то же + синтетическая добавка (20 % от массы цемента)	0,7	96,6	15,2 \pm 0,147
4	то же + синтетическая добавка (30 % от массы цемента)	0,7	96,2	18,1 \pm 0,179
5	то же + синтетическая добавка (10 % от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента)	0,63	95,8	4,2 \pm 0,098
6	то же + синтетическая добавка (20 % от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента)	0,63	96,9	5,4 \pm 0,115
7	то же + синтетическая добавка (30 % от массы цемента) + Кратасол ПФМ (1 % от массы цемента)	0,63	96,1	7,5 \pm 0,088

Окончание табл. 3.10

1	2	3	4	5
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 табл. 3.10, свидетельствуют, что сухая строительная смесь с применением в рецептуре синтетической добавки, релаксанта порошка Neolith P 4400 и добавки Кратасол ПФМ характеризуется достаточной водоудерживающей способностью, составляющей 95,7–99,3 %.

4. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КЛЕЕВОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ

4.1. Оценка прочности сцепления слоя плиточного клея с применением в рецептуре синтетических 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:

$$R_{adg} = R_1 + R_2, \quad (4.1)$$

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 ССС изучалась прочность сцепления клеевых составов с поверхностью цементно-песчаных подложек. Исследовалась смесь с применением в рецептуре добавки на основе синтетических алюмосиликатов и модифицирующих добавок, а также контрольный состав [84].

Для оценки прочности сцепления с основанием применялся метод отрыва штампа (нормальный отрыв) по европейскому стандарту DIN EN 1348 [145]. 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

$$R_{adg} = \frac{P}{F}, \quad (4.2)$$

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 [145]. 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.

При проведении испытаний установлен когезионный характер отрыва у керамической плитки, составляющий $R_{kog} = 1,4$ МПа (рис. 4.1). Отрыв плитки от плиточного клея при проведении испытаний не происходил.

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

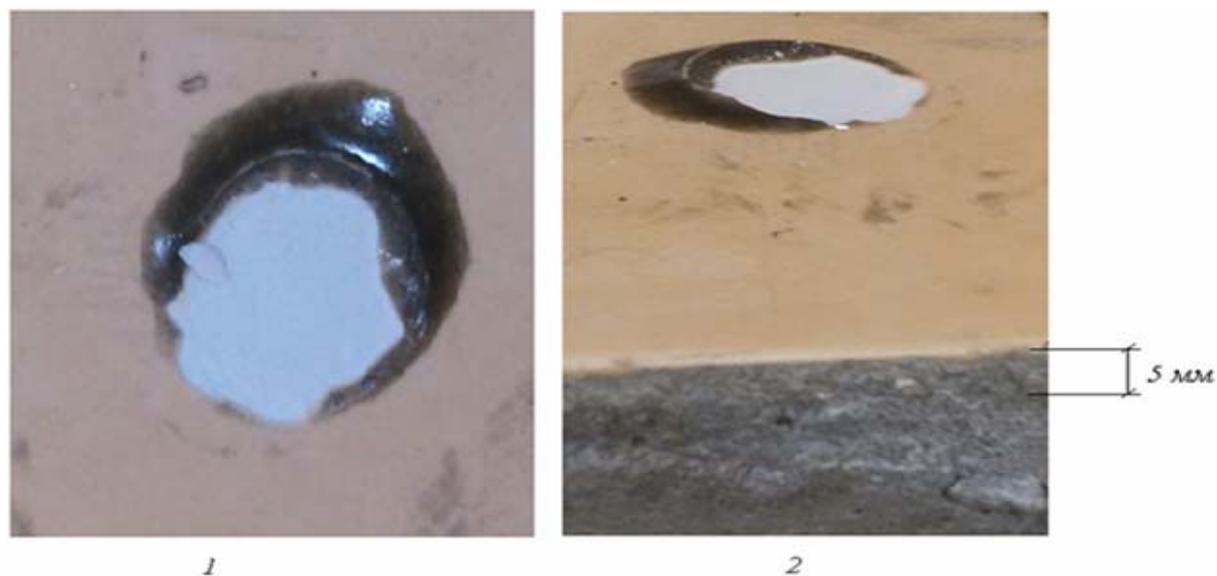


Рис. 4.1. Характер отрыва шайб

Выявлено, что образцы плиточного клея на цементной основе характеризуются высокой адгезионной прочностью. Наибольший вклад в повышение прочности сцепления вносится добавкой Neolith P 4400, которая 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 табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

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 табл. 4.1, плиточный клей, изготовленный на основе разработанной рецептуры с применением синтетических 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, делаем вывод, что прочность сцепления разработанной рецептуры удовлетворяет условиям, указанным в стандарте серии DIN EN 12004, где $R_{adg} \geq 0,5$ МПа [146].

Растворный слой в процессе эксплуатации испытывает также и сдвиговые нагрузки относительно подложки [86]. В связи с этим необходимо проводить испытания также и на сдвиг.

На сегодня методика определения прочности сцепления на сдвиг 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 клеев – 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]. Принцип определения сдвиговой нагрузки клеевого слоя заключался в создании в испытательной установке (ГТ 2.2.3 производства ООО «НПП «Геотек»» [102]), представленной на рис. 4.2, горизонтальной сдвигающей нагрузки на испытываемый образец на основе исследуемого

состава [59]. Испытание образцов проходило по схеме, представленной на рис. 4.3.

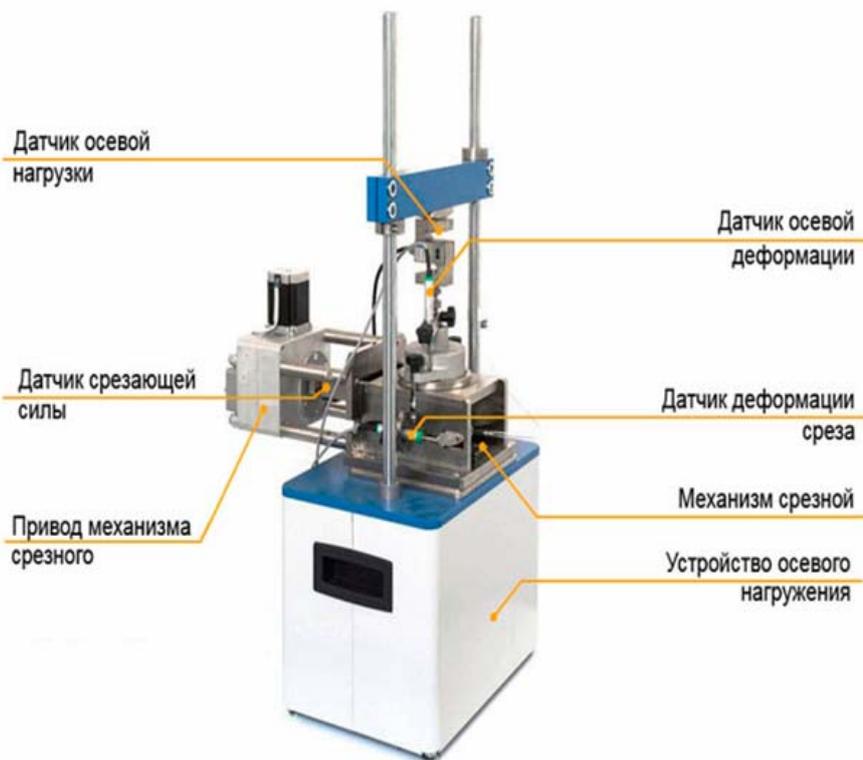


Рис. 4.2. Внешний вид испытательной установки ГТ 2.2.3

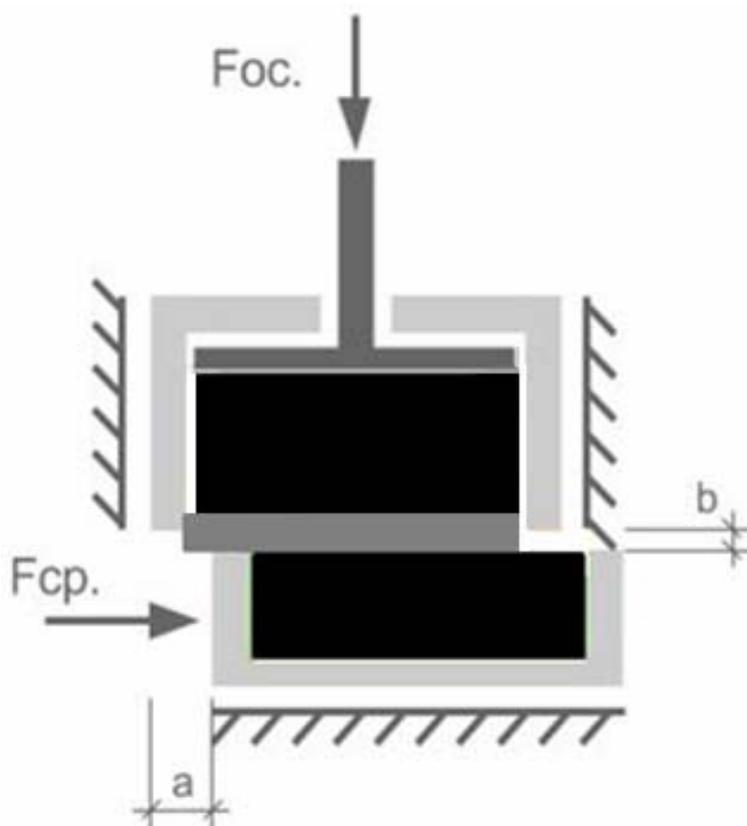


Рис. 4.3. Схема испытания исследуемых образцов на срез

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.

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 сухой клеевой смеси с применением синтетических алюмосиликатов.

Результаты испытания клеевого слоя на основе плиточного цементного клея на цементной подложке представлены на рис. 4.4.

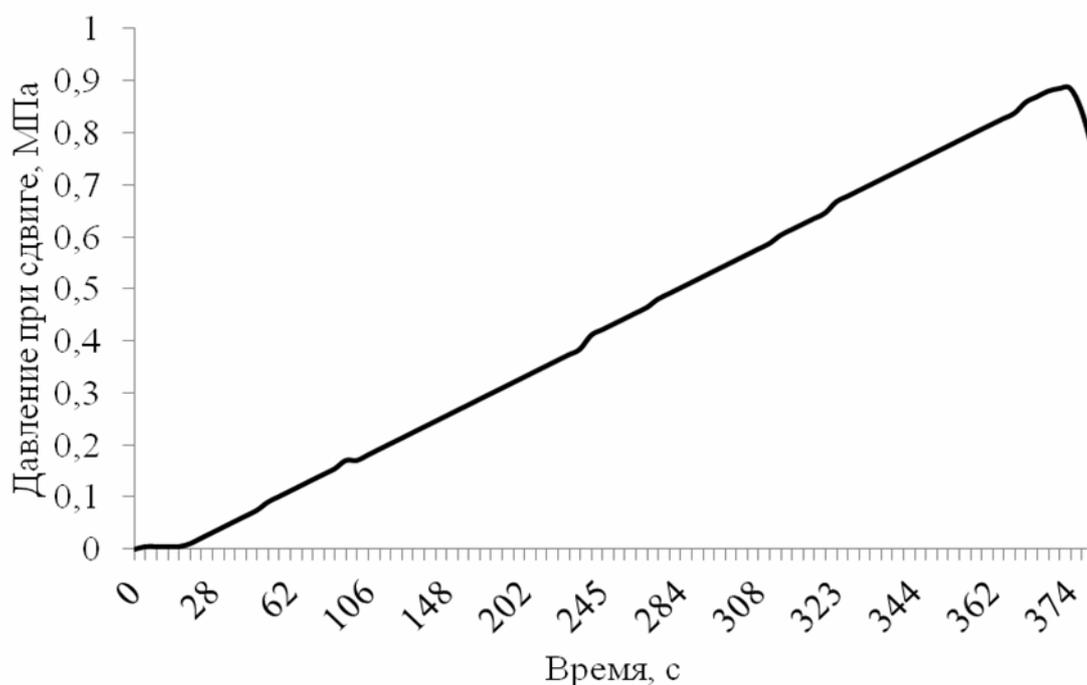


Рис. 4.4. Испытание на сдвиг плиточного клея на цементной основе

Анализ данных, представленных на рис. 4.4 показал, что прочность сцепления на сдвиг растворного слоя на основе разработанной рецептуры плиточного клея составляет $R_{сдв} = 0,92$ МПа.

4.2. Гидрофизические свойства плиточного клея с применением в рецептуре добавки на основе синтетических алюмосиликатов

Для слоя плиточного клея на основе разработанной рецептуры ССС с применением синтетических 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.

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

Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы, помещались в емкость, наполненную водой. При этом, температура воды в емкости составляла (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

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100, \quad (4.3)$$

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

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

Определение водопоглощения при капиллярном подсосе проходило по ГОСТ 31356 [43]. Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{кл}}$ 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 $40 \times 40 \times 160$ 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, $t = (105 \pm 5)$ °С. После этого, боковые грани образцов покрывали водонепроницаемым составом (расплавленным парафином) и взвешивали с погрешностью $\pm 0,01$ г (масса m_1). Линейные размеры увлажняемой торцевой грани балочек измеряли штангенциркулем с погрешностью $\pm 0,1$ мм.

Подготовленные образцы помещали торцевой гранью в ванну, заполненную водой, температурой $t = (20 \pm 5)$ °С, на сетчатую подставку таким образом, чтобы торец образца был погружен в воду на 5 мм – 10 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 $\pm 0,01$ г (масса m_2).

Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{кп}}$, кг/(м²·ч^{0,5}), определялось по формуле

$$W_{\text{кп}} = K_w \cdot \frac{m_2 - m_1}{S}, \quad (4.4)$$

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

m_1 – масса сухого образца, кг;

m_2 – масса образца после насыщения водой, кг;

S – площадь увлажняемой грани образца, м².

За результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов испытания трех образцов, округленное до 0,1 кг/(м²·ч^{0,5}).

При оценке кинетики водопоглощения образцов плиточного клея установлено, что в течение первого часа происходит наиболее интенсивное водопоглощение по массе W_m (рис. 4.5).

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

$$W_m = f(\sqrt{\tau}).$$

Анализ рис. 4.5 показал, что водопоглощение W_m образца плиточного клея на основе контрольного состава (рис. 4.5, кривая 1) после 1-го часа водонасыщения составило $W_m = 14,6$ %, а при введении в его рецептуру добавки на основе синтетических алюмосиликатов, соответственно $W_m = 13,2$ %

(рис. 4.5, кривая 2). После 2-го 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 синтетических алюмосиликатов – $W_m = 15,03 \%$.

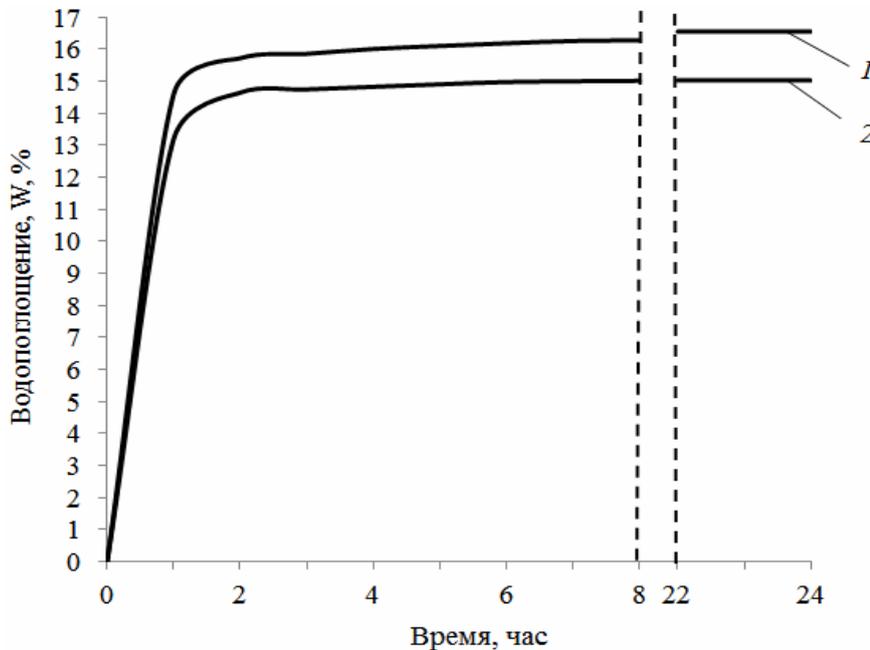


Рис. 4.5. Кинетика водопоглощения по массе образцов плиточного клея: 1 – контрольный состав; 2 – слой плиточного клея с применением в рецептуре синтетических алюмосиликатов

Таким образом, анализируя данные рис. 4.5, выявлено, что плиточный клей с применением в рецептуре синтетических 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.

Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2

Водопоглощение образцов при капиллярном подсосе

Исследуемый образец	Значение водопоглощения, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$
Контрольный образец	$4,14 \pm 0,056$
Образец на основе разработанной рецептуры с применением синтетических цеолитов	$1,43 \pm 0,043$

Анализ полученных результатов (табл. 4.2) выявил, что значение коэффициента водопоглощения при капиллярном подсосе у образца на основе разработанной рецептуры с применением синтетических алюмосиликатов значительно ниже, чем у контрольного образца и составляют соответственно $W_{\text{кп}} = 1,43 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$ и $W_{\text{кп}} = 4,14 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$. Таким образом, проведенный эксперимент подтверждает, что образец с применением в рецептуре синтетической добавки обладает меньшим водопоглощением по сравнению с контрольным образцом (без добавки)

Оценивалась прочность сцепления образцов при воздействии влаги. Результаты испытаний представлены на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Прочность сцепления с цементно-песчаной подложкой после выдерживания в водной среде

Анализ полученных результатов (рис. 4.6) показал, что прочность сцепления клеевого раствора на основе разработанной сухой строительной смеси с применением синтетических алюмосиликатов после 20 суток воздействия водной среды составляет $R_{\text{adg}} = 1,1 \text{ МПа}$, что удовлетворяет требованиям, указанным в стандарте серии DIN EN 12004 – $R_{\text{adg}} \geq 0,5 \text{ МПа}$ [146].

4.3. 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 синтетических 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 насы-

щенном 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.

Морозостойкость раствора [43] определяли путем многократного попеременного замораживания образцов-кубов с ребром 70 мм × 70 мм в состоянии насыщения водой при температуре минус (15 – 20) °С и оттаивания их в воде при температуре (15 – 20) °С и в воздушной среде при температуре (20 ± 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].

Основные образцы раствора, предназначенные для испытания на морозостойкость, и контрольные образцы, предназначенные для определения прочности на сжатие в 28-суточном возрасте, перед испытанием насыщались водой без предварительного высушивания путем выдерживания их в течение 48ч в воде при температуре (15–20) °С. При этом, образец был окружен со всех сторон слоем воды толщиной не менее 20 мм. Время насыщения в воде входит 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

$$\Delta = \frac{R_{\text{контр}} - R_{\text{осн}}}{R_{\text{контр}}} \cdot 100, \quad (4.5)$$

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. Определяли прочность сцепления клеевого слоя с основанием.

В табл. 4.3 представлены результаты проведенных испытаний на морозостойкость плиточного клея. На рис. 4.7 и 4.8 представлены образцы плиточного клея до проведения испытания и после проведения испытаний соответственно.

Т а б л и ц а 4.3

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 (%).



Рис. 4.7. Образцы до проведения испытаний

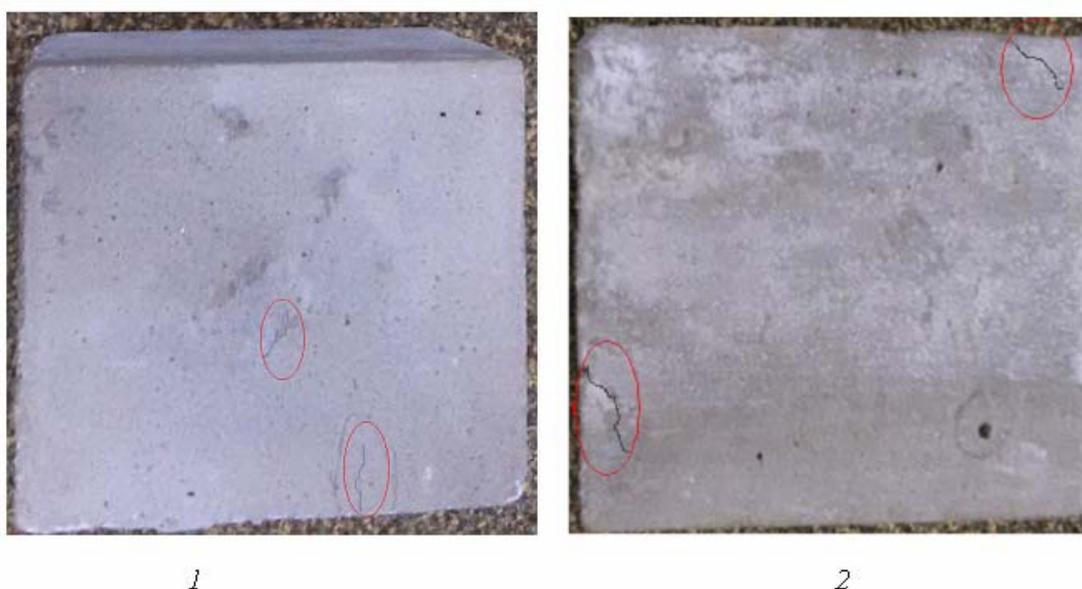


Рис. 4.8. Образцы плиточного клея после проведения испытаний

Как видно из рис. 4.7 и 4.8 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 $F50$ (табл.4.3) [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-песча-

ной 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 табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4

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 табл. 4.4, показал, что контактная зона плиточного клея с цементно-песчаной и керамической подложкой 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 рис. 4.9.

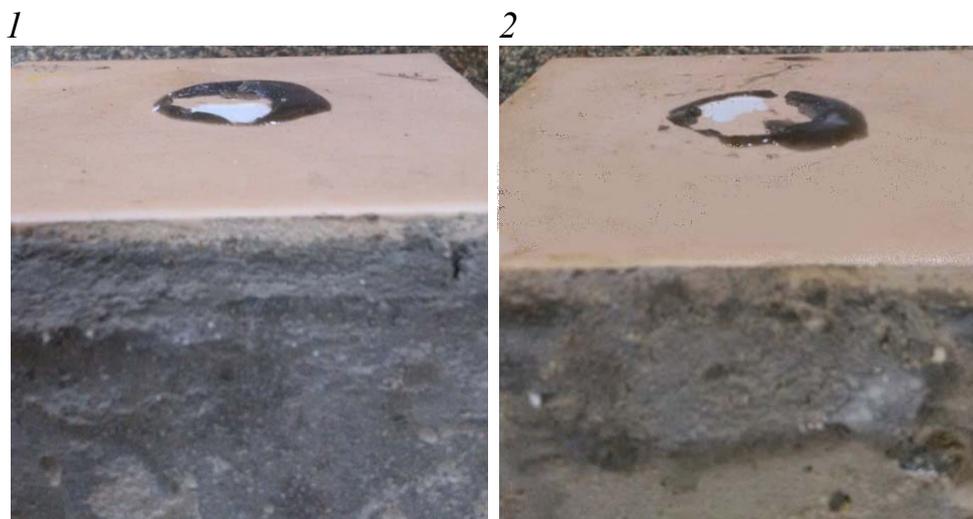


Рис. 4.9. Образцы после проведения испытания:
1 – оттаивание в воздушной среде; 2 – оттаивание во влажной среде

Анализ полученных результатов показал, что отрыв происходит по керамической плитке и составляет $R_{kog} = 0,97$ МПа. Таким образом, прочность сцепления клеевого раствора на основе разработанной ССС с применением синтетических 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 [146].

4.4. Деформативные свойства покрытий на основе разработанной ССС

Для оценки трещиностойкости плиточного клея, изготовленного с применением в рецептуре синтетических 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 рис. 4.10 представлен график изменения усадочных деформаций покрытия на основе контрольного состава (без применения синтетических алюмосиликатов) и состава, изготовленного на основе разработанной ССС: портландцемент марки М 400, Ухтинский песок в соотношении фракций $0,63 - 0,315 : 0,315 - 0,14$ соответственно $80\% : 20\%$, Кратасол ПФМ в количестве 1% от массы цемента, Neolith P 4400 в количестве 1% от массы цемента и в качестве минеральной добавки – синтетические алюмосиликатов в количестве 20% от массы цемента.

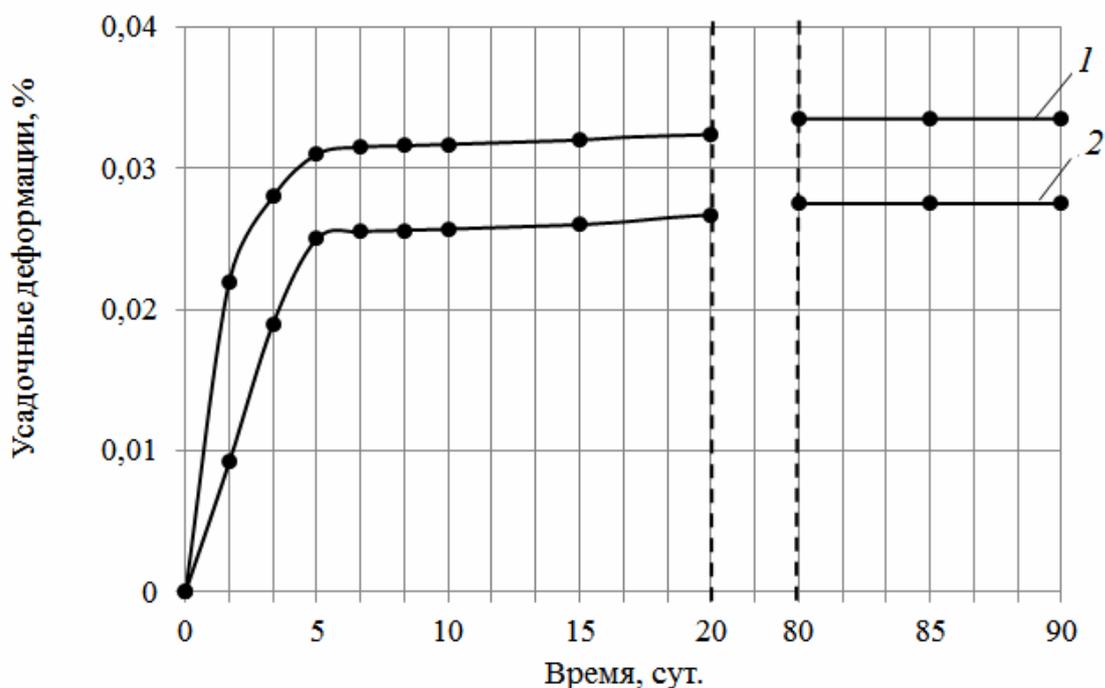


Рис. 4.10. Изменения усадочных деформаций в процессе твердения:
1 – контрольный состав; 2 – разработанный состав

Анализ данных (рис. 4.10) 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 синтетических алюмосиликатов на 5 сутки равны $\varepsilon = 0,025 \%$, а спустя 90 суток – $\varepsilon = 0,028 \%$ (см. рис. 4.10, кривая 2). Значения усадочных деформаций контрольного состава на 5 сутки твердения составило $\varepsilon = 0,031 \%$, а спустя 90 суток – $\varepsilon = 0,034 \%$ (см. рис. 4.10, кривая 1).

Растрескивание покрытий на основе ССС происходит когда внутренние растягивающие напряжения достигают значения когезионной прочности материала покрытия. В связи с этим определялся предел прочности при растяжении покрытий при помощи разрывной машины ИР 5057-50 на образцах после 90 суток воздушно-сухого твердения. Определение предела прочности при растяжении (когезионной прочности) проводилось по ГОСТ 18299 [32]. 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±2) °С и относительной влажности воздуха 60 %. Образцы, которые в процессе испытания разрушались за пределами рабочей части (20 мм) или перед зажимами, в расчёт не 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

$$R_{kog} = \frac{F_{Pi}}{S_{Oi}}, \quad (4.6)$$

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

S_{Oi} – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

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 $E_{упр}$, МПа, вычислялся по формуле

$$E_{упр} = \frac{R'_{kogi}}{\varepsilon'_i} \cdot 100, \quad (4.7)$$

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

ε'_i – относительное удлинение при разрыве, %.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 4.11.

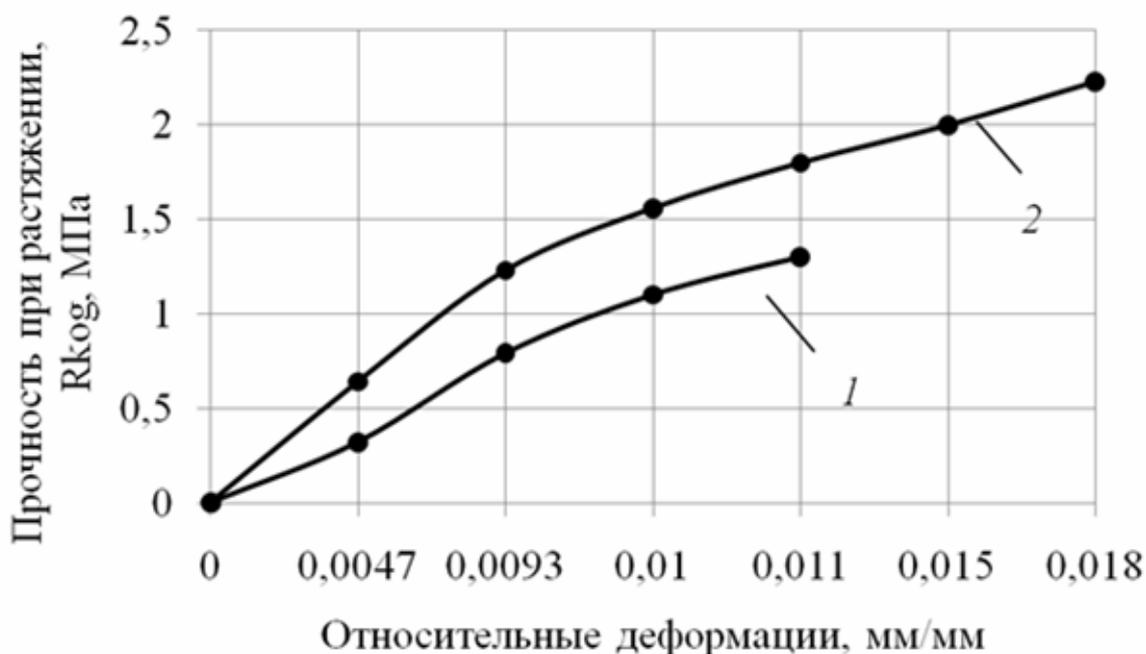


Рис. 4.11. Изменение относительных деформаций при растяжении образцов плиточного клея: 1 – контрольный образец; 2 – образец с применением синтетических алюмосиликатов

Анализ данных, представленных на рис. 4.11, выявил, что введение в рецептуру плиточного клея добавки на основе синтетических алюмосиликатов позволяет получить материал, характеризующийся прочностью при растяжении $R_{kog} = 2,2$ МПа. Предельная растяжимость $\epsilon_{пр}$ при этом составляют $\epsilon_{пр} = 0,018$ мм/мм. Разрушение образцов на основе контрольного состава происходит при относительной деформации ϵ , равной $\epsilon = 0,011$ мм/мм.

Деформативные свойства плиточного клея, изготовленного на основе разработанной рецептуры клеевой сухой строительной смеси, представлены в табл. 4.5

Т а б л и ц а 4.5

Деформативные свойства клеевого слоя

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Модуль упругости покрытия, МПа	128,6
2	Усадочные деформации, $\epsilon_{ус}$, мм/мм	0,00028
3	Предельная растяжимость, $\epsilon_{пр}$, мм/мм	0,018
4	$K_{тр} = \epsilon_{ус}/\epsilon_{пр}$	0,015

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

4.5. Оценка напряженного состояния плиточного клея на цементной основе с применением синтетических цеолитов

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, 158]. 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 $\varepsilon_{\text{деф}}$, которые могут превысить растяжимость материала $\varepsilon_{\text{пред}}$.

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

$$\sigma = R_{\text{ког}} \quad (4.8)$$

или деформации растяжения равны предельной растяжимости

$$\varepsilon_{\text{деф}} = \varepsilon_{\text{пред}} \quad (4.9)$$

Трещиностойкость клеевого слоя оценивалась, исходя из условия:

$$\sigma < R_{\text{ког}} \quad (4.10)$$

где σ – внутреннее напряжение, МПа

$R_{\text{ког}}$ – когезионная прочность клеевого слоя, МПа.

Оценивалось напряженное состояние клеевого слоя от действия температур как одного из факторов разрушения. Расчет проведен для 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 рис. 4.12 (а), для г. Якутск приведена на рис. 4.12 (б).

В качестве стенового материала в расчетной схеме ограждающей конструкции (рис. 4.12) принят керамзитобетон с плотностью $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, в качестве теплоизоляционного материала – пенополистирол с плотностью $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,038 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, в качестве облицовочного материала – керамическая плитка, плотностью $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$ и

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

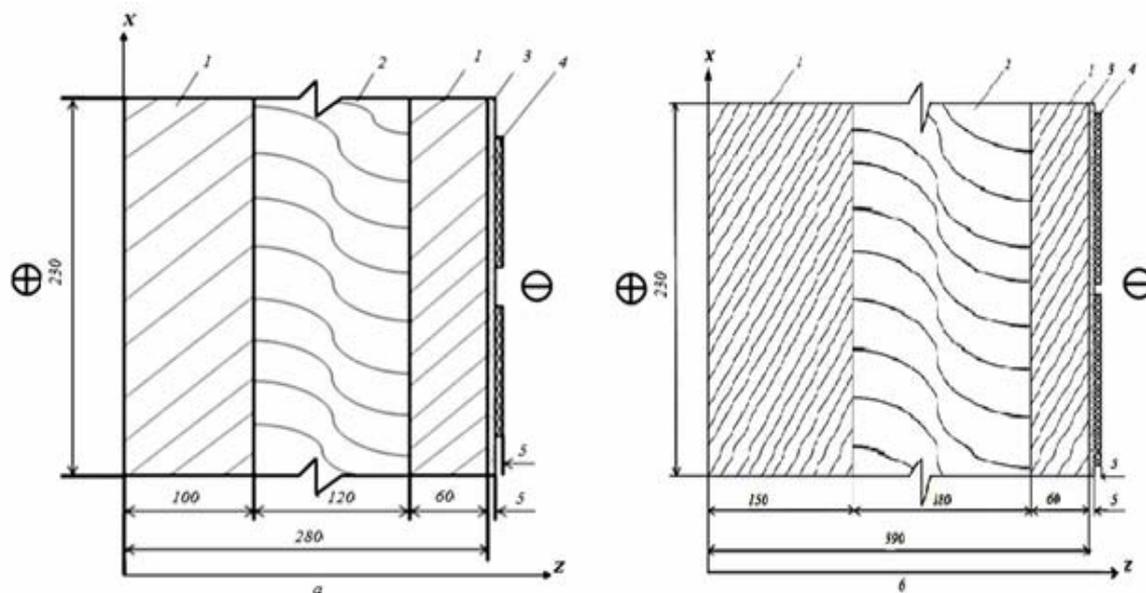


Рис. 4.12. Конструктивное решение ограждающей конструкции для г. Пенза (а) и для г. Якутск (б):
1 – керамзитобетон; 2 – пенополистирол; 3 – слой плиточного клея на цементной основе; 4 – керамическая плитка

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

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 рис. 4.13, 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 (рис. 4.13, линия ОВ), зона контакта клеевого слоя с керамической плиткой (рис. 4.13, линия АС), зона контакта клеевого слоя с воздушной средой, т.е. краевая зона (рис. 4.13, линия ВС) и зона центра клеевого слоя (рис. 4.13, линия ОА).

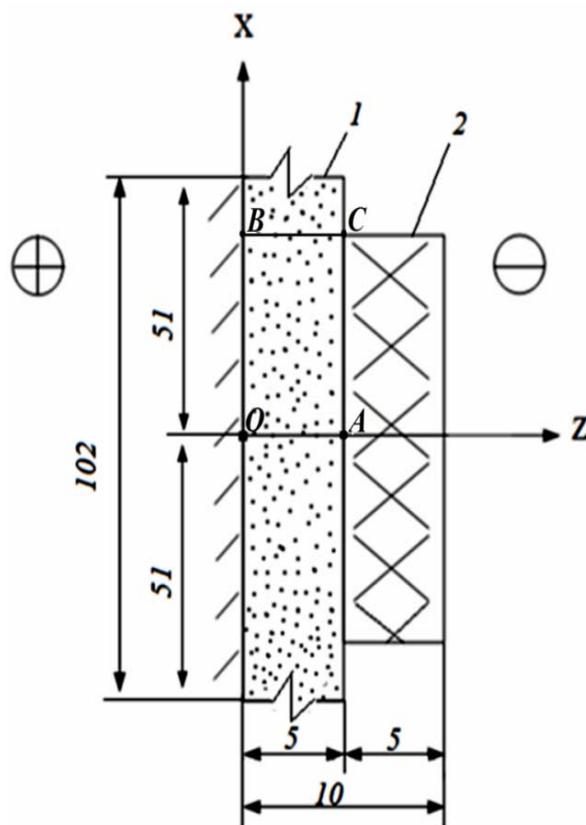


Рис. 4.1. Расчетная схема ограждающей конструкции:
1 – слой плиточного клея; 2 – керамическая плитка

На рис. 4.14 и 4.15 приведены значения касательных напряжений σ_{xz} , возникающих в течение года, для г. Пензы и г. Якутска.

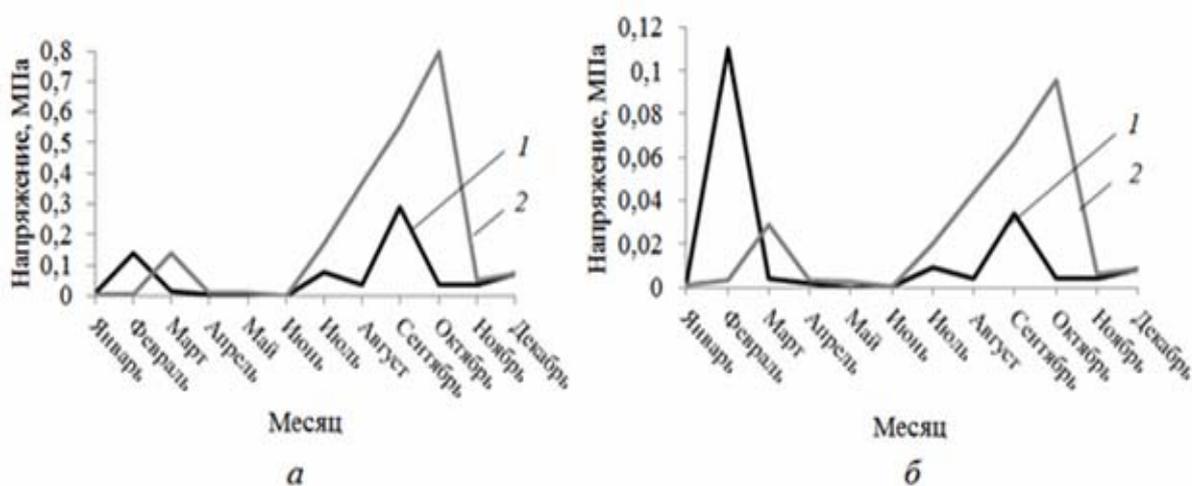


Рис. 4.14. Изменение касательных напряжений σ_{xz} в клеевом слое в течение года
г. Пенза (кривая 1), г. Якутск (кривая 2):
а – на границе с керамической плиткой (рис. 4.13, линия AC);
б – на границе с керамзитобетоном (рис. 4.13, линия OB)

Выявлено, что максимальные касательные напряжения в клеевом слое на границе с керамзитобетоном наблюдаются в феврале месяце, состав-

ляющие $\sigma_{xz} = 0,11$ МПа и в сентябре месяце на границе с керамической плиткой – $\sigma_{xz} = 0,29$ МПа (г. Пенза, рис. 4.14, кривая 1). В г. Якутск (рис. 4.14, 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.

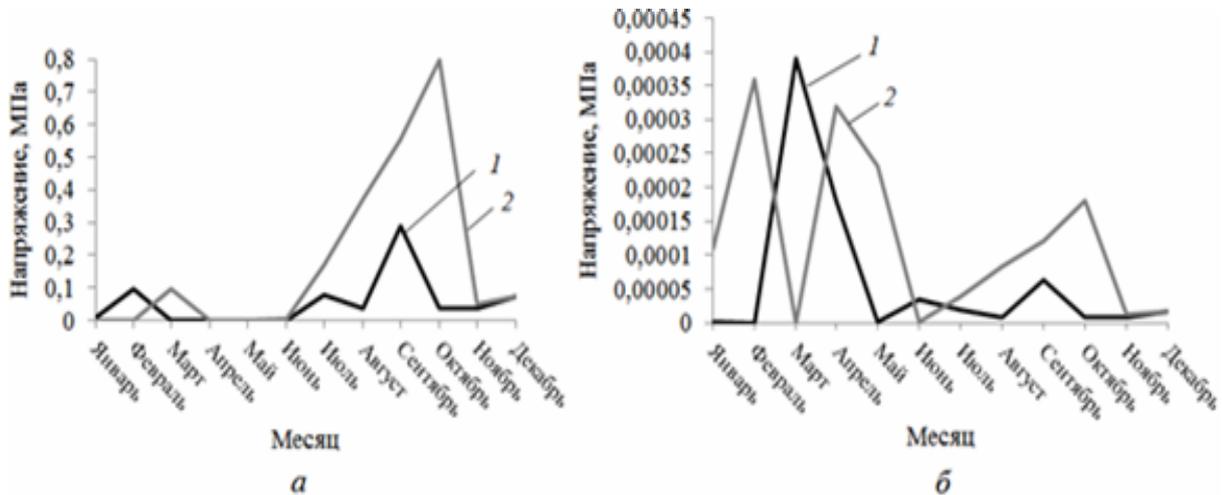


Рис. 4.15. Изменение касательных напряжений σ_{xz} в клеевом слое в течение года г. Пенза (кривая 1), г. Якутск (кривая 2):
 а – краевая зона (рис. 4.13, линия BC);
 б – центр клеевого слоя (рис. 4.13, линия OA)

В центре клеевого шва (рис. 4.13, линия OA) для условий г. Пенза (рис. 4.15, 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 (рис. 4.13, линия BC) 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 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 OB и AC, указанные на рис. 4.13.

На рис. 4.16 и 4.17 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.

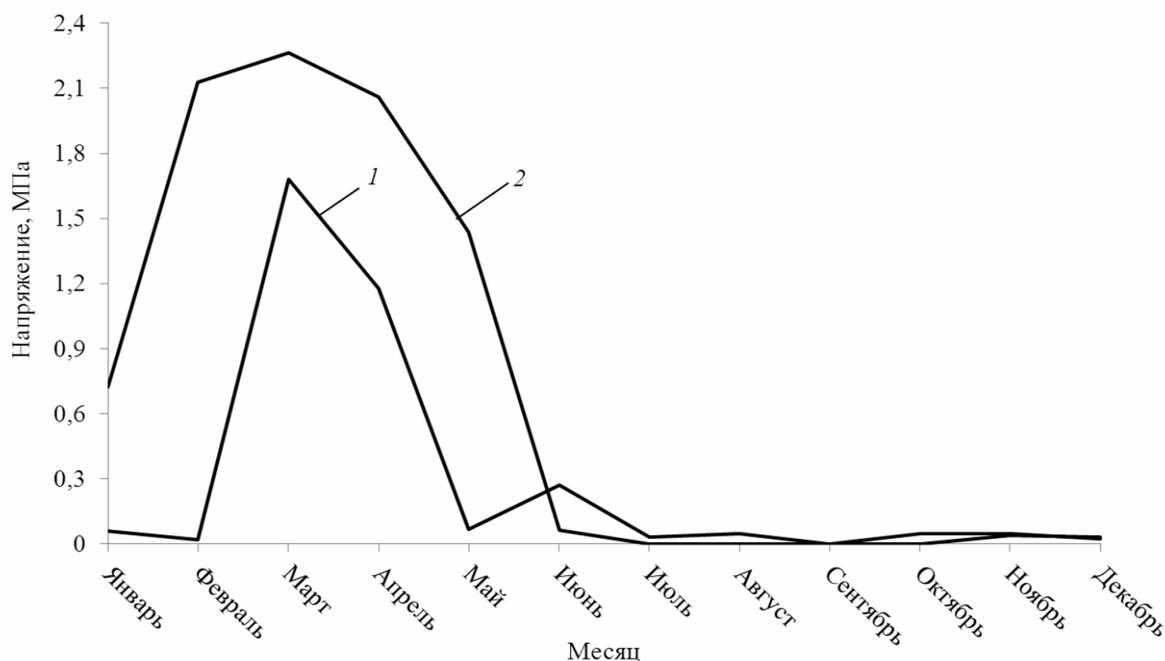


Рис. 4.16. Изменение растягивающих напряжений σ_x в клеевом слое на границе с керамзитобетоном в течение года (линия *OB*, рис. 4.13):
1 – г. Пенза; 2 – г. Якутск

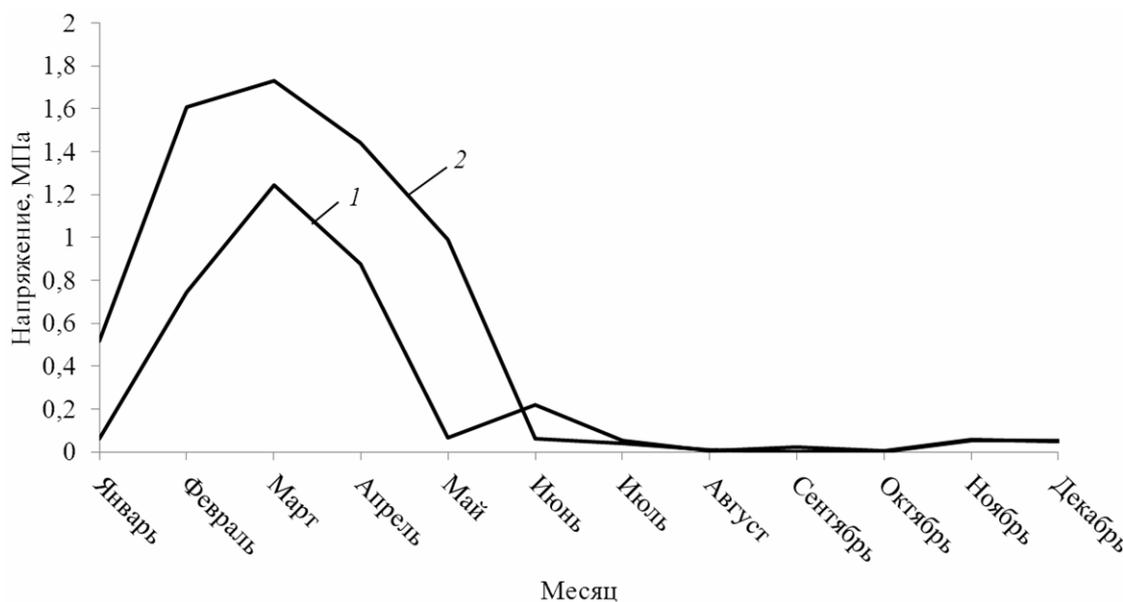


Рис. 4.17. Изменение растягивающих напряжений σ_x в клеевом слое на границе с керамической плиткой в течение года (линия *AC*, рис. 4.13):
1 – г. Пенза; 2 – г. Якутск

Анализ данных, представленных на рисунках 4.16 и 4.17, показал, что максимальные растягивающие напряжения σ_x , возникающие в клеевом слое на границе с керамзитобетоном (рис. 4.16) и на границе с керамической плиткой (рис. 4.17), 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 (4.10) 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.

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 рис. 4.18 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 OB , рис. 4.13) 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 AC , рис. 4.13) возникает в марте месяце и составляет $\sigma_x = 1,24$ МПа.

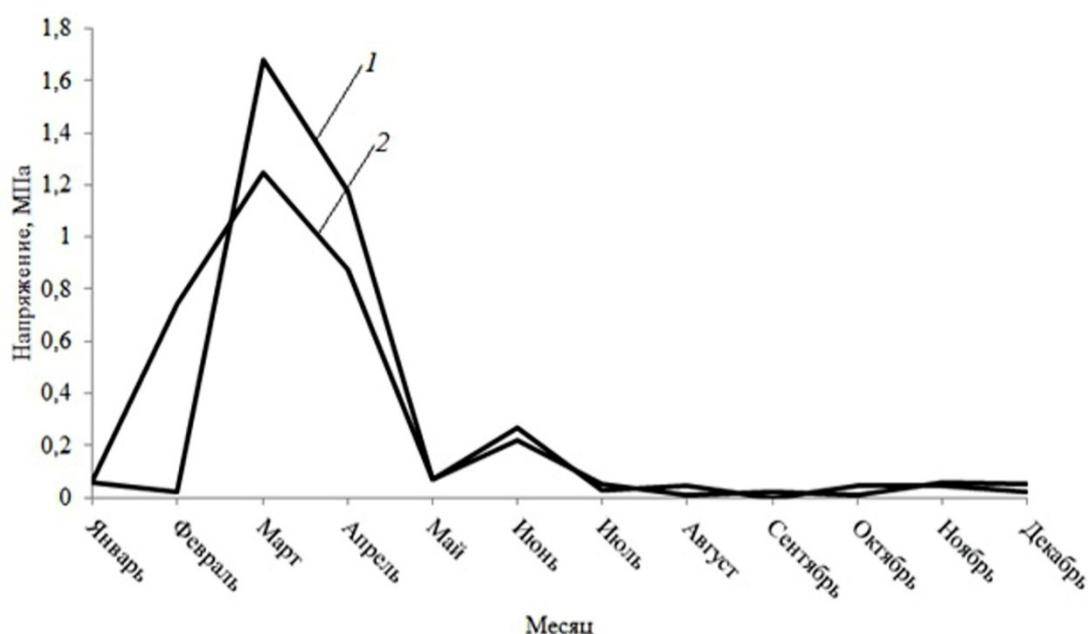


Рис. 4.18. Изменение растягивающих напряжений σ_x в клеевом слое в течение года (г. Пенза):

1 – на границе с керамзитобетоном; 2 – на границе с керамической плиткой

На рис. 4.19 показаны значения напряжений, возникающие по толщине клеевого слоя (ось Z) в течение года в г. Пенза.

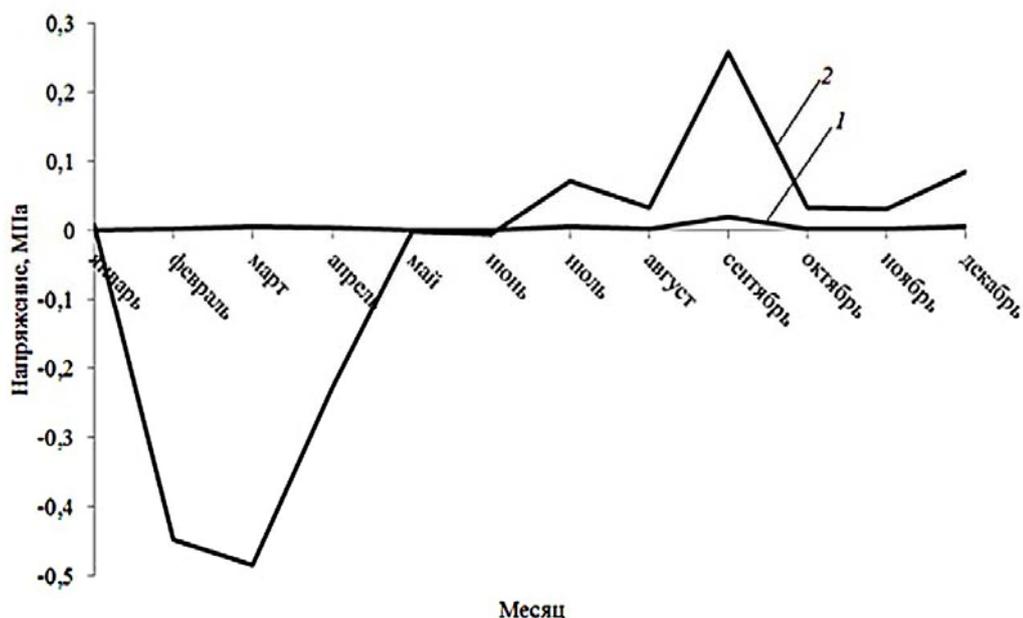


Рис. 4.19. Изменение максимальных напряжений σ_z в клеевом слое в течение года (г. Пенза):
1 – центр клеевого слоя; 2 – краевая зона клеевого слоя

Максимальное растягивающее напряжение возникает в центре клеевого слоя (линия OA , рис. 4.13) в сентябре месяце, составляющее $\sigma_z = 0,02$ МПа. В краевой зоне контакта клеевого слоя по оси Z (линия BC , рис. 4.13) 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.

На рис. 4.20 приведены значения растягивающих напряжений по простирацию клеевого слоя, характерных для марта месяца в г. Пенза.

Как видно из данных, приведенных на рис. 4.20, максимальные растягивающие напряжения σ_x возникают в концевой зоне клеевого слоя на границе клеевого слоя с керамзитобетоном (линия OB , рис. 4.13) и составляют $\sigma_x = 1,68$ МПа и на границе клеевого слоя с керамической плиткой (линия AC , рис. 4.13) – $\sigma_x = 1,24$ МПа.

На рис. 4.21 приведены значения растягивающих и сжимающих напряжений, возникающих по толщине клеевого слоя, характерных для сентября месяца в г. Пенза.

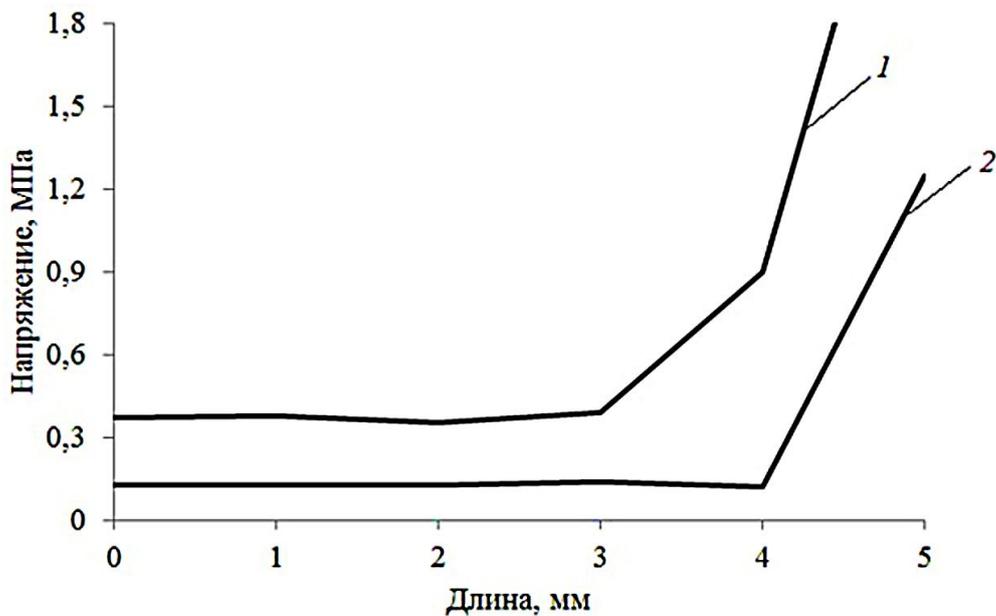


Рис. 4.20. Изменение растягивающих напряжений σ_x по протяженности клеевого слоя в марте месяце (г. Пенза):
 1 – на границе с керамзитобетоном (линия OB , рис. 4.13);
 2 – на границе с керамической плиткой (линия AC , рис. 4.13)

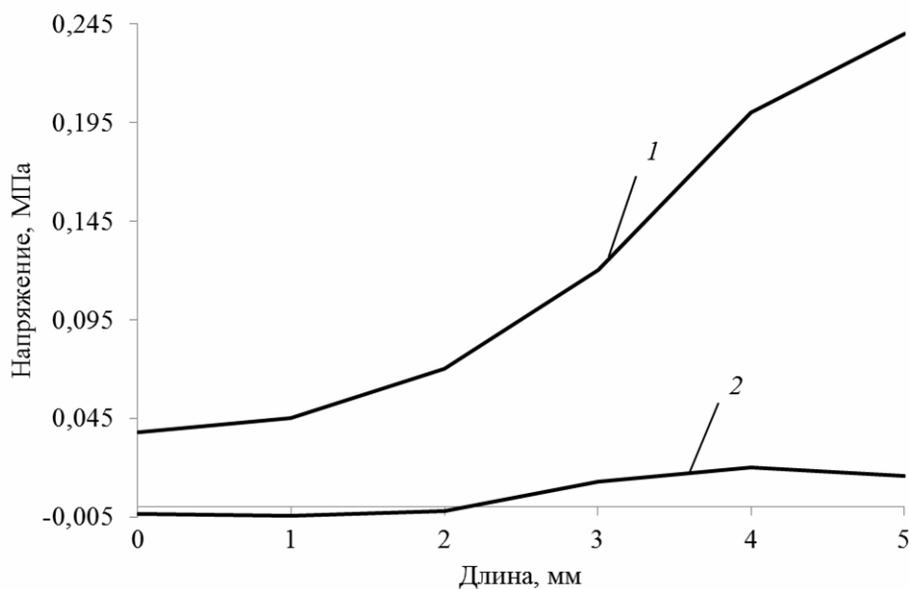


Рис. 4.21. Изменение напряжений σ_z по толщине клеевого слоя в сентябре месяце (г. Пенза):
 1 – в центре клеевого слоя (линия OA , рис. 4.13);
 2 – в концевой зоне клеевого слоя (линия BC , рис. 4.13)

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 4.21, показал, что максимальное растягивающее напряжение σ_z возникает в центре плиточного клеевого слоя (линия OA , рис. 4.13) 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 BC ,

рис. 4.13) максимальное растягивающее напряжение возникает в зоне контакта клеевого слоя с керамической плиткой и составляет $\sigma_z = 0,24$ МПа.

На рис. 4.22 показаны значения сжимающих напряжений, возникающих по толщине краевой зоны контакта клеевого слоя (линия BC, рис. 4.13), характерных для марта месяца в г. Пенза.

Анализ полученных данных (рис. 4.22) показал, что максимальное сжимающее напряжение возникает в зоне контакта клеевого слоя с керамической плиткой (точка C, рис. 4.13) и составляет $\sigma_z = -0,49$ МПа.

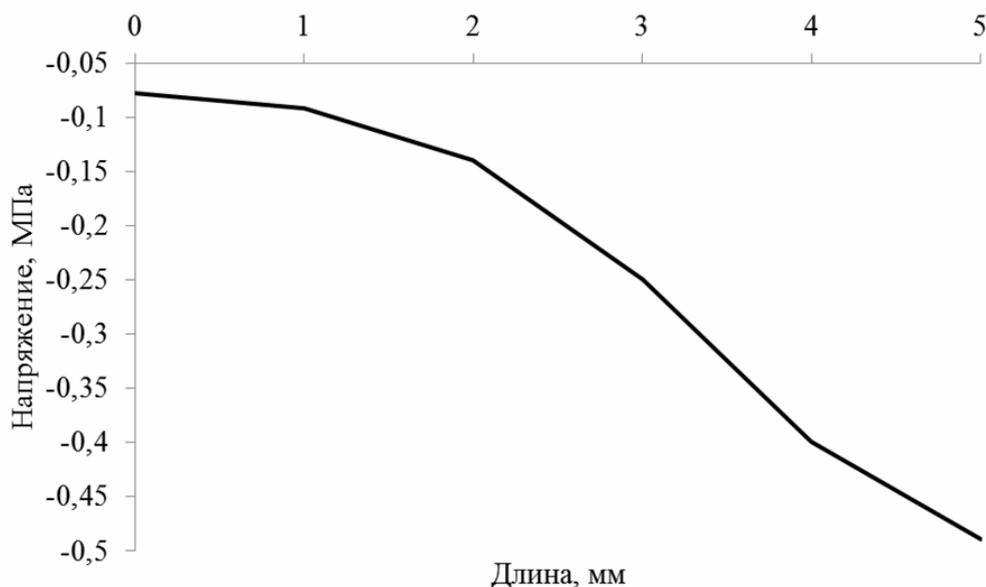


Рис. 4.22. Изменение сжимающих напряжений σ_z по толщине краевой зоны клеевого слоя в марте месяца (г. Пенза)

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

Таким образом, представленные результаты проведенных расчетов позволяют утверждать, что клеевой слой с применением в рецептуре синтетических цеолитов 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 сжатии по формуле

$$K_{тр} = \frac{R_{изг}}{R_{сж}} . \quad (4.7)$$

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

Рецептура сухой строительной смеси, применяемой в качестве плиточного клея представлена в табл. 4.6.

Т а б л и ц а 4.6

Рецептура 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 синтетических алюмосиликатов	6,21
4	Добавка Кратасол ПФМ	0,32
5	Редиспергируемый порошок Neolith P 4400	0,32

В табл. 4.7 приведены основные технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на основе разработанной рецептуры с применением синтетических цеолитов.

Т а б л и ц а 4.7

Технологические и эксплуатационные свойства плиточного клея на основе разработанной ССС

Параметр	Ед.изм	Величина показателя		
		разрабо- танный	прототип 1	прототип 2
1	2	3	4	5
Средняя плотность ССС	кг/м ³	1800	1670	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	3,2	6,0	4,2
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

Окончание табл. 4.7

1	2	3	4	5
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	F50	F50	F50
Морозостойкость контактной зоны	марка	F _{кз} 50	F _{кз} 50	F _{кз} 50
Водопоглощение при капиллярном подсосе	кг/м ² ·ч ^{0,5}	1,43	2,00	1,78
Усадочные деформации, ε	%	0,028– 0,034	0,030– 0,040	0,029– 0,038
Температура эксплуатации	С	-50°С до +70°С	-50°С до +50°С	-50°С до +70°С
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.

4.6. Опытно-производственное опробование. Разработка нормативных документов

4.6.1. Технология приготовления состава клеевой сухой строительной смеси

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

- а) приема, сушки, просева песка;
- б) приёма, просева цемента;
- в) приготовления минеральных и органоминеральных добавок;
- г) смесительный модуль;
- д) 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 отсев 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 синтетических цеолитов 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 «Спецработ» (проект) (приложение А).

При несоответствии отдельных показателей требованиям СТО ООО РСУ «Спецработ» (проект), производится постановка 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, исключаяющим 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 синтетических цеолитов приведен в прил. А.

4.6.2. Техничко-экономические показатели производства клеевой сухой строительной смеси

Калькуляция себестоимости изготовления клеевой сухой строительной смеси с применением синтетических цеолитов по рецептуре (табл. 4.6) приведена в табл. 4.9. 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 табл. 4.8.

Т а б л и ц а 4.8

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 синтетических цеолитов, опробован в лабораторных и производственных условиях.

Т а б л и ц а 4.9

Калькуляция себестоимости клеевой ССС

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения,	с кварцевым песком	
				Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	2	3	руб.	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

Окончание табл. 4.9

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 1 т	руб.			4982,98
9	Заводская себестоимость 1 кг	руб.			4,98

Проведенные результаты, представленные в табл. 4.9, 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 ССС и известных производителей ССС. За рыночную стоимость разработанной рецептуры клеевой ССС принимали сумму себестоимости и 30 % от нее. Результаты оценки представлены в табл. 4.10.

Т а б л и ц а 4.10

Рыночная стоимость ССС

№ п/п	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 табл. 4.10 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айрапетов, Г.А. Строительные материалы [Текст] / Г.А. Айрапетов, О.К. Безродный, А.Л. Жолобов и др. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 700 с.
2. Большаков, Е.А. Сухие смеси для отделочных работ [Текст] / Е.А. Большаков // Строит. материалы. – 1997. – №7. – С.8 – 9.
3. Баррер, Р. Гидротермальная химия цеолитов [Текст]: пер. с англ. / Р. Баррер. – М.: Мир, 1985. – 420 с.
4. Безбородов, В. А. Сухие смеси в современном строительстве [Текст] / В.А. Безбородов [и др.]. – Новосибирск: НГАСУ. – 1998. – 94 с.
5. Бобрышев, А.А. Отделочные клеевые растворы на основе сухих смесей с использованием комплексных порошковых полимерных добавок [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.А. Бобрышев. – Пенза, 2003. – 22 с.
6. Болтухин, В.П. Цеолитовые породы триасовых отложений Кузбасса [Текст] / 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 [Текст] / Е.Н. Ботка // СтройПРОФИ, 2014. – № 5 (21). – С. 46-47.
8. Брек, Д.В. Цеолитовые молекулярные сита [Текст]: пер. с англ. / Д.В. Брек. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
9. Бушуев, Ю.Г. Цеолиты. Компьютерное моделирование цеолитных материалов [Текст] / 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 [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2002. – 161 с.
11. Вернигорова, В.Н. Физико-химические основы образования модифицированных гидросиликатов кальция в композиционных материалах на основе системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ [Текст] / В.Н. Вернигорова. – Пенза: ЦНТИ, 2001. – 394 с.
12. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства) [Текст] / 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 [Текст] / С.С. Вялов. – М.: Стройиздат, 1978. – 448 с.
14. Гальперина, Т.Я. Применение цеолитизированных пород Шивиртуйского месторождения в производстве цемента [Текст] / Т.Я. Гальперина, Л.А. Вертопрадова, 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 [Текст] / В.И. Голубев, П.Г. Василик // Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 24-25.

16. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ [Текст] / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. – М.: 2001. № 4. – С. 8-10.
17. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона [Текст] / 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) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.
19. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 11 с.
20. ГОСТ 310.5-88. Цементы. Метод определения тепловыделения [Текст]. – М.: Министерство промышленности строительных материалов СССР, 2003 – 6с.
21. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2007. – 7 с.
22. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 58 с.
23. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
24. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 26 с.
25. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2015. – 11 с.
26. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2014. – 67 с.
27. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
28. ГОСТ 11109-90. Марля бытовая хлопчатобумажная. Общие технические условия [Текст]. – 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) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.
30. ГОСТ 13078-81. Стекло натриевое жидкое. Технические условия (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
31. ГОСТ 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге [Текст]. – 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 [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.

33. ГОСТ 22685-89. Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 1990. – 11 с.
34. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия (EN 206-1:2000;EN 1008:2002) [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2012. – 16 с.
35. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний (СТ СЭВ 826-77 в части испытаний) [Текст]. – М.: Гос. ком. СССР по делам строительства, 1979. – 16с.
36. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования [Текст]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 8 с.
37. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
38. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона [Текст]. – М.: Стандартиформ, 1982. – 14 с.
39. ГОСТ 24544-81. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 26 с.
40. ГОСТ 28013-98. Растворы строительные. Общие технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 22 с.
41. ГОСТ 29234.12-91. Пески формовочные. Метод определения формы зерен песка [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
42. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия [Текст]. – М.: ЦППП, 2004. – 26 с.
43. ГОСТ 31356-07. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний [Текст]. – М.: МНТКС, 2008. – 16 с.
44. ГОСТ 31357-2007. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2008. – 12 с.
45. ГОСТ 32821-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение истинной плотности и пористости [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2015. – 15 с.
46. Гуляев, Б.Б. Специальные способы литья [Текст] / 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 [Текст] / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т.1 (вып. 5). – С. 876–877.
48. Демьянова, В.С. Высокоэффективные сухие смеси различного ассортимента и назначения [Текст] / 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) [Текст] / С. А. Дергунов, С. А. Орехов. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 106 с.
50. Дерягин, Б.В. Адгезия твердых тел [Текст] / Б.В. Дерягин, Н.А. Кротова, В. П. Смилга. – М.: Наука, 1973. – 279 с.
51. Дорогочинский, А. З. Цеолиты и цеолитсодержащие катализаторы [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / С.В. Дружинкин // Вестник развития науки и образования, 2007. – №2. – С. 3-6.
54. Дружинкин, С.В. Сухие строительные смеси на основе цеолитсодержащих пород [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / С.В. Дружинкин. – 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 [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.13, 07.00.10 / И.С. Елисеева. – 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 [Текст] / Т.В. Еферица, К.В. Хилков // Строительные материалы – Бизнес. – 2005. – № 8. – С.10-11.
59. Жегера, К.В. Методика оценки прочности сцепления растворного слоя на основе сухих строительных смесей [Текст] / 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 [Текст] / С.П. Жданов, Е.Н. Егоров. – Л.: Наука, 1968. – 158 с.
61. Жданов, С.П. Синтетические цеолиты: кристаллизация, структурно-химическое модифицирование и адсорбционные свойства [Текст] / С.П. Жданов, С.С. Хвощев, Н.Н. Самулевич. – М.: Химия, – 1981. – 264 с.
62. Запевалова, М.В. Строительные материалы и услуги [Электронный ресурс] / М.В. Запевалова // Обзор рынка сухих строительных смесей. – 2011. – № 6. – 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 [Текст] / П.В. Зозуля // Сухие строительные смеси для XXI века: Технологии и бизнес: сб. тезисов докладов III Междунар. конф. BaltiMix. – СПб., 2003. – С. 12-13.

64. Зоткин, А.Г. Применение наполнителей в строительных смесях [Текст] / А.Г. Зоткин // Сухие строительные смеси. – 2009. – № 3. – С. 66-68.

65. Ильинский, В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий) [Текст] / В.М. Ильинский. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.

66. Ильиченко, О.Т. Расчеты теплового состояния конструкций [Текст] / О.Т. Ильиченко. – Харьков: Вища школа, 1979. – 168 с.

67. Калашников, В.И. Глиношлаковые строительные материалы [Текст] / В.И. Калашников [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 МЕСЕЛЛОСЕ® 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 [Текст] / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд. – К.: Техника, 2000. – 226 с.

71. Карякина, М.И. Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытий [Текст] / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1970. – 215 с.

72. Киреев, В.А. Курс химии. Ч.2. Специальная [Текст] / В.А. Киреев [и др.]. – М.: Высшая школа, 1975. – 240 с.

73. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси [Текст] / В.В. Козлов. – М.: АСВ, 2000. – 96с.

74. Кронштедт, А. Ф. Опыт классификации царства минералов [Текст] / 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 [Текст] / А.Ю. Крупенникова [и др.]. – Л.: Наука, 1978. – 44 с.

76. Кубасов, А. А. Цеолиты – кипящие камни [Текст] / А. А. Кубасов // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 7. – С. 70-76.

77. Кузнецова, Т.В. Получение и свойства цеолитосодержащих цементов [Текст] / 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 [Текст] / З.М. Ларионова. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 161 с.

79. Лист технических характеристик BERMOCOLL CCA 425 [Электронный ресурс]: AkzoNobelFunctionalchemicals[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 [Текст] / В.И. Логанина [и др.]//Академический вестник УралНИИпроект РААСН.– 2014.– № 2. –С. 71.

81. Логанина, В.И. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Вестник ЮУрГУ. 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст]: информ. обзор / 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 [Текст] / 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 углеводородов [Текст] /

Х.М. Миначев [и др.]// Известия АН СССР. Сер. Химическая. – 1986. – №6. – С. 1227-1231.

90. Мирский, Я.В. Механизм и кинетика образования цеолитов [Текст] / Я.В. Мирский [и др.] //Адсорбция в микропорах. – М.: Наука, 1983. – С. 177.

91. Мирский, Я.В. Новые адсорбенты – молекулярные сита [Текст] / 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 [Текст] / Я.В. Мирский [и др.] // Адсорбенты: их получение, свойства и применение. – М.: Наука, 1985. – С. 72.

93. Народов, В.В. Расширяющийся тампонажный материал [Текст] / 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 [Текст] / А.А. Николаева // Молодой ученый. – 2014. – №15. – С. 190-192.

95. Обзор рынка синтетических цеолитов в СНГ [Электронный ресурс]. – 3-е изд., доп. и перераб. // INFOMINE ResearchGroup [сайт] – Режим доступа: www.infomine.ru

96. Овчаренко, Г.И. Цеолиты в строительных материалах [Текст] / 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 [Текст] / Л.С. Нам (RU), А.В.Шумовский (RU), К.О. Дмитриев (RU) и др. патентообладательВсероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара. – 6 с.

98. Пат. 204991. Российская федерация, С01В39/02, В01J20/10 Способ получения гранулированных синтетических цеолитов [Текст] / В. Я. Николаина (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, С01В39/00 Способ получения цеолита [Текст] / 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, С01В39/02 Способ получения цеолита [Текст] / Л.С. Нам (RU), А.В. Шумовский (RU), С.А. Малютин (RU) патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара. – 4 с.

101. Пат. 2106303. Российская федерация, C01B33/26 Способ получения аморфного алюмосиликата [Текст] / 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 [Текст] / 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, B01J19/18 Способ синтеза цеолита при перемешивании среды до гомогенного состояния, устройство и применение [Текст] / Д. Англери (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 Х высокой фазовой чистоты [Текст] / В.А. Глухов (RU), А.В. Глухов (RU) патентообладатель: – Закрытое акционерное общество Холдинговая компания «ЮСТ». – 5 с.

105. Пат. 2218303. Российская федерация, C01B39/14 тип А Способ получения синтетического цеолита типа А [Текст] / 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 [Текст] / Х.Х. Рахимов (RU), Б.И. Кутепов (RU), М.Н. Рогов (RU), М.Х. Ишмяров (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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] /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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / Ю. Е. Пивинский. – СПб.: Стройиздат СПб., 2003. – Т.1. – 544 с.

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

115. Полюдова, С.В. Цементно-цеолитовые композиции [Текст] / 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.starateli.ru/catalog/201-201/>

117. Плиточный клей КНАУФ – Флизен марки Кнауф [Электронный ресурс] // Кнауф® 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 [Текст]: пер. с англ. / Дж. Рабо. – М.: Мир, 1980. – Т. 1. – 506 с.

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

120. Раильченко, Ю. ССС: самый скорорастущий сегмент [Текст] / 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 [Текст] / 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: 2013 г., 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 [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.Л.Свиридов. – Новосибирск, 1988. – 23 с.

124. Свиридов, В.Л. Строительные материалы и изделия на основе природных цеолитов Сибири и Дальнего Востока [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.Л.Свиридов. – Барнаул, 2000. – 333 с.

125. Селяев, В.П. Влияние структуры цеолитсодержащих композитов на долговечность [Текст] / 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 [Текст] / В.П. Селяев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1999. – № 4. – С. 36–39.

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

128. Селяев, В.П. Экологически безопасные теплоизоляционные материалы на основе диатомитовых и цеолитсодержащих пород [Текст] / 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 [Текст] / Э.Э. Сендеров, Н.И. Хитаров. – М.: Наука, 1970. – 395 с.

130. Смирнская, В.Н. Цеолитсодержащие вяжущие повышенной водостойкости и изделия на их основе [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / В.Н. Смирнская. – Томск, 1998. – 23 с.

131. Строительные правила: СП 131.13330.2012. Строительная климатология: актуализированная версия СНиП 23-01-99* [Текст]. – 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 изд., 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 [Текст]. – М.: ООО «ХенкельБаутехник», 2004. – 28 с.

134. Трунов, П.В. Композиционные вяжущие с использованием вулканогенно-осадочных пород камчатки и мелкозернистые бетоны на их основе

[Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / П.В. Трунов. – Белгород, 2014. – 161 с.

135. Фахртдинова, О.А. Исследование свойств модифицированного шивыртуйского цеолита [Текст] / О.А. Фахртдинова [и др.] // 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 [Текст] / Г. Харди // Сборник докладов 2-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологии сухих смесей в строительстве». – СПб., 2000. – С. 70-77.

137. Цицишвили, Г.В. Природные цеолиты [Текст] / Г.В. Цицишвили [и др.]. – М.: Химия, 1985. – 222 с.

138. Aiello, R. Molecular sieve zeolites / R. Aiello, C. Collela, R. Sersale // *Advances Chem. Ser.* – Washington. 1971. – № 101. – p. 51.

139. 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.

140. Barrer, R.M. *Interference Science* / R.M. Barrer, J. Coll. – 1966. – V.21. – № 4.– p. 415.

141. Barrer, R.M. *J. Chem. Soc.* / R.M. Barrer, J.F. Cole, H. Sticher // *Inorg. Phys. Theoret.* – 1968. – № 10. – p. 2475.

142. Broussard, L. *J. Am. Chem. Soc.* / L.Broussard, Shoemaker, D.P.–1960. – V. 82. – № 5.– p. 1041.

143. DIN EN 1308-2007. Растворы и клеи для керамической плитки. Определение сползания [Текст]: пер. с нем. / Немецкое издание. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

144. DIN EN 1346-2007. Растворы и клеи для керамической плитки. Определение открытого времени [Текст]: пер. с нем. / Немецкое издание. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с.

145. DIN EN 1348:2007. Растворы и клеи для керамической плитки. Определение прочности сцепления с основанием цементосодержащих растворов для внутренних и наружных работ [Текст]: пер. с нем. / Немецкое издание. – М.: Стандартинформ, 2010 – 10с.

146. DIN EN 12004 (2012 – 09). Растворы и клеи для керамической плитки. Требования, оценка соответствия, классификация и обозначение [Текст]: пер. с нем. – М.: Стандартинформ, 2012. – 29с.

147. 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.

148. 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.
149. 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.
150. Kjellsen, K.O. Influence 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.
151. 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.
152. Legrand, C. L'état flocculent des Pastes de Ciment avant Prise et Ses Conséquences 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.
153. 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
154. 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.
155. Miata, I., Kiguo Kagaku Zasshi / I. Miata, S. Okayaki. – 1970. – V. 73. – P. 1940.
156. Gleissle, W. Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere / W. Gleissle, H.M. Laun, M. Pahl // *VDI – Gesellschaft Kunststoff technik.* – Dusseldorf, 1990.
157. Reschke, Th. Einfluss der Granulometrie der Feinstoffe auf die Festigkeits – und Gefügeentwicklung Von Mortel und Beton. / Th. Reschke, G. Thielen // *14 Internationale Baustofftagung IBAUSIL.* – Weimar, 2000. – Pp. 10289 – 10299.
158. Ross, H. Praxis-Hand buch Putz / H. Ross, F. Stahl // *Rudolf Muller.* – Koln, 2003.
159. 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.
160. Schneider, R. Reinforced Masonry Design / R. Schneider, W.L. Diskey // *New Jersey*, 1987. – 682 p.
161. 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.

162. 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.

163. Sudo, T., *Geochim. Cosmochim. Acta* / T. Sudo, M.Matsuoki. –1959. – V. 17. – № 1. – p. 1.

164. 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.

165. Yiqing, F. Effect of aqueous boric acid (H₃B₀₃) treatment on catalytic performance of HZSM-5 zeolite catalysts / F. Yiqing, C.Lianzhang // *Shiyou Xuebao, Shiyou Jiagong*, 1991. – V. 7. – № 2. – p. 44.

166. Zhdanow, S. P. In: *Molecular sieve zeolites* / S.P. Zhdanow // Washington, 1971, Pp. 20—43.

ПРИЛОЖЕНИЯ

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

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»
В.А. Пшестилевский

_____ «__» _____ 2016 года

КЛЕЕВЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ Технические условия

2016 г.

ПРОЕКТ СТО

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 Рецептура клеевой сухой строительной смеси на цементной основе...	13
7.2 Технология изготовления добавки на основе синтетических 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 синтетических 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 в качестве добавки синтетических алюмосиликатов.

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 атмосфере воздуха 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. Жителство. 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;

ПРОЕКТ СТО

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 pH 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;

ПРОЕКТ СТО

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.

ПРОЕКТ СТО

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 синтетических алюмосиликатов, пластификатора, редуцируемого 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.

ПРОЕКТ СТО

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 – синтетический цеолит.

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

5.1.3 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов (Аэфф) 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 синтетических алюмосиликатов 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 синтетических алюмосиликатов должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

ПРОЕКТ СТО

Таблица 2 – Нормы и требования, предъявляемые к строительным смесям, изготовленным на основе клеевой ССС с добавкой на основе синтетических 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 после выдерживания в водной среде	Не менее 0,5 МПа	DIN EN 1348
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 кг/м ² ·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 ± 2)°С и относительной влажности воздуха 50 % – 60 %.

ПРОЕКТ СТО

6 Характеристика исходного сырья и материалов

Качество исходного сырья для производства клеевых смесей с добавкой на основе синтетических цеолитов 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 %-го 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, редиспергируемый порошок Neolith P 4400 и добавку на основе синтетических цеолитов в массовых долях, указанных в таблице 4.

ПРОЕКТ СТО

Таблица 4 – Рецептура 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.	Редиспергируемый порошок Neolith P 4400	0,32
5.	Добавка на основе синтетических цеолитов	0,32
ИТОГО:		100,00

7.2 Технология изготовления добавки на основе синтетических цеолитов.

7.2.1 Синтетическую добавку получают путем тщательного перемешивания сульфата алюминия и жидкого стекла.

7.2.2 В 15 %-й 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 рН 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 $S_{уд} = (86.5 \pm 3.5) \text{ м}^2/\text{г}$.

7.3 Технология изготовления сухой клеевой 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.

ПРОЕКТ СТО

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 синтетических цеолитов 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 $S_{уд} = (86.5 \pm 3.5) \text{ м}^2/\text{г}$ происходит в шаровых мельницах.

7.3.6 Подача добавки на основе синтетических цеолитов 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 редиispersируемого 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 постанoвка 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.

ПРОЕКТ СТО

8.2 Методы испытаний материалов, применяемых для приготовления сухих смесей, должны быть указаны в логической 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 растворяемых смесей определяют по ГОСТ 5802 путем испытания уложенной на промокательную бумагу растворной смеси толщиной 12 мм.

8.8 Водопоглощение при капиллярном подсосе затвердевших растворяемых 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.

ПРОЕКТ СТО

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	Все сырье при поступлении на предприятие. Отбор проб при поступлении сырья на предприятие.	Качество	Каждая партия	а) песок: химический состав; гранулометрический состав; насыпная плотность; содержание пылевидных и глинистых частиц. б) портландцемент: предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе; сроки схватывания; химический состав клинкера. в) жидкое стекло: модуль жидкого стекла; плотность. г) сульфат алюминия: массовая доля оксида алюминия д) ретдиспергируемый порошок: зольность; плотность; содержание твердых частиц. е) пластификатор: массовая доля воды; показатель активности водородных ионов 2,5 %-го водного раствора	Принимается по паспорту поставщика	Инженер по качеству
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

ПРОЕКТ СТО

1	2	3	4	5	6	7
3	Добавка на основе синтетических цеолитов	Стадии изготовления	Каждая операция	- рН раствора сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$; - удельная поверхность;- активность; - истинная плотность.	ГОСТ 24596.5; ГОСТ 310.2	Инженер по качеству
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 дозирования; 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

ПРОЕКТ СТО

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

ПРОЕКТ СТО

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 4 мг/м³.

ПРОЕКТ СТО

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 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.

ПРОЕКТ СТО

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 Сухие 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.

ПРОЕКТ СТО

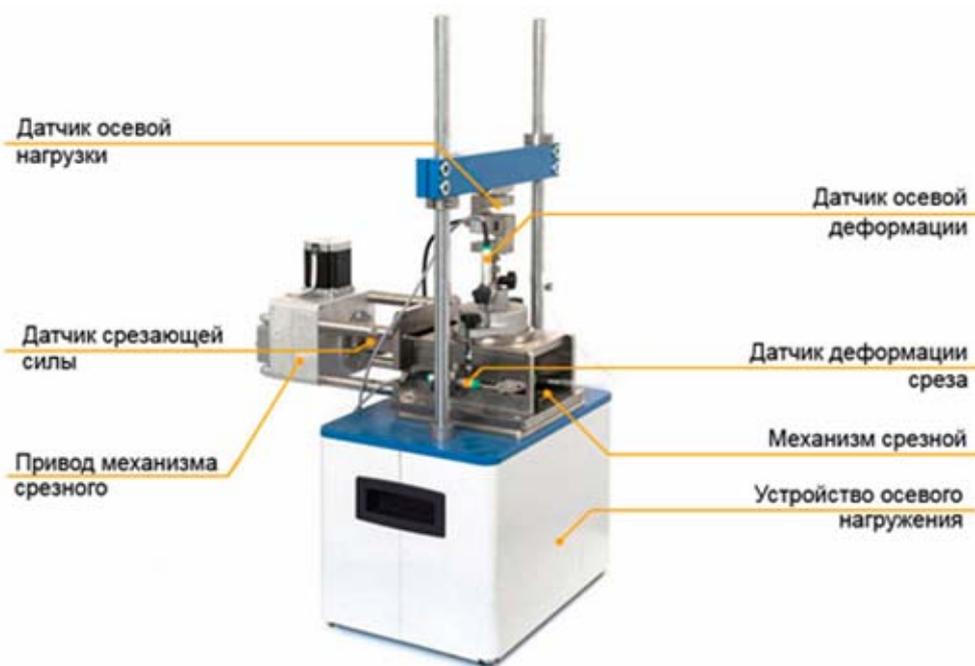


Рисунок А.1 – Внешний вид прибора ГТ 2.2.3

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

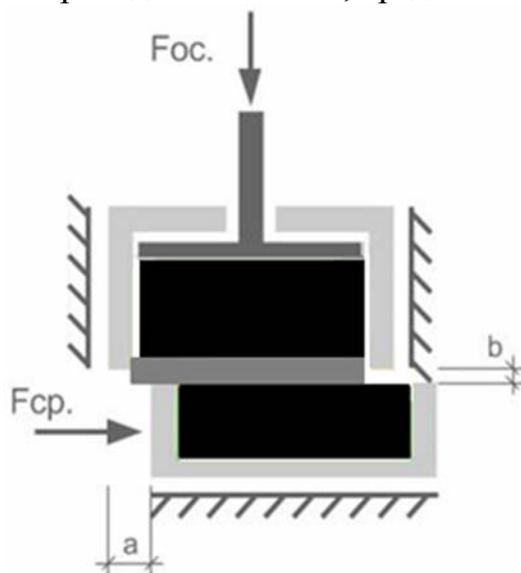
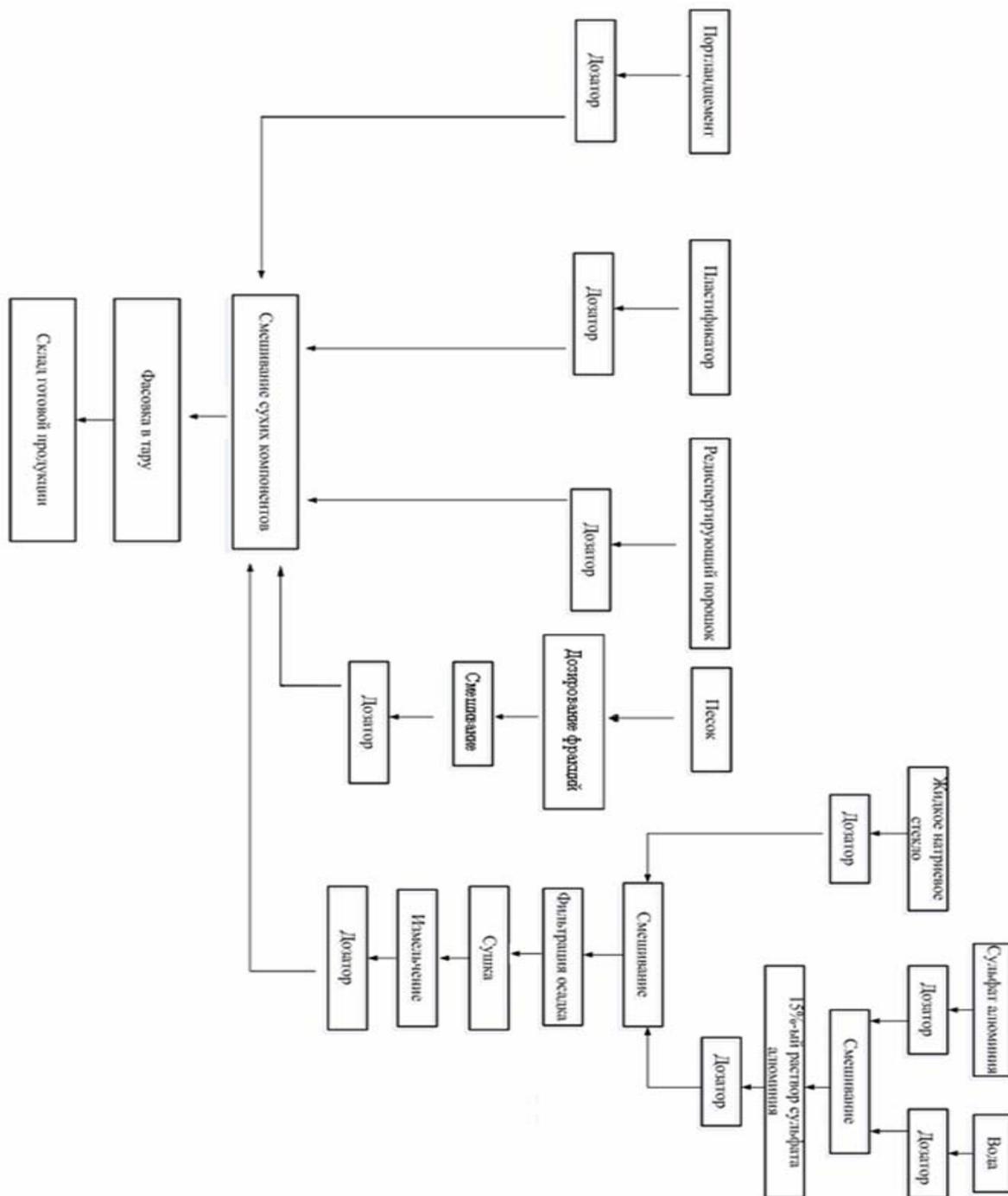


Рисунок А.2 – Схема испытания исследуемых образцов на срез

(рекомендуемое)

Технология производства клеевой сухой строительной смеси с применением синтетических цеолитов

Ошибка!



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

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	6
1.1. Развитие производства сухих строительных смесей в России	6
1.2. Модифицирующие добавки для клеевых сухих строительных смесей на цементной основе.....	12
2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ПРИСУТСТВИИ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ.....	22
2.1. Физико-химические показатели добавки на основе синтетических алюмосиликатов для сухих строительных смесей	22
2.2. Структурообразование цементной композиции в присутствии добавки на основе синтетических алюмосиликатов.....	25
3. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ СУХОЙ КЛЕЕВОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ	49
3.1. Оптимизация гранулометрического состава минерального заполнителя для сухих строительных смесей.....	49
3.2. Кинетика твердения цементного композита в присутствии добавки на основе синтетических алюмосиликатов.....	53
3.3. Реологические и технологические свойства сухих строительных смесей с применением добавки на основе синтетических алюмосиликатов.....	61
4. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КЛЕЕВОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ	73
4.1. Оценка прочности сцепления слоя плиточного клея с применением в рецептуре синтетических алюмосиликатов	73
4.2. Гидрофизические свойства плиточного клея с применением в рецептуре добавки на основе синтетических алюмосиликатов....	78
4.3. Оценка свойств композита на основе плиточного клея по отношению к действию температур	81
4.4. Деформативные свойства покрытий на основе разработанной ССС.....	86
4.5. Оценка напряженного состояния плиточного клея на цементной основе с применением синтетических цеолитов	89
4.6. Опытно-производственное опробование. Разработка нормативных документов.....	99

4.6.1. Технология приготовления состава клеевой сухой строительной смеси	99
4.6.2. Техничко-экономические показатели производства клеевой сухой строительной смеси	101
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	103
ПРИЛОЖЕНИЯ	116

Научное издание

Логанина Валентина Ивановна
Жегера Кристина Владимировна

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

В авторской редакции
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 11.04.16. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 8,14. Уч.-изд.л. 8,75. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ №240.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.